



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA
Núcleo de Ciências e Tecnologia
Programa de Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio
Ambiente

ESTUDOS DA VULNERABILIDADE À EROSÃO NO MUNICÍPIO DE
RIO BRANCO, ESTADO DO ACRE: aplicação de técnicas de
geoprocessamento.

Regina Chelly Pinheiro da Silva

Porto Velho - RO
2008

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA
Núcleo de Ciências e Tecnologia

**ESTUDOS DA VULNERABILIDADE À EROSÃO NO MUNICÍPIO DE RIO
BRANCO, ESTADO DO ACRE: aplicação de técnicas de geoprocessamento.**

Regina Chelly Pinheiro da Silva

Dissertação apresentada à Universidade Federal de
Rondônia para obtenção do Título de Mestre em
Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Vanderlei Maniesi.

Porto Velho - RO

2005

Ficha

SILVA, Regina Chelly Pinheiro.

ESTUDO DE VULNERABILIDADE À EROSÃO NO MUNICÍPIO DE RIO BRANCO, ESTADO DO ACRE: aplicação de técnicas de geoprocessamento. Regina Chelly Pinheiro da Silva – Dissertação de Mestrado – Porto Velho:UNIR, 2005. 127p.

1. Erosão.
2. Desenvolvimento Sustentável
3. Meio Ambiente.
4. Geoprocessamento

Regina Chelly Pinheiro da Silva

**ESTUDOS DA VULNERABILIDADE À EROSÃO NO MUNICÍPIO DE
RIO BRANCO, ESTADO DO ACRE: aplicação de técnicas de
geoprocessamento.**

Dissertação submetida ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente da Universidade Federal de Rondônia – UNIR como parte dos requisitos necessários à obtenção do Título de Mestre.

Aprovada por:

Prof. Dr. Vanderlei Maniese, Dr. - Orientador

Prof. Dr. Januário Freitas

Profª Dra. Tereza Cristina Veiga

Porto Velho - RO

2005

DEDICATÓRIA

Ao Grandioso Deus Pai, por todas as bênçãos e maravilhas recebidas.

A meus pais, Antonio e Nadir que me ensinaram a lutar pelo que acredito.

A minha velha amiga e companheira Tia Maria Augusta, meus agradecimentos
por tudo que sou.

Ao meu companheiro, Antonio Furtado, que me incentivou e me fez acreditar
que eu seria capaz.

A Minha filha Verena, razão de minha vida, grande companheira que, mesmo
Menina, compreendeu minhas ausências.

Aos meus irmãos, Carlos e Cláudio, pela parceria que tanto precisei.

A todos aqueles que lutaram e que continuam lutando por acreditar que o
sucesso é para todos.

Em memória

Professora Guiomard Damasceno Castelo

Professora Odete Pinheiro de Almeida

Educadoras que fizeram do ensino as suas vidas, minha doce lembrança.

AGRADECIMENTOS

As minhas mães Nadir e Augusta, pelo carinho e apoio nas horas de dificuldades.

A meu companheiro, Antonio Furtado e ao meu irmão, Carlos Antonio pelo apoio aos trabalhos de campo, por se mostrarem sempre incansáveis ao me ouvir falar sobre esta dissertação.

Ao meu orientador, professor Vanderlei Maniese, que, com paciência e inspiração, soube transmitir seus inesgotáveis ensinamentos e me guiar pelos tortuosos caminhos dos SIG.

A Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Naturais - SEMA, pelos dados fornecidos, em especial ao Professor Edgard de Deus, Secretario de Estado da Secretaria de Meio Ambiente do Acre, e ao Professor Edílson Cadaxo pelo apoio à elaboração deste estudo.

Aos “companheiros” de trabalho, pelo carinho e apoio moral, em especial ao Gilberto (CPRM), pela paciência de me ensinar a trabalhar no SPRING, ao Charles em tornar os mapas ilustrativos mais bonitos, e à Cris, pela grandiosa ajuda na finalização deste trabalho.

Ao Departamento de Geografia da Universidade Federal de Rondônia, pela oportunidade de realizar este estudo e pelo suporte de toda sua equipe, particularmente do Prof. Josué, do Prof. Ene Glória, da Prof.^a Francinete e do Prof. Artur.

Aos companheiros de mestrado Mário, João, Valdiana, Arlene e em especial a Eurlly e Soeli, pelo estímulo e amizade; e a todos os professores, por me ajudarem a vencer o desafio.

Ao Professor Dr. Adailton do Departamento de Geografia da Universidade Federal do Acre - UFAC, por revelar o meu lado de pesquisadora ao me introduzir nos passos da pesquisa científica.

A Professora Msc. Murilena Pinheiro pela ajuda e apoio na luta pela vaga deste mestrado que agora concluo.

Ao Sr. José Neumar, gerente do Sistema de Proteção da Amazônia – SIPAM, Centro Técnico de Porto Velho, pelo apoio no desenvolvimento e conclusão deste trabalho.

Meus eternos agradecimentos.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE TABELAS	xii
LISTA DE FOTOGRAFIAS	xiv
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	xv
RESUMO	xvi
ABSTRACT	xvii
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	1
1.1 Considerações Gerais	1
1.2 Objetivos	3
1.2.1 Geral	3
1.2.2 Específicos	3
1.3 Motivação da Pesquisa	3
1.4 Conteúdo deste trabalho	4
CAPÍTULO 2 – ÁREA DE ESTUDO	7
2.1 Localização e acesso	7
2.2 Aspectos sócio-econômicos	7
2.3. Aspectos fisiográficos gerais	9
2.3.1. Clima	9
2.3.2 Vegetação	11
2.3.3 Hidrografia	13
2.3.4 Geomorfologia	14
2.3.5 Geologia	16
2.3.6 Solos	16
CAPÍTULO 3 - METODOLOGIA	18
3.1 Aquisição de dados	18
3.1.1 Seleção dos dados	18
3.1.2 Equipamentos e aplicativos	19
3.2 Construção do banco de dados georreferenciados	20
3.3 Processamento digital de imagens orbitais	22

3.3.1 Registro e técnicas de realce.....	23
3.3.2 Transformação do número digital para valores de reflectância	23
3.4 Análise e interpretação de dados e imagens orbitais	23
3.4.1 Reinterpretação e ajuste dos mapas	24
3.4.1.1 Plano de Informação Geomorfologia	24
3.4.1.2 Plano de Informação Geologia	24
3.4.1.3 Plano de Informação Solos.....	25
3.4.1.4 Plano de Informação Cobertura Vegetal.....	25
3.4.4 Etapa de campo.....	25
3.5 Análise Ecodinâmica	26
3.5.1 Geologia e Geomorfologia	26
3.5.2 Solos.....	29
3.5.4 Cobertura Vegetal.....	32
3.5.5 Clima	33
3.6 Integração dos dados	35
3.6.1 Mapa de Vulnerabilidade à erosão do Solo	35
CAPÍTULO 4 – FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	39
4.1 Aplicações de Técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento no Estado do Acre	39
4.2 Sensoriamento Remoto na Amazônia	40
4.3 Processamento digital de imagens orbitais	42
4.3.1 Técnicas de pré-processamento.....	42
4.3.1.1 Correções geométricas.....	42
4.3.2 Técnicas de realce de imagens	43
4.3.2.1 Técnicas de manipulação de contraste	44
4.3.2.2 Transformação dos números digitais para valores de reflectância aparente	44
4.3.2.3 Modelo linear de mistura espectral	45
4.3.3 Técnicas de classificação	45
4.3.3.1 Classificação não-supervisionada	46
4.4 Sistema de Informação Geográfica (SIG).....	47
4.4.1 Arquitetura dos SIG	48
4.4.2 Características dos dados do SPRING 4.0.....	49
4.4.3 Mapa de Distância (“buffer”)	51
4.4.4 Álgebra de mapas.....	51
4.4.4.1 Operações pontuais.....	52
4.5 Software SPRING.....	53
4.5.1 LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico)	55
4.6 Vulnerabilidade à erosão do solo no Município de Rio Branco.....	57
4.6.1 Análise e reinterpretação de dados temáticos sobre as imagens orbitais .	59
4.6.2 Avaliação da vulnerabilidade à erosão do solo.....	62
4.6.3 Mapa de vulnerabilidade à erosão do solo	66
CAPÍTULO 5 – RESULTADOS E DISCUSSÕES	68

5.1	Análise e interpretação dos dados gerados.....	68
5.1.1	Etapa de campo.....	68
5.1.2	Carta Imagem e Mapa de Uso e Ocupação do solo	71
5.2	Análise e reinterpretação dos mapas	80
5.3	Análise da vulnerabilidade à erosão do solo	89
5.3.1	Cobertura vegetal	89
5.3.2	Geologia	93
5.3.3	Geomorfologia	97
5.3.4	Solos.....	101
5.4	Integração dos dados gerados	105
5.4.1	Mapa síntese de vulnerabilidade à erosão	105
CAPITULO 6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS		112
6.1	Possíveis Aplicações	112
6.2	CONTRIBUIÇÕES.....	114
6.2.2	Contribuição Conceitual.....	114
6.2.3	Contribuição Tecnológica	114
6.2.4	Contribuição Metodológica	115
6.2.5	Questões Observadas no decorrer do trabalho	116
CAPITULO 7 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES		117
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS		119
APÊNDICE I – GERAIS		128
APÊNDICE – I.1		129
APÊNDICE – I.2		131

LISTA DE FIGURAS

2.1	Localização da área de estudo	08
3.1	Fluxograma do Modelo Conceitual do Banco de Dados	20
3.2	Esquema que resume as etapas técnicas mais comuns do processamento digital de imagens. Fonte: adaptada de Fonseca (2000)	22
3.3	Operação pontual de ponderação em um geocampo temático	36
3.4	Modelo Esquemático da Operação de Média Aritmética.....	37
4.1	Estrutura geral de Sistemas de Informação Geográfica. Fonte: INPE (2000)	47
4.2	Classes de Operação Geográficas. Fonte: Barbosa (1997)	51
4.3	Modelo conceitual do SPRING. Fonte: Câmara (1995)	53
4.4	Fluxograma metodológico para a elaboração do mapa de vulnerabilidade de paisagens à perda de solo. Fonte: adaptado de Crepani et al. (2001)	58
4.5	Padrão de resposta espectral dos principais alvos da superfície terrestre. Fonte: Modificado de Lillesand & Kiefer (1994)	60
4.6	Modelo esquemático do cálculo de vulnerabilidade à erosão do solo de cada unidade temática. Fonte: Modificada de Souza (1999)	66
5.1	Mapa dos pontos de coletado de dados do trabalho de campo no Município de Rio Branco	69
5.2	Carta Imagem com a Identificação de Uso e Ocupação no Município de Rio Branco	71
5.3	Mapa Geológico do Município de Rio Branco	80
5.4	Mapa Geomorfológico do Município de Rio Branco	82
5.5	Mapa de Solos do Município de Rio Branco	84
5.6	Mapa de Vegetação do Município de Rio Branco	86
5.7	Mapa de Vulnerabilidade da Vegetação do Município de Rio Branco	90
5.8	Mapa de Vulnerabilidade da Geologia do Município de Rio Branco	93
5.9	Mapa de Vulnerabilidade da Geomorfologia do Município de Rio Branco	97
5.10	Mapa de Vulnerabilidade do Solo do Município de Rio Branco	101
5.11	Mapa síntese de Vulnerabilidade à Perda de Solo do Município de Rio Branco.....	106

LISTA DE TABELAS

2.1	Apresentação da Tipologia Florestal. Fonte:ZEE (2000)	11
2.2	Ecosistemas das Florestas Ombrófilas Densa e Aberta. Fonte:ZEE (2000)	12
2.3	Principais Unidades Geomorfológicas do Município de Rio Branco. Fonte:ZEE (2000) apud RADAMBRASIL, 1976, 1977	15
3.1	Dados Temáticos	19
3.2	Imagens utilizadas	19
3.3	Escala de vulnerabilidade à denudação das rochas mais comuns. Fonte: Crepani et al. (2001).....	27
3.4	Valores de vulnerabilidade dos solos. Modificada de Crepani et al. (2001) incluindo a correlação com a nova nomenclatura de solos de Embrapa (1999b) baseada em Prado (2001)	31
3.5	Valores de vulnerabilidade à erosão do solo para as classes de cobertura vegetal e uso da terra. Fonte: Crepani et al. (2001)	33
3.6	Escala de erosividade da chuva e valores de vulnerabilidade à erosão do solo. Fonte: Crepani et al. (2001)	34
4.1	Descrição das operações pontuais de transformação e das operações pontuais sobre geocampos (Adaptada de Barbosa, 1997; Burrough, 1987; Berry, 1987; Tomlin,1990;Câmara, 1995).....	52
4.2	Avaliação da Estabilidade das Categorias Morfodinâmicas. Fonte: Crepani et al. (1996)	62
4.3	Escala de vulnerabilidade à perda de solo das unidades de paisagem. Fonte:Crepani et al. (1996)	63
4.4	Características observadas para avaliar a vulnerabilidade à erosão do solo das unidades de paisagem. Fonte: Crepani et al. (2001).....	64
5.1	Área ocupada pelas classes de cobertura vegetal e uso da terra no Município de Rio Branco	70
5.2	Valores de vulnerabilidade à perda de solo atribuídos à cobertura vegetal.....	87
5.3	Distribuição de classes do mapa de vulnerabilidade à erosão da vegetação	88
5.4	Valores de vulnerabilidade atribuídos às unidades geológicas.....	91
5.5	Distribuição de classes do mapa de vulnerabilidade à erosão geológica	92
5.6	Valores de vulnerabilidade atribuídos às unidades geomorfológicas.....	94
5.7	Distribuição de classes do mapa de vulnerabilidade à erosão geomorfológica	95
5.8	Associações de solos e valores de vulnerabilidade atribuídos.....	98

5.9	Distribuição de classes do mapa síntese de vulnerabilidade à erosão do solo	99
5.10	Distribuição de classes do mapa síntese de vulnerabilidade à erosão do solo no Município de Rio Branco	102

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia - 01	Floresta Secundária com Bambu	72
Fotografia – 02	Área Urbana	73
Fotografia – 03	Reflorestamento de Cedro	74
Fotografia – 04	Pasto sujo, capoeira de 2 anos	75
Fotografia – 05	Pasto em Formação	76
Fotografia – 06	Queimada	77
Fotografia – 07	Pasto Limpo	78
Fotografia – 08	Área de Preservação Permanente (nascentes) ocupada por pastagens.....	107
Fotografia – 09	Área de Preservação Permanente (drenagem) ocupada por residências.....	107

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ARCINFO/ARCVIEW – Aplicativos de SIG (ESRI)

CAD – Computer Aided Design

DTM – Digital Terrain Model (Modelo Digital de Terreno)

DXF/ DWG – Formato de arquivo gráfico vetorial (Autocad, Autodesk)

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias

ESRI – Environmental Spatial Research Institute

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDAF – Instituto de Defesa Animal do Acre

IMAC – Instituto de Meio Ambiente do Acre

SIG – Sistema de Informação Geográfico

SIPAM – Sistema de Proteção da Amazônia

SHP – Formato de arquivo gráfico vetorial (ARCVIEW, ESRI)

TIF (TIFF) – Formato de arquivo gráfico matricial (imagem)

UNIR – Universidade Federal de Rondônia

UTM – Universal Transverse Mercatur (sistema de projeção)

RESUMO

A necessidade de equilíbrio entre desenvolvimento econômico e preservação da natureza torna o desenvolvimento sustentável imprescindível à gestão de um território. A presente pesquisa contribui com uma metodologia que subsidie a gestão ambiental. A área de estudo, o Município de Rio Branco, localiza-se no Estado do Acre, pequena parcela da Amazônia Brasileira que concentra imenso potencial natural e de biodiversidade. A metodologia desenvolvida pelo INPE para o Zoneamento Ecológico Econômico foi adaptada ao presente estudo, buscando a definição das áreas de maior vulnerabilidade à perda do solo devido à erosão. Foram utilizadas técnicas de Sensoriamento Remoto, SIG, cartografia digital temática e álgebra de mapas, embutidas no aplicativo SPRING 4.0 (INPE, 2000) e o conceito de “unidade de paisagens”. A pesquisa busca, através de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, a definição das classes de vulnerabilidade à erosão, representada através da cartografia temática. Como resultado, foi elaborado um Banco de Dados Geográficos que contém informações detalhadas dos aspectos físicos e ambientais da área de estudo, além de mapas temáticos (solo, vegetação, geologia e geomorfologia) que, utilizando-se a álgebra de mapas, foram elaborados no software SPRING/INPE 4.0 (2000). Foram gerados Planos de Informação geográfica de cada tema para a elaboração dos mapas de vulnerabilidade à erosão do solo do município de Rio Branco. Foram identificados polígonos com índices variados de vulnerabilidade à erosão, predominando a classe medianamente estável/vulnerável (71,14%) da área de estudo, contrastando com as áreas vulneráveis (0,76%), moderadamente estáveis (15,61%), moderadamente vulneráveis (12,41%) e estáveis (0,003%). Em função desses resultados são apontadas as medidas de conservação ou reordenamento territorial, para uma melhor ocupação e uso do solo, buscando, assim, um desenvolvimento sustentável para o município de Rio Branco.

Palavras chave: vulnerabilidade do solo, geoprocessamento, sensoriamento remoto, SIG, Cartografia Digital, Álgebra de Mapas, SPRING e desenvolvimento sustentável.

ABSTRACT

The need of a balance between economic development and nature preservation makes sustainable development necessary to territorial management. The present study contributes with a methodology which aims at to subsidize environmental management. The study area, the Municipality of Rio Branco, is located at the Acre State, a small parcel of Brazilian Amazon Region which concentrates an huge natural and biodiversity potential. The methodology developed by the Brazilian Institute of Spatial Research (INPE), for the Economic and Ecological zoning, was adapted to the present study looking for the definition of areas which have more vulnerability to soil lost due to erosion. Remote Sensing, GIS, digital thematic cartography and map algebra techniques were used together SPRING software version 4.0 (INPE, 2000) and some parameters applied to the concept of "landscape units". The study looks for a definition of erosion vulnerability classes, applying remote sensing and geoprocessing techniques visualized through digital thematic cartography techniques. A Geographical Data Base, containing detailed information about physical and environmental aspects of the study area was obtained as a result. Besides thematic maps (soil, vegetation, geology and geomorphology), created with SPRING software version 4.0 (INPE, 2000) using map algebra, were generated Geographical Information Plans, for each theme, necessary to compose the Vulnerability to Soil Erosion maps for the Rio Branco municipality. The polygons identified present some variation on the vulnerability index, predominating the class "steady medium vulnerable" (average stability/vulnerability) on 71,14% of the study area, contrasting with 0,76% of the class "vulnerable areas" (high vulnerability), 15,61% of the class "moderately steady" (moderate stability), 12,41% of the class "moderately vulnerable" (moderate vulnerability) and 0,003% of the class "stead" (high stability). These results will direct conservation and territorial reordering measures for a better land use and occupation of the municipality of Rio Branco – AC, aiming at its sustainable development.

Key words: soil vulnerability, geoprocessing, remote sensing, GIS, digital cartography, map algebra, SPRING e sustainable development.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Gerais

A urbanização no Brasil, e em especial na Amazônia, tem produzido estruturas territoriais complexas, desiguais e compartimentadas, constituindo-se num fator de diminuição da qualidade de vida e de devastação da Floresta Amazônica. O processo de urbanização caracteriza-se por envolver uma multiplicidade de agentes e fatores atuando no espaço onde esse processo se concretiza.

A problemática gerada por esse processo de urbanização se reflete na organização e na ocupação do espaço, modificando as relações homem x sociedade e homem x meio ambiente, gerando, assim, um novo espaço, com nova estrutura e novos códigos, ao mesmo tempo em que afeta a sobrevivência desse homem nessa nova ordenação espacial.

Como transformador e organizador do espaço geográfico, o homem procura explorar ao máximo os recursos disponíveis, provocando com tal atitude, ao longo do tempo, desequilíbrios ambientais em maior ou menor intensidade. Alterando o ambiente natural, interferindo em seus processos cíclicos, reforçando-os, modificando-os e às vezes anulando-os, o que torna sua própria sobrevivência ameaçada pelo uso predatório e extenuante dos recursos da natureza.

De uma forma geral, a má utilização dos recursos naturais pelo homem, adicionada aos sistemas de produção altamente instáveis, provoca problemas ecológicos e ambientais imensos. Pode-se citar, como exemplo, a degradação dos solos decorrente do movimento combinado da ação predatória do homem com o

desgaste natural do ambiente, ocasionando a degradação e, conseqüentemente, o início de processos, como a desertificação, estágio final da degradação, o descontrole de endemia, a perda da qualidade biológica dos alimentos e a poluição em geral.

No Acre, as condições de aproveitamento dos recursos naturais são consideradas favoráveis em função de esse Estado fazer parte de uma porção territorial da Amazônia Legal Brasileira. No município de Rio Branco, parcelas significativas do território apresentam sérios problemas de organização do espaço em função dos aspectos negativos gerados pela ocupação desordenada. As unidades geossistêmicas que representam as unidades de terras relativamente homogêneas e dependentes de um mesmo sistema de relação apresentam níveis variados de deterioração ambiental (Nascimento, 1995).

Esforços coletivos de diversas instituições têm buscado estabelecer modelos de ocupação e desenvolvimento regional. Dentre esses esforços estão os trabalhos que buscam desenvolver uma metodologia para estabelecer a vulnerabilidade das paisagens à perda de solo, a fim de subsidiar o ordenamento territorial e o Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE). Uma dessas metodologias, disponível em Crepani et al. (1996), foi desenvolvida pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) para aplicação nos estados que compõem a Amazônia Legal, a partir da utilização de imagens orbitais em Sistemas de Informações Geográficas.

O suporte à tomada de decisão em um contexto espacial implica no uso de ferramentas robustas de integração, manutenção e análise de dados (Xavier, 1994), como os SGI (Sistemas Geográficos de Informação) ou GIS (Geo Information Systems).

O geoprocessamento apresenta-se, então, como uma ferramenta que permite não só acompanhar o processo de erosão do solo no Município de Rio Branco, mas que também possibilita o desenvolvimento sustentado de determinado território, com a monitoria e espacialização da extensão dos danos ambientais. A metodologia adotada possibilita elaborar mapas de erosão do território municipal, e as técnicas

de geoprocessamento adotadas, por sua vez, possibilitam a integração dos dados que identifica e pontua as vulnerabilidade que ocorrem nesse território.

1.2 Objetivos

1.2.1 Geral

Fornecer uma análise integrada e objetiva para estabelecer indicadores de áreas potenciais à recuperação, preservação e uso sustentado no município de Rio Branco, visando conter a erosão do solo, utilizando técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto.

1.2.2 Específicos

De forma mais específica o objetivo geral pode ser desmembrado em:

- Gerar mapas temáticos capazes de caracterizar os componentes do meio físico (Geologia, Geomorfologia, Solo e Vegetação), importantes para avaliação da vulnerabilidade à erosão no município de Rio Branco;
- Gerar um mapa síntese de vulnerabilidade à erosão do município de Rio Branco, com base na combinação dos dados fornecidos pelos mapas de caracterização do meio físico, delimitando as unidades de área que apresentam classes distintas de vulnerabilidade à erosão;
- Apresentar unidades de área alternativas para manejo dos recursos naturais para que estes sejam explorados de forma sustentável de modo a melhorar e preservar a qualidade ambiental da área estudada;

1.3 Motivação da Pesquisa

Foram diversos fatores que permitiram motivar uma pesquisa desta natureza. A elaboração de uma documentação cartográfica voltada para o reordenamento territorial e a um desenvolvimento sustentado apoiada em tecnologia nacional torna-

se importante e de grande valor pela grandeza natural da região, onde existem vários elementos em sua paisagem natural que necessitam ser preservados e melhor utilizados, através de ações de planejamento regional para o desenvolvimento sustentando. A área de estudo é o município de Rio Branco, que compreende parte da Amazônia Legal Brasileira. O estado do Acre tem o município de Rio Branco como capital, área de aplicação desta pesquisa, onde existe a maior biodiversidade brasileira em espécies animais catalogada.

O grande interesse de analisar a vulnerabilidade à erosão do município de Rio Branco é gerar mapas temáticos que sirvam como instrumento de planejamento e de tomada de decisões em nível das administrações municipal e estadual. Espera-se também que esse instrumental possa servir de suporte ao desenvolvimento sustentado da região. Além disto, é uma ferramenta que pode ser de grande valor na elaboração de projetos, no planejamento e na recuperação de áreas degradadas.

1.4 Conteúdo deste trabalho

Para atingir os objetivos propostos, a pesquisa divide-se em três etapas.

Na primeira parte, foi realizado um levantamento bibliográfico bem como um levantamento das informações de campo e de laboratório que fossem de valor para subsidiar um mapeamento da vulnerabilidade na região de estudo, na elaboração do Banco de Dados.

A segunda parte da pesquisa foi pautada na adaptação da metodologia de ZEE/INPE (Crepani et al., 1999) , utilizando-se de técnicas de sensoriamento remoto e Sistemas de Informações Geográficas.

A terceira trata da elaboração da cartografia temática da área de estudo, com a elaboração de mapas de vulnerabilidade à erosão do solo.

O trabalho de campo desenvolveu-se com atividades de checagem das informações obtidas na imagem de satélite e com o registro fotográfico dos pontos críticos e relevantes para a temática abordada.

Vale ressaltar a importância da utilização do GPS (*Global Positioning System*) de navegação, no apoio aos levantamentos de campo, o que facilitou a fase interpretativa dos produtos de sensoriamento remoto na etapa de laboratório, permitindo uma melhor interpretação das geoinformações do Banco de Dados Geográficos.

A pesquisa foi textualmente dividida em sete capítulos:

No Capítulo 1 – **Introdução**, que trata de descrever a presente pesquisa, são feitos os comentários introdutórios e definidos os objetivos do trabalho.

No Capítulo 2 – **Descrição da área de estudo**, apresenta-se a descrição dos principais elementos da paisagem da área de estudo, aspectos sócio-econômicos e aspectos fisiográficos gerais.

No Capítulo 3 – **Fundamentação Teórica**, são apresentados os pressupostos teóricos em geoprocessamento e sensoriamento remoto, que alicerçam a metodologia aplicada e definem os principais termos que serão utilizados no trabalho.

No Capítulo 4 – **Metodologia**, são descritos os materiais e procedimentos que foram utilizados na pesquisa.

No Capítulo 5 – **Resultados e Discussões**, são feitas as análises do que foi obtido nos levantamentos de campo e no Laboratório e discutidos os resultados alcançados, em consonância com os objetivos propostos.

No Capítulo 6 – **Considerações Finais**, são apresentadas as possíveis aplicações e a contribuição da metodologia na execução do trabalho.

No Capítulo 7 - **Conclusões e Recomendações**, são apresentadas as conclusões do trabalho e tratadas as recomendações de futuros trabalhos e utilizações.

O trabalho apresenta as **Referências Bibliográficas** para facilitar a consulta às obras citadas.

O **anexo I-1** apresenta fluxograma envolvendo o processo metodológico empregado nesta pesquisa.

O **anexo I-2** apresenta Carta Imagem do Município de Rio Branco.

CAPÍTULO 2

ÁREA DE ESTUDO

2.1 Localização e acesso

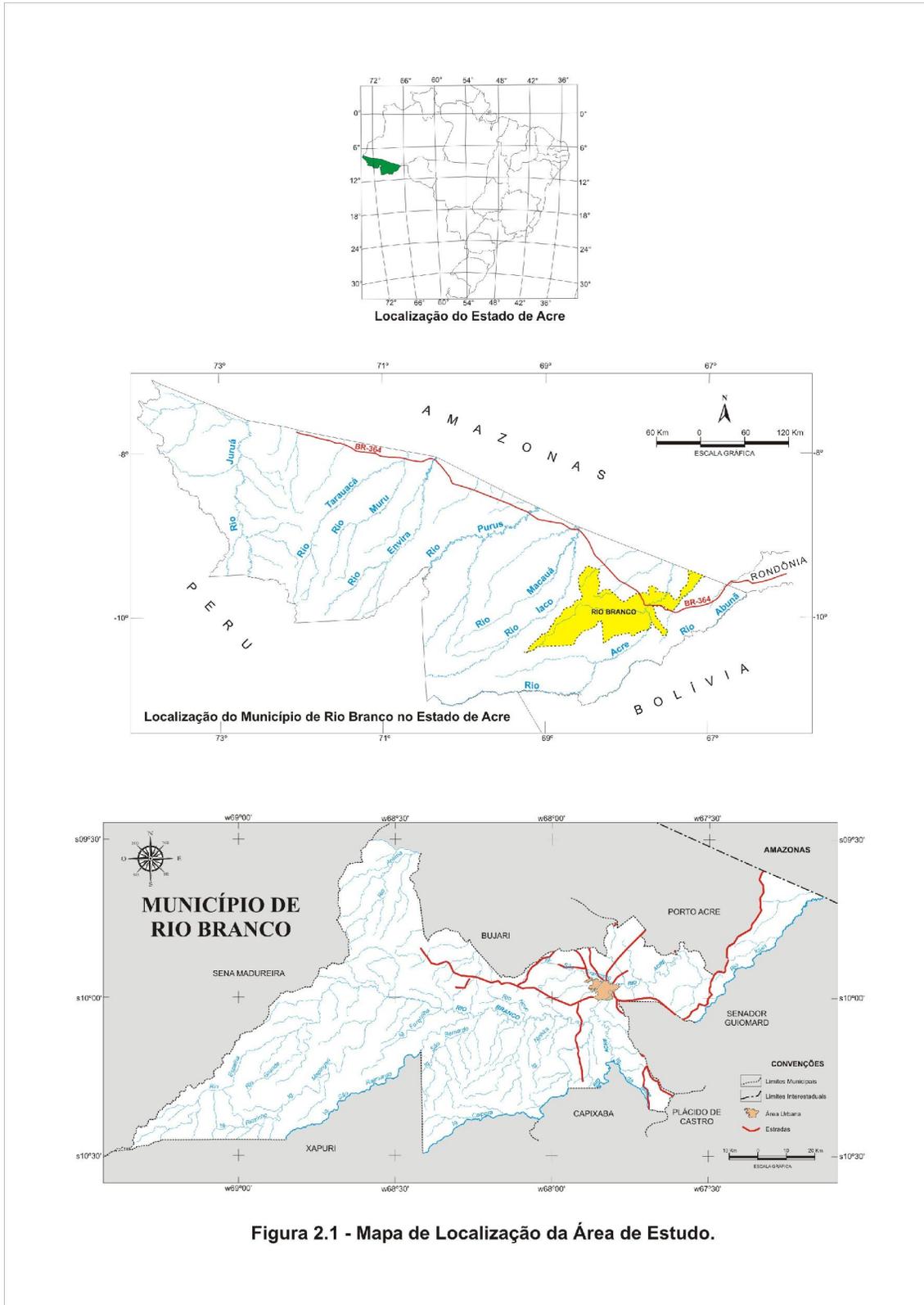
A área de estudo, que corresponde ao município de Rio Branco, capital do Estado do Acre, localiza-se entre as latitudes 9° 15' (S) e 10° 30' (S), longitudes 67° 00' (W) e 69° 30' (W), é cortada pelo rio Acre.

O sistema viário principal de Rio Branco é composto por duas rodovias federais – BR-364 e BR-317 – e por três rodovias estaduais – AC-090, AC-040 e AC-010. A BR-364 é a porta de saída do Estado para o restante do Brasil. O Município é banhado pelos rios Acre, Iquiri, Xipamamu e Antimari. A área do Município é de 14.294 km² (Figura 2.1).

2.2 Aspectos sócio-econômicos

O município de Rio Branco foi fundado em 28 de dezembro de 1882. Possui uma área de 14.294 km² e uma população de 252.800 habitantes, sendo 123.085 homens e 129.715 mulheres. 226.054 vivem na cidade e 26.746 vivem na zona rural (IBGE, 2000). A economia é baseada nas atividades de pecuária, exploração madeireira, extrativismo e agricultura.

A pecuária conta com 378.476 mil bovinos, predominantemente da raça Nelore, criados em uma área de 253.000 mil hectares de pastagens (IDAF, 2004). A indústria madeireira de Rio Branco teve seu auge no final da década de 80, quando o Município atingiu um número superior a 130 serrarias. Entretanto a crise econômica e as pressões ambientais provocaram o fechamento de inúmeras dessas



empresas na década de 90, ficando o setor madeireiro reduzido a 92 serrarias (FIEAC, 2004).

A partir do final da década de 90, o cenário econômico do Município vem mudando com o crescimento da atividade agrícola, que atinge uma produção de 56.950 toneladas, sendo 1.427 toneladas de arroz, 1.217 toneladas de milho e 651 toneladas de feijão, de acordo com os dados fornecidos pelo IBGE (2004). Importante frisar que o setor terciário em Rio Branco é o que mais contribui para as receitas próprias do Estado (IBGE, 2004).

A Capital do Estado é a única cidade que possui um Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano (1986), onde foi possível identificar áreas passíveis de inundações e deslizamento (erosão), que representam 13,18% da área urbana. O município de Rio Branco apresenta 16,54% de sua área desmatada.

A Amazônia ficou à margem da consciência da maioria dos brasileiros até recentemente, só começando a ser valorizada quando despertou interesse no cenário internacional. O desmatamento em grande escala na Amazônia começou na década de 60 e tem se concentrado de maneira desordenada num arco que vai do leste do Estado do Pará, passando por Mato Grosso, até o oeste de Rondônia. Avaliações ecológicas e econômicas feitas na década de 70 sobre o processo de desenvolvimento da Amazônia mostravam poucas perspectivas para um possível desenvolvimento sustentável (Goodland & Irwin, 1975; Hecht, 1985; Uhl & Almeida, 1996).

2.3. Aspectos fisiográficos gerais

2.3.1. Clima

O município de Rio Branco possui um clima com características do domínio tropical úmido. A umidade relativa do ar apresenta-se em níveis elevados durante todo o ano, com médias mensais em torno de 80-90%.

A circulação atmosférica regional é caracterizada pela atuação da Massa de Ar Equatorial Continental durante todo o ano. Essa massa de ar, quente, úmida e instável, se origina na Amazônia Ocidental. No verão, com o enfraquecimento da Massa Polar Atlântica, a Massa Equatorial Continental avança a partir da Região Norte, atraída pelas baixas pressões do interior do país, atravessa a região de baixa pressão do chaco, segue em direção às regiões centrais do estado, provocando as conhecidas chuvas de verão.

O município de Rio Branco está inserido em uma região com um clima quente e úmido com duas estações: seca e chuvosa. A estação seca estende-se de maio a agosto. A estação chuvosa, o “inverno”, caracteriza-se por chuvas constantes, prolongando-se de novembro a abril. Na estação seca, são comuns as “friagens”, fenômeno efêmero, porém muito freqüente na região (ZEE, 2000).

A “friagem” resulta do avanço da Frente Polar que, impulsionada pela Massa de Ar Polar Atlântica, avança pela Planície do Chaco e chega até a Amazônia Ocidental, onde provoca brusca queda de temperatura, chegando a algo em torno de 10° C. A temperatura média oscila na faixa de 26°C a 27° C, com pequenas variações. As temperaturas máximas giram em torno de 32°C e as mínimas variam de 14,4°C a 20,4°C.

Os sistemas extratropicais, Frente Polar Atlântica, são característicos do inverno, gerando tempo estável e elevada amplitude térmica (RADAMBRASIL, 1973a).

Segundo Mesquita & Paiva (1995), a Microrregião de Rio Branco apresenta a primeira menor média anual de precipitação do Estado do Acre, registrando um índice de 1.684 mm. O período chuvoso se estende de novembro a março, com média mensal de 234,7 mm. No entanto, o período seco é observado nos meses de maio a agosto, registrando uma média de 47,4 mm mensais, com destaque para o mês de junho, com menos de 23,0 mm. O período intermediário possui uma duração de quatro meses (agosto, setembro e outubro), apresentando uma média mensal de 198,8 mm.

2.3.2 Vegetação

No perímetro do município de Rio Branco, a vegetação apresenta um grande número de variáveis que caracterizam as diferentes paisagens naturais, ocorrendo dois grandes Sistemas Ecológicos Regionais: o Domínio da Floresta Ombrófila Densa e o Domínio da Floresta Ombrófila Aberta, que se subdivide em sete grandes formações com dominância de palmeiras, cipó e bambus. Dentro desses domínios foram identificados 11 tipologias florestais diferentes como mostra a Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Apresentação da Tipologia Florestal. Fonte: ZEE,(2000)

N.º	TIPOLOGIA FLORESTAL	%
01	Floresta Aberta com Bambu Dominante	10,40
02	Floresta Aberta com Bambu mais Floresta com Palmeira	26,20
03	Floresta com Palmeira em Área Aluvial	7,05
04	Floresta Aberta com Palmeira	7,77
05	Floresta com Palmeira mais Floresta Densa	13,32
06	Floresta Densa mais Floresta Aberta com Palmeira	8,50
07	Floresta com Palmeira mais Floresta com Bambu	21,02
08	Floresta com Bambu em Área Aluvial	3,04
09	Floresta Densa	0,90
10	Floresta Aberta com Bambu mais Floresta Densa	0,36
11	Floresta Densa Submontana	0,47

Ainda segundo ZEE (2000), as principais formações vegetais que ocorrem no Estado possuem ampla distribuição de biomassa e caracterizam-se por uma diversidade arbórea significativa.

As tipologias de Florestas Ombrófilas Densas caracterizam-se pela cobertura dominante de floresta densa com dossel emergente ou uniforme e um sub-bosque ralo ou ausente. Pode ser subdividida pelas distintas unidades geológicas/geomorfológicas ocorrentes.

Os ecossistemas de Florestas Ombrófilas Abertas, que perfazem a maior parte do Estado, ocupam distintas unidades geomorfológicas. Neste sistema ecológico regional, as diferenciações entre as espécies de palmeiras, bambu e cipós têm suas

relativas densidades e distribuição espacial e/ou variabilidade no número de indivíduos e espécies (RADAMBRASIL, 1977). A Tabela 2.2 a seguir apresenta essas diversas ocorrências.

Tabela 2.2 - Ecossistemas das Florestas Ombrófilas Densas e Abertas.
Fonte: ZEE, 2000.

FLORESTA OMBRÓFILA DENSA	FLORESTA OMBRÓFILA ABERTA
Nas elevações do Complexo Fisiográfico da Serra do Divisor	Nos terrenos sedimentares plio-pleistocênicos da Formação Solimões, dissecados e aplainados em pequenas colinas e cristas com altitudes variando de 200 a 250 m, são encontradas quatro fisionomias florestais: <ul style="list-style-type: none">• Aberta de palmeiras;• Aberta de bambus dominantes;• Aberta de palmeiras e de bambus dominados;• Aberta de cipós.
Nas vertentes colinosas sobre os argillitos da Formação Ramon	Numa estreita faixa de relevo ondulado nas bordas orientais das serras sobre depósitos coluviais holocênicos ocorrem as fisionomias florestais: <ul style="list-style-type: none">• Aberta de palmeiras;• Aberta de cipós.
Nos interflúvios tabulares ao longo do Rio Juruá e do Iaco.	
Nas cristas que ocorrem nos Cambissolos na porção sudoeste do Estado.	Nas planícies aluviais cobertas por sedimentos recentes e atuais (Quaternário), são encontradas a fisionomia aberta de palmeira e a fisionomia aberta de bambus.
Nas áreas de relevo forte ondulado ao longo do rio Tarauacá sobre Podzólicos VA Álicos.	
Sobre os Alissolos ao longo da margem direita do Rio Xapuri até a fronteira com a Bolívia.	

A vegetação natural é representada pela *floresta equatorial subperenifólia densa submontana*, *floresta equatorial subperenifólia densa de terras baixas* e *floresta equatorial perenifólia densa aluvial* (EMBRAPA, 1988; IBGE, 1992).

Os constantes desmatamentos provocados pelo avanço da agropecuária e exploração madeireira na região reduziram as grandes áreas cobertas pela floresta original. Essas áreas atualmente são dominadas por extensas áreas de *Mata Secundária* (*Sucessão Secundária* ou *regeneração* nos seus diversos estágios de desenvolvimento) (IBGE, 1992).

Dentre as espécies mais comuns encontradas na área estão: angelim pedra-folha-miúda ou angelim da mata (*Dinizia exelsa*) e maçaranduba (*Manikara huberi*), que são espécies emergentes; acapu (*Voucapoua americana*), tachi (*Tachigalia paniculata*); faveira (*Pithecellobium spp*), visgueiro (*Parkia spp*) e jutaí-açu (*Hymenaea courbari*).

2.3.3 Hidrografia

O rio Acre, afluente direto do rio Purus, por sua extensão e pelo seu caudal, constitui-se no maior representante de drenagem do município de Rio Branco. Apresenta uma hierarquização fluvial relativamente homogênea, predominando na maior parte das sub-bacias um grande número de canais de primeira ordem. Alguns desses canais chegam mesmo a secar na época de estiagem em função da quebra do seu equilíbrio natural, ora pela baixa pluviosidade nos meses de junho a agosto, ora pelo desmatamento ao longo desses canais.

A área da bacia de drenagem do rio Acre em sua totalidade é de aproximadamente 609,15 km² dos quais 287 km² estão no município de Rio Branco, compreendendo 14 sub-bacias de características dentríticas. O rio Acre apresenta um perfil longitudinal complexo, predominando o percurso meandrante, embora possua alguns trechos consideráveis de forma retilínea – *as estirões*, segundo conhecimento popular da região (ZEE, 2000).

O Rio Acre no perímetro do município de Rio Branco apresenta:

- Calado máximo nos meses de dezembro a abril, cujas cotas variam de 7,20 metros a 13,50 metros.
- Calado médio nos meses de maio a julho, cujas cotas variam de 13,50 metros a 2,00 metros.
- Calado mínimo nos meses de agosto a novembro, cujas cotas variam de 2,00 metros a 7,20 metros.
- Cota de Transbordamento de 14,00 metros.

Esse rio possui uma dinâmica geomorfológica muito comum: o deslizamento das suas margens, o que está relacionado às variações de regime fluvial de cheias e vazantes. Esse fenômeno ocorre, comumente, no período das enchentes. Quando as águas começam a baixar, a pressão hidrostática diminui e a água anteriormente retida nas margens é liberada. Com isso, o deslizamento de terra que ocorre nas suas margens, em Rio Branco, contribui para o assoreamento do leito normal do rio Acre, influenciando o regime e a extensão das cheias sazonais que caracterizam a inundação parcial das áreas urbanas da cidade.

O igarapé São Francisco, com percurso de 115,6 km, é de grande importância por ser, a exceção do rio Acre, o principal coletor da bacia hidrográfica do sítio urbano de Rio Branco. Está bastante degradado devido ao desmatamento de suas margens pela ocupação humana e também pela poluição de suas águas, por estar servindo de depósito de lixo e esgoto a céu aberto.

O igarapé Judia, com um percurso de 26 km, possui um escoamento de drenagem do tipo dentrítica. Encontra-se bastante poluído.

O Canal da Maternidade, outro curso d'água, encontra-se totalmente poluído, quase morto: por cortar a cidade é coletor de lixo, servindo de esgoto a céu aberto.

No comum, os rios e igarapés de Rio Branco são bastante sinuosos, escoando em estreitas planícies fluviais de deposição, com o seu regime pluviométrico alternando-se entre cheias e vazantes. Os períodos de cheias apresentam, conforme intensidade das chuvas, enchentes de diferentes magnitudes. As formações geológica e geomorfológica são indicadores de rios de águas brancas, com grande concentração de material sólido em suspensão, oriundos dos processos hidroerosivos da corrente sobre as margens.

2.3.4 Geomorfologia

Segundo a compartimentação geomorfológica, o município de Rio Branco (ZEE, 2000) tem as seguintes características. O relevo é formado sobretudo por uma

plataforma regular que, na maior parte, desce suavemente de cotas da ordem de 300 metros, nas fronteiras extremas, para pouco mais de 100 metros, no limite com o estado do Amazonas.

A litologia da região é composta por sedimentos Plio-Pleistocênicos, representados pela Formação Solimões, de origem continental, predominantemente fluvial, com algumas contribuições lacustres. Certamente o relevo se define como um conjunto de interflúvios tabulares e dimensões médias, comuns à região amazônica, entrecortada por drenagens naturais pouco profundas e incipientes. Ele se modifica constantemente, tanto pela ação das águas, quanto dos ventos-erosão. O homem também contribui com essa modificação, por meio de desmatamentos, plantação, construção de estradas e projetos de assentamentos humanos, entre outras ações.

As rochas sedimentares, com ampla predominância dos arenitos, compõem o platô acreano, fazendo do Estado do Acre a única unidade brasileira totalmente desprovida de rochas cristalinas. Esses depósitos foram arrastados da Cordilheira dos Andes e assentados sem grandes perturbações. A Tabela 2.3 apresenta as principais unidades Geomorfológicas do Município.

Tabela 2.3 – Principais Unidades Geomorfológicas do município de Rio Branco.
Fonte: ZEE (2000) apud RADAMBRASIL, 1976,1977.

UNIDADES	DESCRIÇÃO
Colinas	Relevo de topo pouco convexo separados por vales em V e eventualmente por vales de fundo plano, mapeados com índice de dissecação fraca.
Terraço Fluvial	Patamar esculpido pelo rio, com declividade voltada para o leito do fluvial, eventualmente comportando meandros calmatados.
Planície e Terraços Fluviais	Áreas aplainadas resultantes de acumulação fluvial, periodicamente ou permanentemente alagada comportando meandros abandonados, ligada com ou sem ruptura de declividade a patamar mais elevado.
Colinas	Relevo de topo pouco convexo separados por vales em V e eventualmente por vales de fundo plano, mapeadas com índices de dissecação mediana.
Cristas	Relevos de topo contínuo e aguçado, separados geralmente por vales em V e eventualmente por vales de fundo plano, mapeadas com índice de dissecação fraca.
Planície Aluvial	Área alagada resultante de acumulação fluvial, periódica ou permanentemente alagada, geralmente comportando meandros abandonados

2.3.5 Geologia

A região do município de Rio Branco é caracterizada por sedimentos Plio-Pleistocênicos, representados pela Formação Solimões. Predominam arenitos de origem continental sobretudo fluvial com contribuições lacustre. Na parte superior predominam rochas argilosas com concreções carbonáticas e gipsíferas, ocasionalmente com material carbonizado (turfa e linhita), concentrações esparsas de pirita e grande quantidade de fósseis de vertebrados e invertebrados (ZEE, 2000). Ainda na região do Município em estudo, a Formação Solimões é sobreposta por terraços fluviais e depósitos aluvionares quaternários.

No estado do Acre a Formação Solimões é a mais expressiva em termos de superfície ocupada, estendendo-se por mais de 80% do Estado. Cobre quase toda a região interfluvial, com exceção do extremo oeste do Estado, onde se encontram o Complexo Fisiográfico da Serra do Divisor, com litologia do Grupo Acre e a Formação Ramom também no extremo oeste do Estado, nas vertentes ocidentais da Serra da Jaquirana e Serra do Moa na fronteira com o Peru.

2.3.6 Solos

De acordo com a EMBRAPA (1999) e ZEE (2000), os solos da região apresentam baixa fertilidade natural e boas propriedades físicas. Os principais solos da região são:

- Latossolo vermelho amarelo distrófico com características marcantes de óxido hidratados de ferro, alumínio e variável proporção de argila. São solos concrecionários lateríticos de textura argilosa;
- Podzólico vermelho amarelo eutrófico com os seguintes sedimentos predominantes: argilitos, siltitos argilosos carbonatados. Não são hidromórfos, e são caracterizados por apresentar um horizonte B textural com frações argilosas;

- Podzólico vermelho amarelo álico, com solos de profundidade média, bem arenados e com grau de estrutura fraca e moderada, na forma geralmente granular. Possuem alto grau de acidez e presença de alumínio;
- Solos hidromórficos gleyzados eutróficos e álicos, são desenvolvidos sobre sedimentos recentes (quaternário) de textura argilo-siltosa, com cores influenciadas pelo processo de redução do ferro e pela saturação com a umidade;
- Solos hidromórficos gleyzados eutróficos, solos que foram originários a partir dos sedimentos Plio-Pleistocênicos da Formação Solimões.

CAPÍTULO 3

METODOLOGIA

A execução do trabalho se dividiu em seis etapas, apresentadas no fluxograma do ANEXO I -1, como segue:

- Ø *Aquisição de dados;*
- Ø *Construção do banco de dados georreferenciados;*
- Ø *Processamento digital de imagens orbitais;*
- Ø *Análise e interpretação de dados e imagens orbitais;*
- Ø *Análise ecodinâmica;*
- Ø *Integração dos dados.*

3.1 Aquisição de dados

Nesta etapa estão descritos a seleção dos dados necessários e existentes, os equipamentos e os aplicativos utilizados no trabalho.

3.1.1 Seleção dos dados

Os dados temáticos e alfanuméricos sobre os temas (ou Planos de Informação) de Geologia, Geomorfologia, Solos e Vegetação foram obtidos junto a Secretaria de Meio Ambiente e recursos Naturais do Estado do Acre – SEMA, com o intuito de caracterizar o meio físico da área estudada. Esses dados foram obtidos nas escalas de 1:1.000.000 e 1:250.000.

As imagens de satélite, obtidas junto ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, foram selecionadas considerando-se a menor porcentagem de nuvens.

Os dados utilizados neste trabalho estão descritos nas Tabelas 3.1 e 3.2.

TABELA 3.1 – Dados Temáticos

TIPO DE DADOS	FORMATO	ESCALA	DESCRIÇÃO
Mapa de Solos	Digital	1:1.000.000 e 1:250.000	Mapa no formato digital fornecido pela Secretaria de Meio Ambiente do Estado do Acre e SIPAM.
Mapa Geológico	Digital	1:1.000.000 e 1:250.000	Mapa no formato digital fornecido pela Secretaria de Meio Ambiente do Estado do Acre e SIPAM.
Mapa Geomorfológico	Digital	1:1.000.000 e 1:250.000	Mapa digital formato digital fornecido pela Secretaria de Meio Ambiente do Estado do Acre e SIPAM.
Mapa de Vegetação	Digital	1:1.000.000 e 1:250.000	Mapa digital formato digital fornecido pela Secretaria de Meio Ambiente do Estado do Acre e SIPAM.

TABELA 3.2 – Imagens utilizadas

SENSOR	FORMATO	ÓRBITA/PONTO	RESOLUÇÃO	DATA
tm_landsat 5	Digital	001067	Pixel de 30m x 30m	2003
tm_landsat 5	Digital	002067	Pixel de 30m x 30m	2003
tm_landsat 5	Digital	003067	Pixel de 30m x 30m	2003

3.1.2 Equipamentos e aplicativos

Para a realização deste trabalho foram utilizados os seguintes equipamentos e aplicativos:

- Ø Computador pessoal (PC) e estação de trabalho para o processamento dos dados;
- Ø GPS de navegação GARMIM II Plus, utilizado durante o trabalho de campo para posicionamento geográfico dos pontos amostrais;
- Ø Câmara Fotográfica Kodak DC 3400 Zoom Digital Câmera utilizada durante o trabalho de campo.
- Ø *Softwares:*
 - Ø SPRING versão 4.0 , módulos IMPIMA, SCARTA E IPLOT

- Ø ERDAS IMAGINE versão 8.5;
- Ø ARCVIEW versão 3.1;
- Ø AutoCAD 2000
- Ø Editores de texto Microsoft Word 2000, de planilha Microsoft Excel 2000 e de figuras Corel Draw e Corel PhotoPaint 9.0.
- Ø Banco de dados armazenados em tabela e planilhas.

3.2 Construção do banco de dados georreferenciados

Para a construção do banco de dados georreferenciados, foi utilizado o *software* **SPRING 4.0** - Sistema para Processamento de Informações Georreferenciadas, que permite a administração e manipulação de dados vetoriais e matriciais e possui linguagem de programação acessível ao usuário **LEGAL** - Linguagem Espacial-Geográfico baseada em **Álgebra**.

Para introdução dos dados no **SPRING 4.0**, primeiramente foi criado o *modelo de dados* do banco com o tipo adequado de *categoria* (numérico, temático, imagem, cadastral ou objeto) para cada dado inserido. Dessa forma, o banco passa a ter uma área física constituída de um projeto que comporta conjuntos de Planos de Informação (PI) de acordo com o fluxograma do modelo conceitual utilizado (Figura 3.1).

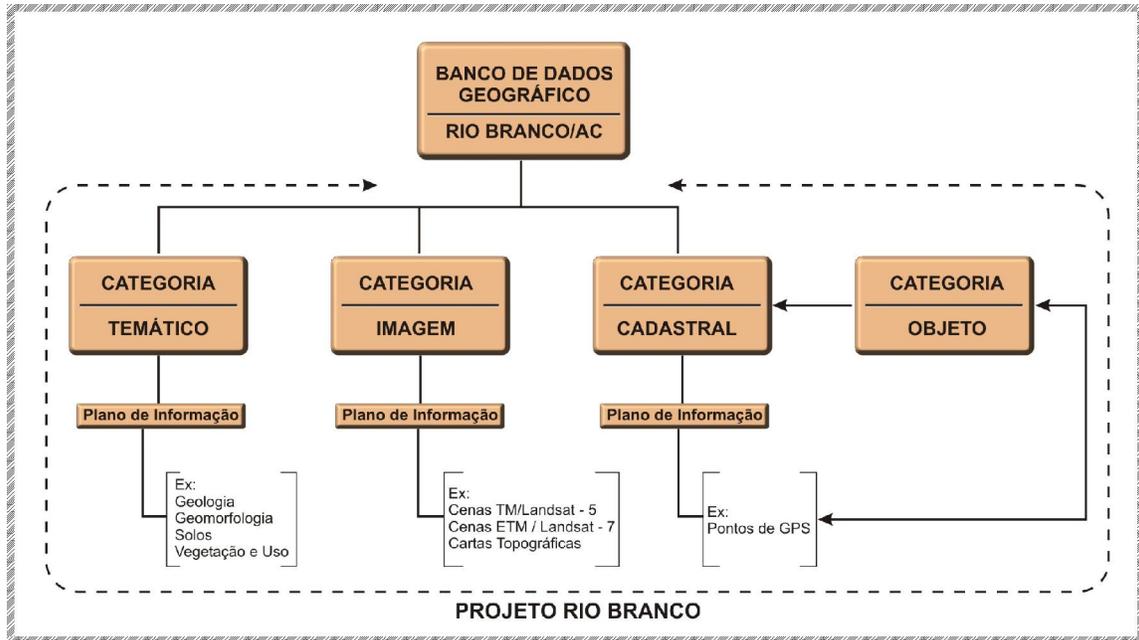


Figura 3.1 – Fluxograma do Modelo Conceitual do Banco de Dados.

Para criar um **Projeto** definiu-se o **Retângulo Envolvente**, o qual se reporta aos limites geográficos da área de estudo e da Projeção Cartográfica. Nesta pesquisa os valores foram:

- ∅ Retângulo envolvente (em coordenadas geográficas):
Longitude 1 = oeste 69° 28' 12" - Latitude 1 = sul 10° 39' 00"
- Longitude 2 = oeste 67° 03' 36" - Latitude 2 = sul 09° 24' 36"

Uma vez criados o Banco de Dados e o Projeto, o procedimento seguinte foi criar as Categorias de Dados. Para as entidades geográficas que podem ser modeladas como geocampo foram criadas Categorias de tipo Imagem, Temático e Numérico. Para as entidades geográficas que podem ser modeladas como ge-objetos foram criadas as Categorias do Objeto, Cadastral e Não-Espacial.

Os dados foram convertidos para o formato utilizado pelo *software* SPRING 4.0, gerando os Planos de Informação pertencentes às categorias, de informação apresentadas no Modelo conceitual do banco de dados. Dados como as imagens Landsat antes de serem inseridas no banco de dados do SPRING 4.0 foram

convertidos, no módulo *Impima*, para o formato GRIB, e posteriormente registradas e importadas para o banco de dados.

3.3 Processamento digital de imagens orbitais

Para obter uma melhor qualidade nos resultados da interpretação e na classificação das imagens utilizadas como “âncora” (Crepani et al., 2001), foi necessário aplicar algumas técnicas de processamento de imagens (Figura 3.2).

Pré-processamento de imagens: Constituiu-se na restauração quantitativa da imagem para corrigir degradações radiométricas e geométricas inseridas pelo sensor no processo de formação das imagens. O processo de correção geométrica de imagens compreende, por sua vez, três etapas: mapeamento direto ou transformação geométrica, mapeamento inverso e reamostragem (Fonseca, 2000).

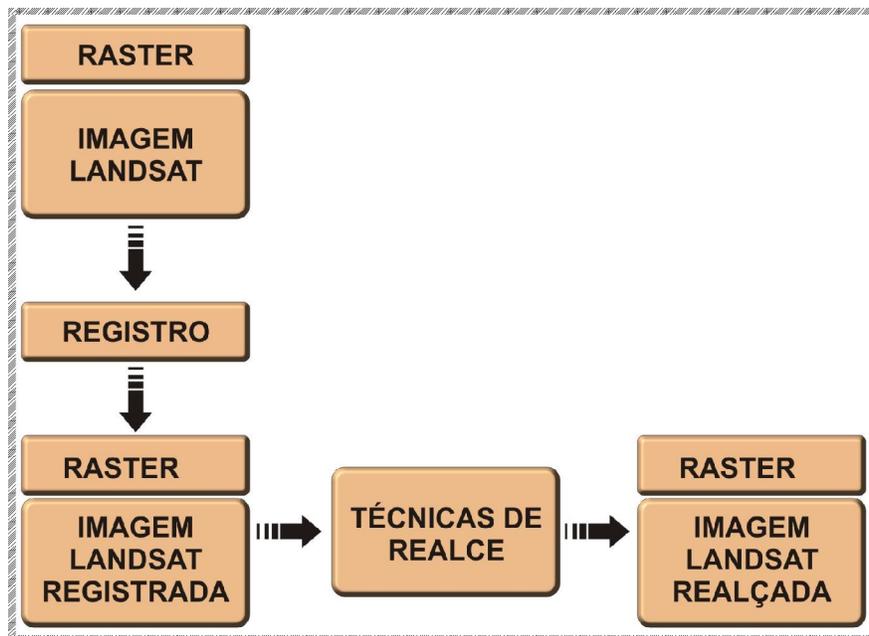


Figura 3.2 – Esquema que resume as etapas técnicas mais comuns do processamento digital de imagens. Fonte: adaptada de Fonseca (2000).

Realce de imagens: As técnicas que visam melhorar a qualidade visual das imagens e enfatizar alguma característica de interesse para aplicação específica. O resultado do realce de imagens é uma outra imagem transformada e melhorada visualmente.

Análise de imagens: Está relacionada com a extração de informação das imagens. Esse procedimento incluiu **segmentação de imagens** (partição da imagem em regiões com características diferentes) e a classificação de imagens propriamente dita.

A seguir são descritas as técnicas de processamento digital de imagem utilizadas nesta pesquisa.

3.3.1 Registro e técnicas de realce

Inicialmente foi aplicada uma correção geométrica na imagem de satélite para o registro imagem-carta, no *software* SPRING, através do *método de vizinho mais próximo* para a reamostragem dos níveis de cinza.

Na fase de preparação para a interpretação visual foi aplicada a técnica de realce linear de contraste, de acordo com critérios subjetivos estabelecidos pelo intérprete, através da manipulação do histograma da imagem, o que permitiu uma melhor discriminação dos alvos ou componentes da paisagem. Essa manipulação pode ser feita pela opção *linear, negativo, mínimo e máximo, raiz quadrada e logarítmica*, dentre outras operações de manipulação de contraste implementadas no SPRING – Sistema para Processamento de Informações Georreferenciadas.

3.3.2 Transformação do número digital para valores de reflectância

Para a etapa de classificação, inicialmente transformou-se o valor digital de cada pixel das imagens (sem o realce) para valores de reflectância. Essa transformação foi feita no SPRING 4.0, através da linguagem de programação LEGAL, para cada uma das bandas utilizadas no trabalho.

3.4 Análise e interpretação de dados e imagens orbitais

Nesta etapa, são descritos os procedimentos utilizados na análise e interpretação de dados e imagens orbitais para identificação das unidades de área e

posterior geração do mapa de vulnerabilidade à erosão do solo do município de Rio Branco, seguindo a metodologia de Crepani et al. (1996, 2001).

3.4.1 Reinterpretação e ajuste dos mapas

Foram selecionados mapas de Geomorfologia, Geologia, Vegetação e de Solos que foram reinterpretados e ajustados da escala de origem para a escala de trabalho através da *"interpretação em tela"* (edição diretamente sobre a imagem observada no monitor), criando-se um arquivo temático (Plano de Informação - PI) para cada tema.

3.4.1.1 Plano de Informação Geomorfologia

O PI Geomorfologia foi produzido tendo a imagem de satélite como "âncora" e o Mapa Geomorfológico da área, publicado pelo ZEE – Zoneamento Ecológico Econômico do estado do Acre (2000) na escala 1:1.000.000 e no formato vetorial (shapefile) como referência.

A interpretação geomorfológica foi feita segundo os critérios de fotointerpretação de Soares & Fiori (1976) e Veneziani & Anjos (1982), usando a metodologia adotada pelo IBGE (1995), a partir da extração dos elementos que apresentavam similaridade na definição geométrica por terem a mesma origem e apresentarem os mesmos processos morfométricos atuantes. Para isso, utilizou-se a função de edição vetorial de dados temáticos presente no SPRING. Dessa forma, puderam ser delimitadas classes de acumulação, dissecação e aplainamento.

A partir do PI Geomorfologia, foi possível analisar e calcular as informações referentes aos índices morfométricos (amplitude altimétrica, declividade e grau de dissecação) obtidos por amostragem e presentes em cada classe geomorfológica.

3.4.1.2 Plano de Informação Geologia

O PI Geologia foi gerado tendo como base os mapas publicado pelo ZEE (2000) na escala 1:1.000.000 e no formato vetorial (shapefile) como referência.

As unidades geológicas foram delimitadas obedecendo aos critérios estabelecidos por Soares & Fiori (1976) e Veneziani & Anjos (1982) considerando-se os elementos de textura, estrutura, tonalidades de cinza e sombras associados às formas de relevo extraídas do PI Geomorfologia produzido na fase anterior.

3.4.1.3 Plano de Informação Solos

O Mapa de Solos, fornecido pelo ZEE (2000) no formato digital na escala 1:1.000.000, foi registrado e utilizado como referência para a geração do PI Solos. Esse Plano de Informação foi gerado tendo como base as formas de relevo fornecidas pelo PI Geomorfologia, associadas aos elementos de interpretação observados na imagem (“âncora”) sugeridos por Valério Filho et al. (1981).

3.4.1.4 Plano de Informação Cobertura Vegetal

O Mapa de Vegetação, fornecido pelo ZEE (2000) no formato digital na escala 1:1.000.000, foi registrado e utilizado como referência para a geração do PI Cobertura Vegetal. Esse PI foi produzido utilizando-se a classificação automática não-supervisionada gerada no ERDAS IMAGINE 8.5, que, após uma interpretação inicial restrita a mudança de classes, foi exportada e importada para o SPRING 4.0. Nesse *software* a classificação foi avaliada e editada, através de fotointerpretação das imagens utilizadas no trabalho sobre a IMAGEM“âncora”, com auxílio dos dados coletados no campo. Essa edição foi feita através da ferramenta de edição matricial do SPRING a partir da metodologia utilizada por Duarte et al. (2001).

3.4.4 Etapa de campo

A etapa de campo serviu para o reconhecimento e compreensão dos processos formadores da paisagem, bem como para identificar feições que se apresentavam como dúvidas na interpretação das imagens orbitais a respeito da geologia, geomorfologia, solos e principalmente da cobertura vegetal e uso da terra.

Foram utilizados três dias para visitar, reconhecer, e fotografar pontos problemáticos da área de estudo registrados com o auxílio de GPS. Com essas informações foi elaborada uma carta imagem com a identificação de uso e ocupação do solo.

3.5 Análise Ecodinâmica

Para estabelecer os valores de vulnerabilidade à erosão do solo no município de Rio Branco, atribuídos individualmente a cada tema analisado, foram considerados os processos que influenciam no desenvolvimento da morfogênese e/ou pedogênese. Embora esses valores sejam relativos e empíricos, procurou-se através deles representar o comportamento esperado para cada um dos temas frente aos processos naturais da *denudação*, resultante da interação de processos *intempéricos e erosivos*, responsáveis diretos pela perda de solo.

A denudação, em seu trabalho contínuo, reduz as montanhas e elevações, aplainando as irregularidades até atingir uma superfície de erosão de topografia quase plana denominada *peneplana*. A velocidade de denudação é maior nas áreas de topografia mais acidentada e depende da vegetação, do clima, da resistência à erosão das rochas que encontra para desgastar e, desde que o homem começou a atuar na superfície do planeta, depende também da atividade humana.

Os critérios utilizados para estabelecer esses valores são baseados na metodologia desenvolvida por Crepani et al. (1996; 2001).

3.5.1 Geologia e Geomorfologia

Os aspectos da Geologia analisados para a atribuição de valores de vulnerabilidade à perda de solo, compreendem as informações relativas à história da evolução geológica do ambiente onde a unidade de paisagem se encontra e ao grau de coesão das rochas que a compõem. Por grau de coesão das rochas entende-se a intensidade da ligação entre os minerais ou partículas que as constituem.

Como toda rocha é um agregado de minerais, sua resistência ao intemperismo vai depender da resistência ao intemperismo dos minerais que a compõem (o que depende da natureza das ligações entre os átomos dos diferentes elementos químicos que os constituem), bem como da resistência à desagregação entre os minerais (o que vai depender da natureza das forças que juntaram as partículas, cristais ou grãos). O grau de coesão das rochas é a informação básica da Geologia a ser integrada a partir dos conceitos da Ecodinâmica, uma vez que em rochas pouco coesas devem prevalecer os processos modificadores das formas de relevo (morfogênese), enquanto que nas rochas bastante coesas devem prevalecer os processos de formação de solos (pedogênese).

Crepani et al. (2001) atribui uma posição dentro de uma escala de vulnerabilidade à denudação (intemperismo + erosão), absolutamente relativa e empírica, para as rochas mais comumente encontradas na superfície do planeta (Tabela 3.3), procurando considerar os aspectos relativos ao grau de coesão das rochas ígneas, metamórficas e sedimentares.

TABELA 3.3 – Escala de vulnerabilidade à denudação das rochas mais comuns.
 Fonte: Crepani et al. (2001)

ESCALA DE VULNERABILIDADE À DENUDAÇÃO DAS ROCHAS MAIS COMUNS					
Quartzitos ou metaquartzitos	1,0	Milonitos, Quartzo muscovita Biotita, Clorita xisto	1,7	Arenito quartzosos ou ortoquartzitos	2,4
Riólito, Granito, Dacito	1,1	Piroxenito, Anfibolito Kimberlito, dunito	1,8	Conglomerados, Subgrauvacas	2,5
Granodiorito, Quartzo Diorito, Granulitos	1,2	Hornblenda, Tremilita, Actinolita xisto	1,9	Grauvacas, Arcózios	2,6
Migmatitos, Gnaisses	1,3	Estaurolita xisto, Xistos granatíferos	2,0	Siltitos, Argilitos	2,7
Fonólito, Nefelina Sienito, Traquito, Sienito	1,4	Filito, Metassilito	2,1	Folhelhos	2,8
Andesito, Diorito, Basalto	1,5	Ardósia, Metargilito	2,2	Calcários, dolomitos, Margas, Evaporitos	2,9
Anortosito, Gabro, Peridotito	1,6	Mármoreos	2,3	Sedimentos Inconsolidados: Aluviões, Colúvios etc.	3,0

Os valores de vulnerabilidade à perda de solo atribuídos à Geomorfologia são baseados na análise das formas de relevo ou associados aos índices morfométricos.

Com isso há energia potencial contida nas águas das precipitações pluviais que descem do ponto mais alto para o ponto mais baixo das unidades de paisagem. Quanto maior a energia potencial, transformada em energia cinética na descida das encostas, maior será a capacidade de erosão das águas pluviais.

Para o cálculo da amplitude altimétrica, primeiramente foram extraídas as curvas de nível e pontos cotados nas cartas topográficas, sendo uma na escala 1: 250.000 e as demais na escala 1: 100.000. Posteriormente as curvas de nível e pontos cotados foram utilizados para gerar uma grade regular usando o interpolador "*média ponderada por cota e por quadrante*", recomendado em INPE (2000). Isso proporcionou uma melhor precisão na extração dos pontos máximos e mínimos encontrados em cada unidade de paisagem delimitada no Plano de Informação Geomorfologia. Desse modo, o cálculo da amplitude altimétrica foi feito através da diferença entre as cotas máximas e mínimas extraídas da grade.

No caso dos valores de vulnerabilidade para a declividade, considerou-se o ângulo de inclinação das encostas em relação ao horizonte para cada unidade de paisagem. Quanto maior a inclinação, maior a declividade e, portanto, mais rapidamente a energia potencial das águas pluviais se transforma em energia cinética, o que se traduz em maior velocidade para as massas de água em movimento e, conseqüente, maior poder erosivo. Dessa forma, quanto maior a declividade, maior o valor de vulnerabilidade à perda de solo atribuído.

A intensidade de dissecação do relevo pela drenagem está diretamente ligada à porosidade e à permeabilidade do solo e da rocha. Rochas e solos impermeáveis dificultam a infiltração das águas pluviais e, conseqüentemente, apresentam maior quantidade de água em superfície para ser drenada em direção às partes mais baixas do terreno, o que implica em um número maior de canais de drenagem, em maior disponibilidade de energia potencial para o escoamento superficial (*runoff*) e, portanto, maior capacidade erosiva.

Quanto maiores forem os interflúvios (ou menor for a intensidade de dissecação), menores são os valores de vulnerabilidade atribuídos às unidades de

paisagem. Da mesma forma, as unidades de paisagem que apresentarem os menores interflúvios (ou maiores intensidades de dissecação) têm os maiores valores de vulnerabilidade.

3.5.2 Solos

A causa fundamental da erosão hídrica, seja laminar, em sulcos ou ravinas, é a ação da chuva sobre o solo. A chuva é o agente ativo da erosão e o solo é o agente passivo.

O termo *erodibilidade* se refere à capacidade de um determinado solo resistir à erosão. A erodibilidade de um solo é função de suas condições internas ou intrínsecas, como sua composição (mineralógica e granulométrica) e características físicas e químicas, e de suas condições externas ou atributos da sua superfície, relacionadas ao manejo do solo.

O manejo do solo pode ser subdividido em *manejo da terra*, que se refere aos diferentes tipos de uso da terra, como silvicultura, pastagens e agricultura, e *manejo da cultura*, que se refere especificamente às técnicas de agricultura, como tipo de cultura, métodos de preparo de solo e plantio, tipo de cultivo, etc. Para a caracterização morfodinâmica das unidades de paisagem nos aspectos relativos ao solo são enfocadas suas condições intrínsecas, enquanto que para a análise do uso do solo são abordados os seus atributos de superfície.

Para a caracterização morfodinâmica das unidades de paisagem nos aspectos relativos ao solo, são enfocadas suas condições intrínsecas, enquanto que para a análise do uso do solo são abordados os seus atributos de superfície.

A Pedologia participa da caracterização morfodinâmica das unidades de paisagem fornecendo o indicador básico da posição ocupada pela unidade dentro da escala gradativa da Ecodinâmica: a maturidade dos solos. A maturidade dos solos, produto direto do balanço morfogênese/pedogênese, indica claramente se prevalecem os processos erosivos da morfogênese que geram solos jovens, pouco desenvolvidos, ou se, no outro extremo, as condições de estabilidade permitem o

predomínio dos processos de pedogênese, gerando solos maduros, profundos, lixiviados e bem desenvolvidos.

Nas unidades de área de Rio Branco consideradas estáveis o valor atribuído aos solos na escala de vulnerabilidade à perda de solo é 1,0 e são representados pela classe de solos do tipo Latossolos. Tratam-se de solos bem desenvolvidos, com grande profundidade e porosidade sendo, portanto, considerados solos cujos materiais são mais decompostos. São considerados solos velhos ou maduros. Devido ao intenso processo de intemperismo e lixiviação, a que foram submetidos, esses solos apresentam quase que uma ausência total de minerais facilmente intemperizáveis e/ou minerais de argila 2,1. São solos que possuem boas propriedades físicas: permeabilidade à água e ao ar, e, mesmo quando contam com alta porcentagem de argila, são porosos, friáveis, de baixa plasticidade.

Nas unidades de área do município de Rio Branco consideradas intermediárias, o valor atribuído aos solos na escala de vulnerabilidade é 2,0, e são representados pela classe de solos do tipo Podzólicos ou Argissolos de acordo com EMBRAPA (1999). Os solos Podzólicos, quando comparados com os Latossolos, apresentam profundidade menor e são solos menos estáveis e menos intemperizados. Ocorrem geralmente em topografias um pouco mais movimentadas.

Nos solos Podzólicos ocorre um horizonte B, onde existe acumulação de argila, isto é, durante o processo de formação, uma boa parte da argila move-se por eluviação do horizonte A para o horizonte B, onde se acumula. Nesses solos a diferença de textura entre os horizontes A e B (ocasionada pelo acúmulo de argila no horizonte B) dificulta a infiltração de água no perfil, o que facilita os processos erosivos.

Nas unidades de área do Município consideradas vulneráveis, ocorrem solos jovens e pouco desenvolvidos, aos quais é atribuída vulnerabilidade de valor 3,0, e sua característica principal é a pequena evolução dos perfis de solo (Tabela 3.4).

Nesses solos, o horizonte A está assentado diretamente sobre o horizonte C ou então assentado diretamente sobre a rocha mãe (não possuem o horizonte B). São considerados como sendo solos jovens, em fase inicial de formação, pois estão ainda se desenvolvendo a partir dos materiais de origem recentemente depositados, ou então porque estão situados em lugares de alta declividade, nos quais a velocidade da erosão é igual ou maior que a velocidade de intemperismo.

A maior ou menor suscetibilidade de um solo a sofrer os processos erosivos da morfogênese depende de diversos fatores e os mais importantes são: estrutura do solo, tipo e quantidade das argilas, permeabilidade e profundidade do solo e a presença de camadas impermeáveis.

Nas unidades de área do Município em que ocorrem associações de solos, é feita uma ponderação, em função da predominância das classes de solos, usando-se as seguintes proporções: 60% e 40% para uma associação de duas classes ou 60%, 30% e 10% para uma associação com três classes de solos.

TABELA 3.4 – Valores de vulnerabilidade dos solos. Modificada de Crepani et al. (2001) incluindo a correlação com a nova nomenclatura de solos de Embrapa (1999) baseada em Prado (2001)

CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS (Camargo et al., 1987)	CLASSIFICAÇÃO DE SOLOS (EMBRAPA, 1999)	VULNERÁVEL
Latossolos amarelos	Latossolos Amarelos	
Latossolos Vermelho-Amarelos	Latossolos Vermelho-Amarelos	
Latossolos Vermelho-Escuro	Latossolos Vermelhos	1,0
Latossolos Roxos	Latossolos Vermelhos	
Latossolos Brunos	Latossolos Brunos	
Latossolos Húmicos	Latossolos (...) húmicos	
Latossolos Húmicos Brunos	Latossolos Brunos (...) húmicos	
Podzólicos Amarelos	Argissolos	
Podzólicos Vermelho-Amarelos	Argissolos, Luvisolos, Alissolos,	
Podzólicos Vermelho-Escuros	Nitossolos	
Terras Roxas Estruturadas	Argissolos, Luvisolos, Alissolos,	
Brunos Não-Cálcicos	Nitossolos	
Brunizéns	Argissolos, Nitossolos	2,0
Brunizéns Avermelhados	Luvisolos	
Rendzinas	Chernossolos	
Planossolos	Chernossolos	
Solos Hidromórficos (abrupticos)	Chernossolos	
Podzóis	Planossolos	
	Planossolos	
	Espodossolos	

Cambissolos	Cambissolos	2,5
Solos Litólicos	Neossolos Litólicos	
Solos aluviais	Neossolos Flúvicos	
Regossolos	Neossolos Rgolíticos	
Areias Quartzosas	Neossolos Quartzarênicos	
Vertissolos	Vertissolos	
Solos Orgânico	Organossolos	
Solos Hidromórficos (ñ abúpticos)	Gleissolos	3,0
Glei Húmico	Gleissolos, plintossolos	
Glei Pouco Húmico	Gleissolos, Plintossolos	
Plintossolo	Plintossolos	
Laterita Hidromórfica	Plintossolos	
Solos Concrecionários Lateríticos	Plintossolos	
Afloramento Rochoso	Afloramento Rochoso	

3.5.4 Cobertura Vegetal

As informações vindas da Fitogeografia se revestem de grande importância para a caracterização da vulnerabilidade à erosão do solo no município de Rio Branco, porque a cobertura vegetal representa a defesa da unidade contra os efeitos dos processos modificadores das formas de relevo (erosão). A ação da cobertura vegetal na proteção da paisagem se dá de diversas maneiras:

- Evita o impacto direto das gotas de chuva contra o terreno, o que promove a desagregação das partículas;
- Impede a compactação do solo, o que diminui a capacidade de absorção de água;
- Aumenta a capacidade de infiltração do solo pela difusão do fluxo de água da chuva;
- Suporta a vida silvestre, que, pela presença de estruturas biológicas como raízes de plantas, perfurações de vermes e buracos de animais, aumenta a porosidade e a permeabilidade do solo.

Compete à cobertura vegetal um papel importante no trabalho de retardar o ingresso das águas provenientes das precipitações pluviais nas correntes de drenagem pelo aumento da capacidade de infiltração. A infiltração impede o incremento do *escoamento superficial*, com a conseqüente diminuição na capacidade de erosão pela transformação de energia potencial em energia cinética.

A participação da cobertura vegetal na caracterização morfodinâmica das unidades de paisagem está, portanto, diretamente ligada à sua capacidade de proteção. Assim, aos processos morfogenéticos relacionam-se às coberturas vegetais de densidade (cobertura do terreno) mais baixa, enquanto que os processos pedogenéticos ocorrem em situações onde a cobertura vegetal mais densa permite o desenvolvimento e maturação do solo.

Portanto, para as áreas com alta densidade de cobertura vegetal, foram atribuídos menores valores de vulnerabilidade, já para as áreas com baixa densidade de cobertura vegetal e maior intensidade de uso da terra atribuiu-se os maiores valores de vulnerabilidade (Tabela 3.5).

Para as áreas em regeneração (sucessão secundária), foi atribuído um valor de vulnerabilidade referente a um tipo de vegetação mista, pois não foi possível separar, na imagem, os estágios de crescimento dessa regeneração.

TABELA 3.5 – Valores de vulnerabilidade à erosão de solo para as classes de cobertura vegetal e uso da terra. Fonte: Crepani et al. (2001)

CLASSES DE COBERTURA VEGETAL E USO DA TERRA	VALORES DE VULNERABILIDADE
Floresta Densa / Natural	1,0
Regeneração / Pastagem	2,8
Agricultura / Solo Exposto	3,0
Área Urbana	3,0

3.5.5 Clima

A erosão hídrica - causada pelo impacto das gotas de chuva e arrasto de partículas na superfície e sub-superfície do solo, ou pelo movimento do rio em seu leito - é a forma mais comum e mais importante de erosão.

A causa fundamental da denudação é a ação da chuva agindo inicialmente sobre as rochas, provocando o intemperismo, e mais tarde sobre o solo, removendo-

o pela erosão hídrica. O impacto direto das gotas e o escoamento superficial do excesso de água da chuva são os agentes ativos da erosão hídrica, onde o solo é o agente passivo.

A erosão, produto final dessa interação chuva/solo é, portanto, uma resultante do poder da chuva em causar erosão e da capacidade do solo em resistir à erosão. O poder da chuva em causar erosão é chamado *erosividade* e é função das características físicas da chuva.

As principais características físicas da chuva envolvidas nos processos erosivos são a quantidade ou *pluviosidade total*, a intensidade ou *intensidade pluviométrica* e a *distribuição sazonal*. Dentre as três características é especialmente importante se conhecer a intensidade pluviométrica, pois representa uma relação entre as outras duas características (quanto chove / quando chove), resultado que determina, em última análise, a quantidade de energia potencial disponível para transformar-se em energia cinética.

A maior importância da intensidade pluviométrica é facilmente verificada quando se observa que uma elevada pluviosidade anual, mas com distribuição ao longo de todo período, tem um poder erosivo muito menor do que uma precipitação anual mais reduzida que se despeja torrencialmente num período determinado do ano. Essa última situação é responsável pela intensa denudação das regiões semi-áridas, caracterizada pela abundância de afloramentos rochosos e pequena espessura de solos.

Como mostra a Tabela 3.6, as unidades de paisagem localizadas em regiões que apresentam menores índices pluviométricos anuais e maior duração para o período chuvoso receberão valores próximos à estabilidade (1,0), aos valores intermediários associam-se os valores de vulnerabilidade/estabilidade ao redor de 2,0, e às unidades de paisagem localizadas em regiões de maiores índices de pluviosidade anual e menor duração do período chuvoso atribuem-se valores próximos da vulnerabilidade (3,0).

TABELA 3.6 – Escala de erosividade da chuva e valores de vulnerabilidade à erosão. Fonte: Crepani et al. (2001)

INTENSIDADE PLUVIOMÉTRICA (mm/mês)	VULNERABILIDADE
<50	1,0
50 – 75	1,1
75 – 100	1,2
100 – 125	1,3
125 – 150	1,4
150 – 175	1,5
175 - 200	1,6
200 – 225	1,7
225 – 250	1,8
250 – 275	1,9
275 – 300	2,0
300 – 325	2,1
325 – 350	2,2
350 – 375	2,3
375 – 400	2,4
400 – 425	2,5
425 – 450	2,6
450 – 475	2,6
475 – 500	2,8
500 – 525	2,9
>525	3,0

3.6 Integração dos dados

Nessa etapa, são descritos os tratamentos realizados para que os mapas dos diferentes temas envolvidos, na análise ecodinâmica, pudessem conter os valores atribuídos de vulnerabilidade para gerar o Mapa de Vulnerabilidade à Erosão.

3.6.1 Mapa de Vulnerabilidade à erosão do Solo

Para que os Planos de Informação referentes a cada tema pudessem conter os valores de vulnerabilidade à perda de solo, realizou-se uma *operação pontual de ponderação*, que gerou uma grade com os valores de vulnerabilidade (Figura 3.3).

A operação pontual de ponderação foi executada através da linguagem de programação LEGAL – Linguagem Espaço-Geográfica baseada em Álgebra implementada no *software* SPRING 4.0.

A partir das grades geradas para cada tema, foi realizada uma *operação pontual de média aritmética*, a fim de gerar uma outra grade com um valor de vulnerabilidade à perda de solo relativo à média aritmética dos valores dos quatro PI

(Geomorfologia, Geologia, Solos, Cobertura Vegetal) através de programação em LEGAL, representando o valor final de vulnerabilidade à perda de solo das unidades de paisagem .

Em seguida foi executada uma *operação pontual de fatiamento* para a grade com os valores de vulnerabilidade final, gerando assim, o Mapa de Vulnerabilidade à Erosão do solo no Município de Rio Branco, com geocampos temáticos representando os valores de vulnerabilidade.

A partir das grades geradas para cada tema foi realizada uma operação pontual de média aritmética, a fim de gerar uma outra grade com um valor de vulnerabilidade à perda de solo relativo à média aritmética dos valores dos quatro PI (Geomorfologia, Geologia, Solos e Cobertura Vegetal) através de programa em LEGAL, que representa o valor final de vulnerabilidade à perda de solo das unidades de paisagem (Figura 3.3).

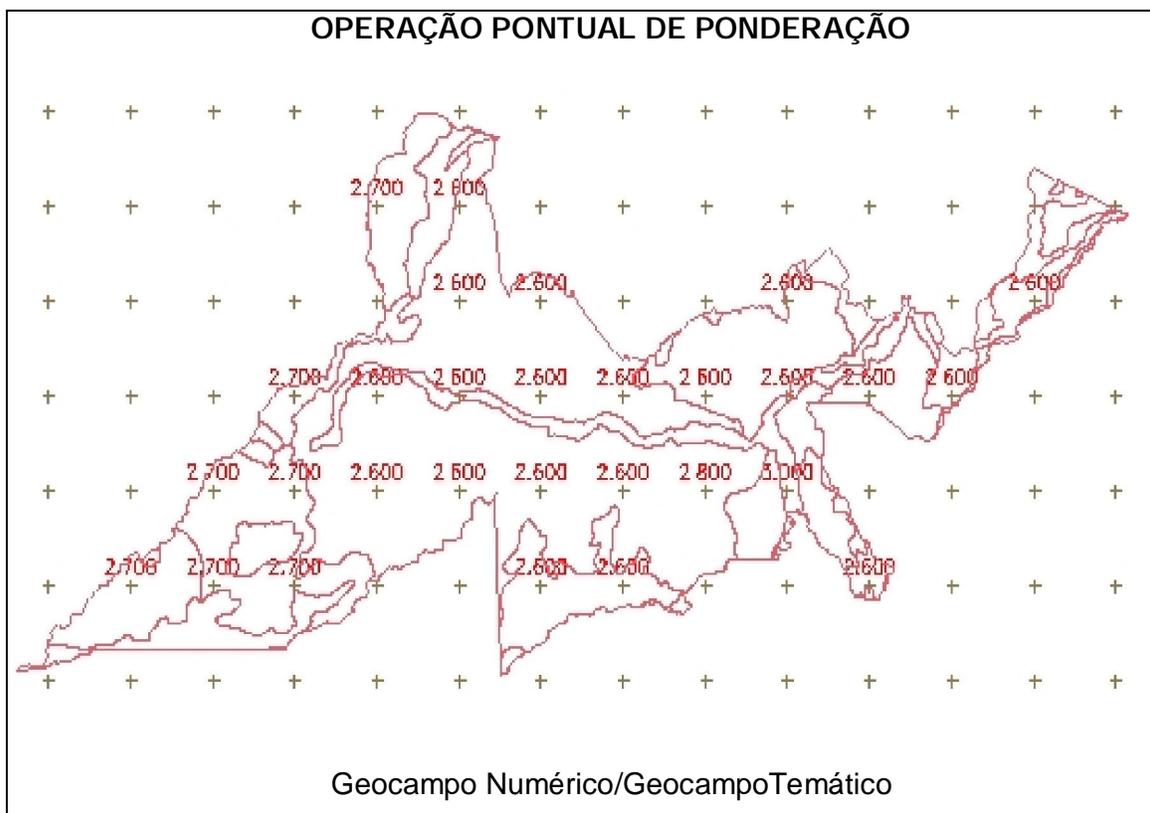


Figura 3.3 – Operação pontual de ponderação em um geocampo temático.
No exemplo: Plano de Informação de Geologia

A partir das grades geradas para cada tema, foi realizada uma operação pontual de média aritmética, a fim de gerar uma outra grade com um valor de vulnerabilidade à perda de solo relativo à média aritmética dos valores dos quatro PI (Geomorfologia, Geologia, Solos e Cobertura Vegetal) através de programa em LEGAL, que representa o valor final de vulnerabilidade à perda de solo das unidades de paisagem (Figura 3.4).

A Figura 3.4 ilustra as três fases de aplicação da Álgebra de Mapas para criar o Mapa de Vulnerabilidade à Erosão do solo do município de Rio Branco.

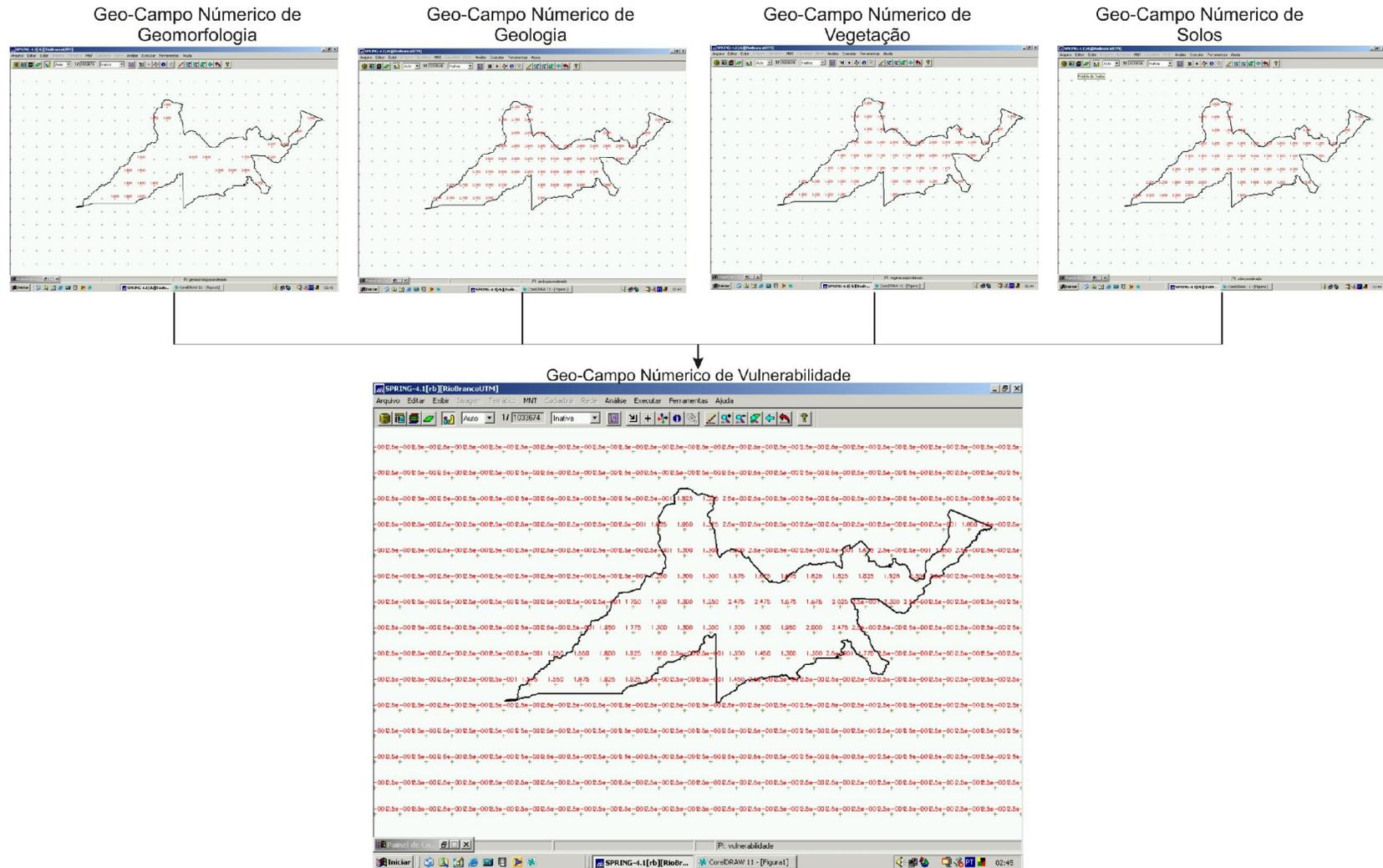


Figura 3.4 - Modelo Esquemático da Operação de Média Aritmética

CAPÍTULO 4

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

4.1 Aplicações de Técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento no Estado do Acre

A análise ambiental ou espacial utilizando técnicas de geoprocessamento (a interpretação de imagens obtidos por sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica) tem fornecido subsídios para o entendimento dos processos (físicos, bióticos e antrópicos) que ocorrem nas unidades de área estudadas no município de Rio Branco.

Galvão (2002) estudou a ocupação acelerada do Acre, sobretudo nas últimas três décadas, que provocou profundas modificações na organização do espaço regional e nos padrões de uso da terra, contribuindo para desencadear inúmeros impactos sociais e ambientais, provocados pela expansão da fronteira agropecuária. Com uma visão abrangente, Galvão tratou da ocupação desordenada do Vale do Acre e de suas principais implicações na caracterização ambiental, como os problemas conservacionistas. O trabalho apresenta as mudanças decorrentes do uso do solo e da retirada da cobertura vegetal, assim como os efeitos sobre os aspectos físicos do ambiente.

Nascimento (1995) estudou os aspectos geomórficos naturais e a questão ambiental da bacia de drenagem do rio Acre, caracterizando o meio ambiente natural da bacia, abrangendo uma área de 40.724 km². Enfatizou os aspectos geológicos, geomorfológicos, climatológicos, hidrográficos e fitoecológicos da bacia, finalizando com uma análise das ações antrópicas desenvolvidas no substrato dos ambientes definidos, procurando mostrar que, dependendo da forma de atividade, poderá acarretar alterações substanciais nos ambientes naturais da área de abrangência da bacia.

Mesquita (1995) analisou os dados médios de precipitação pluviométrica do estado do Acre, num período de doze anos de observação das quatro estações de rede climatológica, e de onze anos da rede hidrometeorológica do DNAEE, com o objetivo de identificar o seu potencial pluviométrico. O tema ainda é pouco considerado, apesar de a precipitação pluviométrica constituir um dos elementos mais importantes do patrimônio dos recursos naturais. Um bom conhecimento do regime pluviométrico em geral, quanto a sua variação no tempo e sua distribuição no espaço, proporciona as bases para o planejamento e aproveitamento das ótimas condições climáticas.

Mota et al. (1996) mostram a integração de dados ambientais através dos operadores disponíveis na Linguagem de Álgebra de Mapa (Barbosa, 1997) – LEGAL (implementada no SPRING 4.0), para geração do mapa de Vulnerabilidade Ambiental do município de Assis Brasil – Acre, segundo a metodologia desenvolvida no INPE para ZEE dos Estados da Amazônia Legal (Crepani et al., 1996). Apresenta os mapas de Unidades de Paisagem ou Unidades Territoriais Básicas (UTB), obtidas através da interpretação de imagens (geoprocessamento). O trabalho apresenta os mapas de Geologia, Geomorfologia, Solos e Uso – Vegetação, que foram gerados e integrados com o mapa de UTB para gerar a carta de vulnerabilidade.

Menção especial deve ser conferida ao Levantamento dos Recursos Naturais, desenvolvido pelo RADAMBRASIL (1976, Folha Acre), que aprimorou e sistematizou os conhecimentos dos recursos naturais na região geográfica objeto do estudo. Nesse trabalho, estão contidos mapas na escala ao milionésimo com relatórios circunstanciados sobre os diversos temas abordados.

4.2 Sensoriamento Remoto na Amazônia

O Sensoriamento Remoto tornou-se uma importante ferramenta no levantamento e estudo dos recursos naturais, em diversas escalas, permitindo a obtenção de informações de lugares de difícil acesso, como é o caso da Amazônia. Os sistemas orbitais e aerotransportados proporcionam uma maior flexibilidade de

obtenção de dados multiespectrais e multitemporais sobre os alvos da superfície terrestre a um custo relativamente acessível.

O sucesso de trabalhos pioneiros desenvolvidos na Amazônia, como é o caso de Pinto et al. (1979), Tardin et al. (1979), Santos et al. (1980), Shimabukuro et al. (1982) e Santos et al. (1983), que utilizaram dados do sensor MSS/Landsat ("*Sensor Multispectral Scanner*" do satélite Landsat), proporcionou um incentivo maior ao uso dessa ferramenta no estudo relacionado à cobertura vegetal e uso da terra.

Tardin & Cunha (1989) realizaram uma avaliação dos efeitos das alterações antrópicas nas áreas de floresta utilizando a análise visual da composição colorida R (Banda 5), G (Banda 4) e B (Banda 3) na escala de 1: 250.000, em papel fotográfico. Com os resultados obtidos, os autores constataram a eficiência da utilização das imagens TM/Landsat na detecção e avaliação de áreas de desflorestamento, por apresentarem erro de medição relativamente pequeno, em função das alterações antrópicas na Amazônia ocuparem grandes extensões.

Stone et al. (1991) usaram dados coletados em imagens de 1986 e 1988 dos sensores TM/Landsat e NOAA/AVHRR, respectivamente, para avaliar o uso da terra e estimar as proporções de desflorestamento em regiões do estado de Rondônia.

Barroso et al. (1993) usaram técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento para mostrar a importância dessas técnicas na detecção de mudanças no uso da terra por transformações antrópicas ocorridas na cobertura vegetal, em áreas de projeto de assentamento humano. Com isso constataram que os projetos de colonização na Amazônia contribuem em escala regional, ao lado da criação de gado e da exploração madeireira, para a destruição da floresta Amazônica.

Para Brondizio et al. (1993a) a utilização do sensor TM/Landsat, no mapeamento detalhado do uso da terra na Amazônia, demonstra que resultados concretos podem ser alcançados, pois as características oferecidas pelo sensor apresentam grande aplicabilidade nessas situações.

Moran et al. (1993) estudaram o potencial do uso de um conjunto de dados extraídos das imagens TM/Landsat com as informações obtidas no campo. Dessa maneira obtiveram resultados para a modelagem das assinaturas espectrais, levantamento fisionômico da vegetação e do uso da terra.

Para Moran et al. (1994) e Alves & Skole (1996) a análise multitemporal e o armazenamento periódico dos dados de sensoriamento remoto na Amazônia permitem o melhor entendimento dos diferentes padrões de sucessão secundária, além das mudanças da cobertura e uso da terra.

4.3 Processamento digital de imagens orbitais

O Processamento Digital de Imagens envolve todas as técnicas que podem ser aplicadas através de processamentos computacionais. Essas técnicas são usadas na manipulação de imagens para identificação e extração de informações úteis à análise e interpretação do homem. De acordo com Novo (1992), as técnicas de processamento digital de imagens são organizadas em três conjuntos: técnicas de pré-processamento, técnicas de realce e técnicas de classificação.

4.3.1 Técnicas de pré-processamento

A aplicação dessas técnicas, em dados obtidos por sensores espectrais, é feita através do tratamento computacional de modo a retificar e restaurar as distorções ou degradações existentes na aquisição das imagens orbitais. Incluem-se como técnicas de pré-processamento as correções geométricas, radiométricas e atmosféricas (Lillesand & Kiefer, 1994). Nesse trabalho foram utilizadas apenas as técnicas de correções geométricas.

4.3.1.1 Correções geométricas

As imagens orbitais geradas pelos sensores remotos estão sujeitas a uma série de distorções espaciais, por isso apresentam imprecisões cartográficas quanto ao

posicionamento de elementos, superfícies ou fenômenos presentes nas imagens. Autores como Richards (1986), Mather (1987) e Crosta (1992), atribuem essas distorções espaciais à rotação e curvatura da Terra, às variações de altitude e velocidade das plataformas dos sensores, erros de instrumentação e distorções panorâmicas.

Segundo Crosta (1992), correção geométrica é a transformação da imagem de modo que adote as propriedades de escala e de projeção de um mapa. Essa transformação pode ser feita de duas formas:

- A primeira delas é conhecida como *modelo de geometria orbital*, feita através do conhecimento exato dos parâmetros geométricos da órbita do satélite e de outras variáveis. A maioria das imagens oferecidas aos usuários traz correções baseadas no modelo de geometria orbital, entretanto tais correções são pouco precisas, sendo necessário refiná-las.

- A segunda forma é conhecida como *transformação baseada em pontos de controle*. Nesse caso, os pontos de controle têm que ser reconhecidos, tanto na imagem como nos mapas ou no terreno. Esse método é freqüentemente usado por ser mais preciso do que o método anterior.

Para que duas ou mais imagens estejam perfeitamente coincidentes no espaço a fim de analisá-las, ou para juntar duas ou mais órbitas seqüenciais de modo que se obtenha um mosaico de imagens, é necessário registrá-las. O registro é a transformação espacial que se refere ao processo de ajuste do sistema de coordenadas de uma imagem em relação ao de outra imagem, ou de outro sistema equivalente cobrindo a mesma área (Crosta, 1992; D'Alge, 2001).

4.3.2 Técnicas de realce de imagens

A aplicação das técnicas de realce de imagens tem como objetivo melhorar a visualização de elementos ou feições de uma cena. Essa técnica transforma os níveis de cinza das imagens por meio de operações pontuais e locais (Richards, 1986; Lillesand & Kiefer, 1994; Fonseca, 2000).

Mather (1987) aponta três técnicas que são utilizadas para o realce de imagens: manipulação de contraste, manipulação de características espaciais e transformação de imagem. Nesse trabalho foram utilizadas as técnicas de manipulação de contraste e transformação de imagem (conversão de números digitais para valores de reflectância e modelo linear de mistura espectral).

4.3.2.1 Técnicas de manipulação de contraste

As técnicas de manipulação de contraste permitem ampliar o intervalo original (valores de níveis de cinza de uma imagem digital) para toda a escala de cinza disponível. No caso das imagens do sensor TM/Landsat ou ETM+/Landsat é possível discriminar valores num intervalo máximo entre 0 e 255 níveis de cinza.

De acordo com Fonseca (2000), o contraste de uma imagem pode ser manipulado modificando seu histograma, de modo que os níveis de cinza se espalhem ao longo do intervalo máximo permitido por cada imagem.

4.3.2.2 Transformação dos números digitais para valores de reflectância aparente

Para minimizar os efeitos decorrentes de diferentes sensores, ou do desgaste dos detectores ao longo do tempo, recomenda-se a transformação radiométrica dos níveis digitais de uma imagem nas seguintes situações:

- mosaico de duas ou mais cenas;
- mudança na calibração de um sensor orbital;
- utilização de cenas de diferentes sensores.

Autores como Epiphanyo & Formaggio (1988) ressaltam a importância da utilização dos valores de reflectância no estudo do comportamento espectral dos alvos. A transformação dos valores de níveis digitais para reflectância permite maior confiabilidade na extração de informações sobre a vegetação.

4.3.2.3 Modelo linear de mistura espectral

O modelo linear de mistura espectral tem como função resolver os problemas de mistura de pixel das imagens de sensores remotos. Para isso é feita a estimativa, para cada pixel, da proporção de componentes como solo, vegetação e sombra, a partir das respostas espectrais captadas pelos sensores, gerando *imagens-fração* ou *imagens-proporção* de cada componente estimado (Shimabukuro & Smith, 1991).

A baixa resolução espacial dos sensores permite que um pixel contenha mais do que um tipo de cobertura de terreno, pois a radiância detectada pelo sensor é a soma das radiâncias de todos os alvos presentes em cada elemento de resolução no terreno. Cada pixel da imagem possui um valor de nível de cinza que corresponde à resposta espectral de cada elemento de resolução no terreno.

Dentre os vários métodos para a estimativa das proporções de cada componente, os principais são: *Mínimo Quadrado Restrito* e *Mínimo Quadrado Ponderado*. Ambos os métodos procuram estimar cada proporção minimizando a soma do quadrado dos erros. A diferença entre eles é que o método do mínimo quadrado restrito não aceita o modelo quando ocorrem valores de proporções negativas e maiores que 1. O método de Mínimo Quadrado Ponderado contorna essa restrição através da associação de uma matriz diagonal de pesos ao modelo (Shimabukuro & Smith, 1991).

Depois que essas proporções são obtidas, tendo como produto as *imagens-fração*, é possível calcular o erro de estimação de cada imagem através das *imagens-erro*, geradas para auxiliar a análise da equação do modelo de mistura de uma determinada cena, mostrando a distribuição espacial dos erros.

4.3.3 Técnicas de classificação

A classificação de imagens consiste no processo de extração e identificação dos diferentes objetos, fenômenos ou feições com padrões espectrais homogêneos

e associados a uma determinada classe (Crosta, 1992; Fonseca, 2000; Moreira, 2001).

A classificação pode ser feita de modo automático, através de processamentos computacionais, de forma que o computador seja capaz de rotular os valores dos níveis de cinza utilizando algoritmos estatísticos de reconhecimento de padrões espectrais (Moreira, 2001).

Na literatura sobre processamento de imagem, são abordados dois tipos de classificação automática: *a classificação supervisionada*, na qual o usuário tem conhecimento prévio das feições, adquirindo amostras representativas para cada uma das classes que deseja identificar na imagem; e *a classificação não-supervisionada*, na qual o usuário não tem nenhum tipo de conhecimento prévio sobre as classes a serem geradas.

Outra forma de classificação é a não automática, chamada de *fotointerpretação*, feita por um especialista que extrai visualmente as diversas feições e objetos presentes na imagem (Fonseca, 2000).

Considerando que a área estudada apresenta padrão diversificado de uso e ocupação, optou-se neste trabalho por aplicar classificação digital sob abordagem híbrida, sendo utilizada classificação não-supervisionada associada à fotointerpretação.

4.3.3.1 Classificação não-supervisionada

A classificação não-supervisionada baseia-se na idéia de que o computador é capaz de agrupar por conta própria as classes em uma imagem, sem que haja dados prévios sobre a área observada (Richards, 1986; Crosta, 1992; Fonseca, 2000; Moreira, 2001).

Essa técnica utiliza a análise de agrupamento de modo que “pixels” semelhantes da imagem são identificados e agrupados em nuvens ou “*clusters*”, de

acordo com limiares de aceitação estabelecidos, ou seja, primeiramente um número de classes, ou nuvens de “pixels”, deve ser definido e posteriormente é atribuído, pelo analista, um limiar para estabelecer se uma determinada nuvem deve ser tratada como um grupo distinto ou adicionadas a outro grupo (Richards, 1986, Crosta, 1992).

4.4 Sistema de Informação Geográfica (SIG)

O acelerado progresso tecnológico da informática e a necessidade de armazenar e manipular informações e fenômenos do mundo real (análise dos recursos naturais, planejamento regional e urbano, etc.) tornou possível o desenvolvimento de uma ferramenta capaz de permitir a realização de análises complexas de dados geográficos.

Desse modo surgiram as ferramentas computacionais para o Geoprocessamento, chamadas de Sistema de Informação Geográfica (SIG) permitindo a integração e análise de dados de diversas fontes, bem como a automatização da produção de documentos cartográficos, através da criação de um banco de dados georreferenciado (INPE, 2000).

O termo Sistema de Informação Geográfica (SIG) é aplicado para sistemas que realizam o tratamento computacional de dados geográficos. Um SIG armazena a geometria e os atributos dos dados que estão georreferenciados, isto é, localizados na superfície terrestre segundo uma projeção cartográfica. Os dados tratados em geoprocessamento têm como principal características a diversidade de fontes geradoras e de formatos apresentados (Câmara e Medeiros, 1996).

Um Sistema de Informação Geográfica pode ser definido como um conjunto de ferramentas para manipular dados georreferenciados capaz de armazenar, recuperar, transformar e analisar os dados coletados do mundo real (Burrough, 1987; Câmara et al., 1996).

4.4.1 Arquitetura dos SIG

De acordo com Câmara (1995), a arquitetura de um SIG está dividida em componentes que se relacionam de forma hierárquica, tais como: *interface com usuário, entrada e integração de dados, funções de consulta e análise espacial, visualização e plotagem, armazenamento e recuperação de dados* (Figura 4.1).

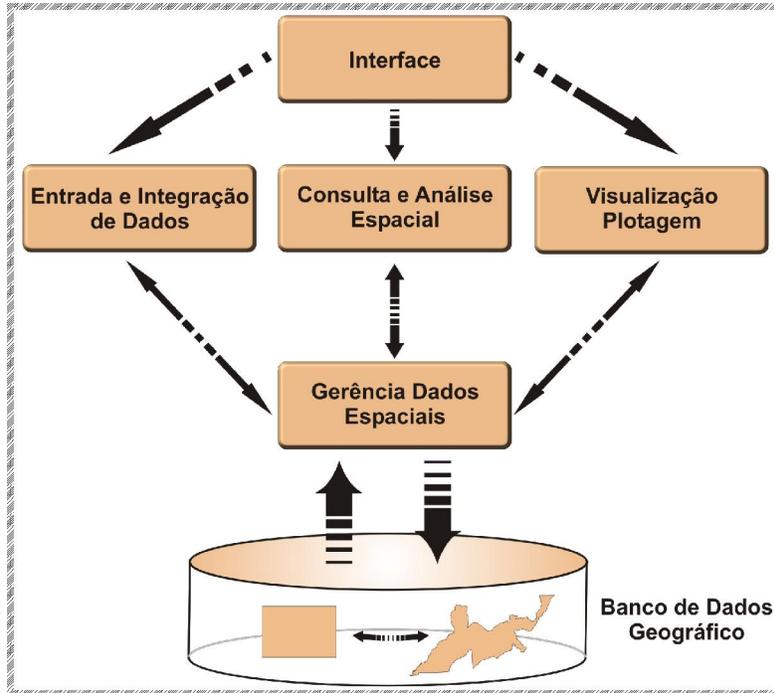


Figura 4.1 – Estrutura geral de Sistemas de Informação Geográfica.
Fonte: INPE, 2000.

A interação usuário/SIG se dá através de uma interface gráfica, na qual o usuário determina as operações a serem executadas pelo sistema.

A fase de entrada e integração dos dados é feita através da conversão de dados externos para o formato em que o sistema opera. Esses dados externos são encontrados em forma de imagens de satélite, fotografias aéreas, mapas no formato digital ou em papel, tabelas de atributos e dados provenientes de levantamento de campo. Câmara (1995) relata que existem dois tipos de representação digital na qual os dados externos são convertidos para que o sistema possa trabalhar com os dados de entrada: formato vetorial e formato raster (imagem).

O formato vetorial geralmente é o resultado da digitalização das coordenadas (x.y.z) de objetos ou feições do mundo real, representados no sistema sob a forma de pontos, linhas e polígonos. A posição espacial de cada elemento representado é organizada em um sistema de coordenadas de referência.

O formato raster representa os objetos ou feições em uma malha quadriculada ou uma matriz regular composta de “n” linhas e “n” colunas, construindo célula a célula o elemento a ser representado. O valor atribuído a cada célula denota o tipo de elemento ou a condição que está sendo representada no local. As imagens digitais são representadas nesse formato, entretanto é possível identificar elementos cartográficos, extraídos do mundo real por uma seqüência de células (ex: estradas), ou por um conjunto de células (ex: lago, represa).

Para que as operações de consulta e análise espacial sejam realizadas é necessário que haja uma organização previa e um gerenciamento das informações geográficas dentro do sistema, que necessita de um componente denominado de Sistema de Gerência de Banco de Dados (SGBD). O SGBD é o responsável pelo armazenamento e recuperação dos dados espaciais e seus atributos.

O módulo de saída ou de visualização da informação espacial de um SIG é concebido para que o usuário possa visualizar e listar as informações armazenadas na base de dados. Esse processo é feito normalmente através de mapas, gráficos, tabelas, histogramas ou pela unidade de visualização do computador (monitor) (Burrough, 1987).

4.4.2 Características dos dados do SPRING 4.0

Para que as informações do mundo real possam ser representadas em um Sistema de Informação Geográfica o espaço geográfico é modelado segundo duas visões complementares: *o modelo de campo* ou *Geocampo*¹ e *o modelo de objetos* ou *Geo-objeto*¹.

O *Geocampo* representa a distribuição espacial de uma variável que possui valores em todos os pontos pertencentes a uma região geográfica (p. ex. modelos temáticos, numéricos e imagens). O *Geo-objeto* é um elemento único que possui atributos não espaciais e está associado a múltiplas localizações geográficas, sua localização pretende ser exata e o objeto é distinguível de seu entorno (p. ex. os mapas de cadastro rural).

Segundo INPE (2000) esses dois modelos se dividem de acordo com suas representações, topologia e formato dos dados, dentre os quais são citados:

- *Mapas temáticos*: são dados que descrevem a distribuição espacial de uma grandeza geográfica expressa de forma qualitativa, como, por exemplo, os mapas de pedologia, e aptidão agrícola de uma região. Mapas temáticos medem, no espaço de atributos, valores nominais que representam as classes de determinado tema e valores ordinais, quando essas classes representam intervalos (escala) de valores. Esses dados são do tipo *geocampo* e admitem tanto a representação matricial quanto a vetorial. Ex: tipos de solo, classificação de vegetação, etc.

- *Mapas Cadastrais*: são dados que permitem a representação de elementos gráficos (geo-objeto) por pontos, linhas ou polígonos, sendo que cada um dos seus elementos possui um atributo descritivo e pode estar associado a várias representações gráficas. Ex: divisão política.

- *Redes*: são dados em que cada objeto geográfico possui uma localização geográfica exata e está sempre associado a atributos descritos e presentes no banco de dados. Como exemplos temos cabos telefônicos, tubulação, etc. Computacionalmente as redes são consideradas atributos armazenados no banco de dados. Ex: esgoto, água, drenagem, rede elétrica, telefonia, etc.

- *Modelo numérico de terreno (MNT)*: é definido como um modelo matemático que reproduz uma superfície real a partir de algoritmos e de um conjunto de pontos (x, y) em um referencial qualquer, com atributos definido de z, que descrevem a variação contínua da superfície. É utilizado para denotar a representação de uma grandeza que varia continuamente no espaço. Esse modelo é comumente associado a altimetria, podendo ser

utilizado para modelar características geológicas, como teor de minerais, ou propriedades do solo ou subsolo. Ex: altimetria, pH do solo, magnetometria, temperatura de superfície, etc.

- *Imagens*: representam formas de captura indireta de informação espacial. Consideradas geocampo, são armazenadas como matriz e cada elemento de imagem (pixel) tem um valor proporcional à energia eletromagnética refletida ou emitida pela área da superfície terrestre correspondente. Ex: as imagens TM/LANDSAT, SPOT, NOAA, MODIS, CBERS, etc.

4.4.3 Mapa de Distância (“buffer”)

Um mapa de distância é um tipo de análise de proximidade (medida de distância entre objetos, comumente medida em unidade de comprimento) que apresenta zonas com larguras especificadas (distâncias) em torno de um ou mais elementos do mapa.

O INPE (2000) define um mapa de distância ou “*buffer*” como sendo uma área de extensão regular, que é desenhada ao redor de um ou mais elementos espacialmente definidos (pontos, linhas ou polígonos).

4.4.4 Álgebra de mapas

Segundo Berry (1987), o conceito de álgebra de mapas ou álgebra de campo pode ser considerado uma extensão da álgebra tradicional, de modo que as variáveis manipuladas sejam consideradas campos geográficos. As operações realizadas através da álgebra de mapas possibilitam manipular um, dois ou mais geocampos, sendo que cada geocampo tem um atributo diferente ou um mesmo atributo com datas diferentes de aquisição (Câmara, 1995; Barbosa, 1997).

As operações sobre geocampos podem ser classificadas como *operações pontuais, zonais e de vizinhança*. A Figura 4.2 mostra a representação dessas

operações, cuja classificação depende da forma como os valores dos atributos nos geocampos *de* origem são obtidos para o processamento.

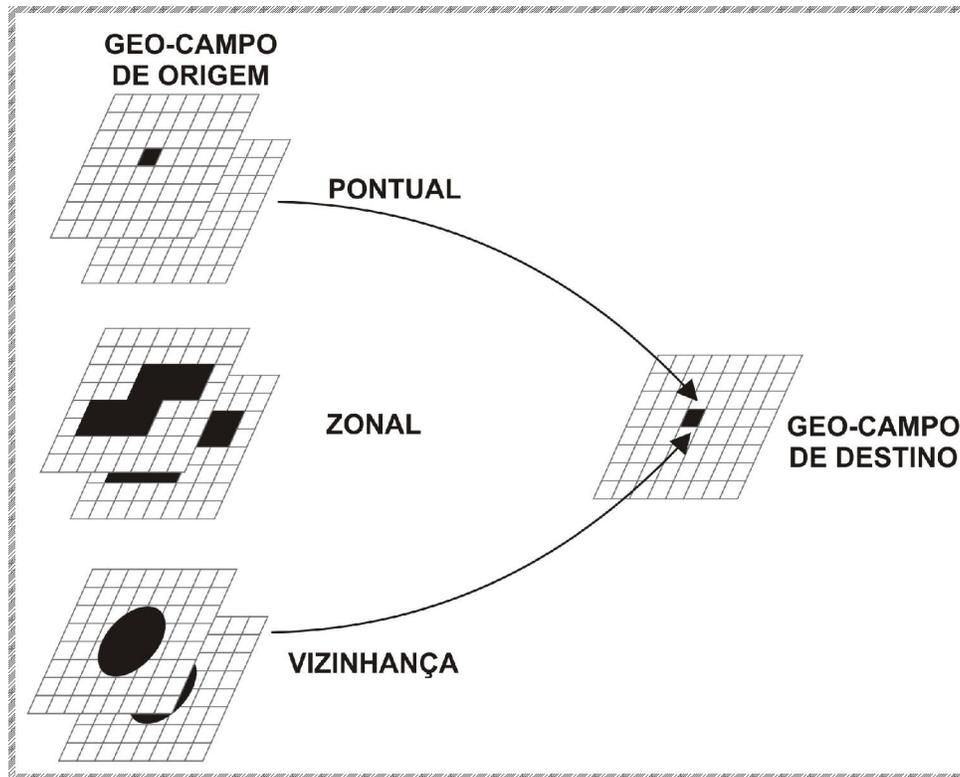


Figura 4.2 – Classes de operações geográficas.
Fonte: Barbosa (1997).

4.4.4.1 Operações pontuais

Neste trabalho foram utilizadas operações pontuais. São operações cujos valores resultantes de cada posição geográfica do geocampo destino, depende somente dos valores na mesma posição geográfica dos geocampos de origem. A Tabela 4.1 mostra as operações pontuais de transformação e as operações pontuais sobre geocampos utilizadas neste trabalho.

Essas operações podem ser executadas através da programação em LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico) utilizando-se o *software* SPRING 4.0 (Sistema para Processamento de Informações Geo-referenciadas) (Câmara, 1995).

TABELA 4.1 – Descrição das operações pontuais de transformação e das operações pontuais sobre geocampos (Adaptada de Barbosa, 1997; Burrough, 1987; Berry, 1987; Tomlin, 1990; Câmara, 1995).

OPERAÇÕES PONTUAIS	DESCRIÇÃO DO RESULTADO DAS OPERAÇÕES
PONDERAÇÃO	Transforma geocampo temático em geocampo numérico. Esse operador pode ser usado a fim de integrar dados temáticos para posterior manipulação.
MÉDIA	Gera um geocampo destino em que os valores resultantes de cada posição geográfica é a média aritmética dos valores dos atributos na posição geográfica correspondente aos geocampos origem. Esta operação é aplicada somente sobre geocampos numéricos.
FATIAMENTO	Divide a faixa de valores de um geocampo origem em certo número de intervalos de valores e gera um geocampo destino. O operador de fatiamento tem como parâmetro de entrada um geocampo numérico. O geocampo resultante pode ser numérico ou temático. É geralmente utilizado pra transformar um geocampo numérico em um geocampo temático.

4.5 Software *SPRING*

É um Sistema de Informação Geográfica desenvolvido para uso em ambiente cliente-servidor. Este tipo de sistema é acoplado a gerenciadores de banco de dados relacionais (Câmara & Freitas, 1995).

O *SPRING* 4.0 é baseado num modelo de dados orientado ao objeto combinando idéias de “campos” e “objetos geográficos”, das quais são derivadas sua interface de menus e a linguagem espacial de programação *LEGAL*. Foi desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, em ambientes computacionais UNIX e Windows (Câmara & Medeiros, 1996; INPE, 2000).

O *SPRING* 4.0 utiliza ainda como procedimento, para ampliar as manipulações de dados espaciais e modelagem de dados, as operações executadas através da Linguagem Especial para Geoprocessamento Algébrico conhecida como *LEGAL*.

O modelo de dados *SPRING* 4.0 é baseado na especificação de categorias ou classes de dados que são inseridos no sistema (Figura 4.3). Os dados armazenados no *SPRING* 4.0 devem pertencer a uma das seguintes categorias: *Imagem*,

Numérico ou Temático ou ainda *Não-espacial* se forem tabelas alfanuméricas. Essas categorias podem ser definidas como:

- Categoria do modelo *Imagem*;
- Categoria do modelo *Numérico*;
- Categoria do modelo *Temático*;
- Categoria de dados do modelo *Objeto*;
- Categoria do modelo *Cadastral*;
- Categoria do modelo *Rede*; e
- Categoria do modelo *Não-Espacial*.

Os dados estruturados nas diferentes categorias são guardados em Planos de Informação (PI), que têm por função armazenar um conjunto de dados com as mesmas características básicas.

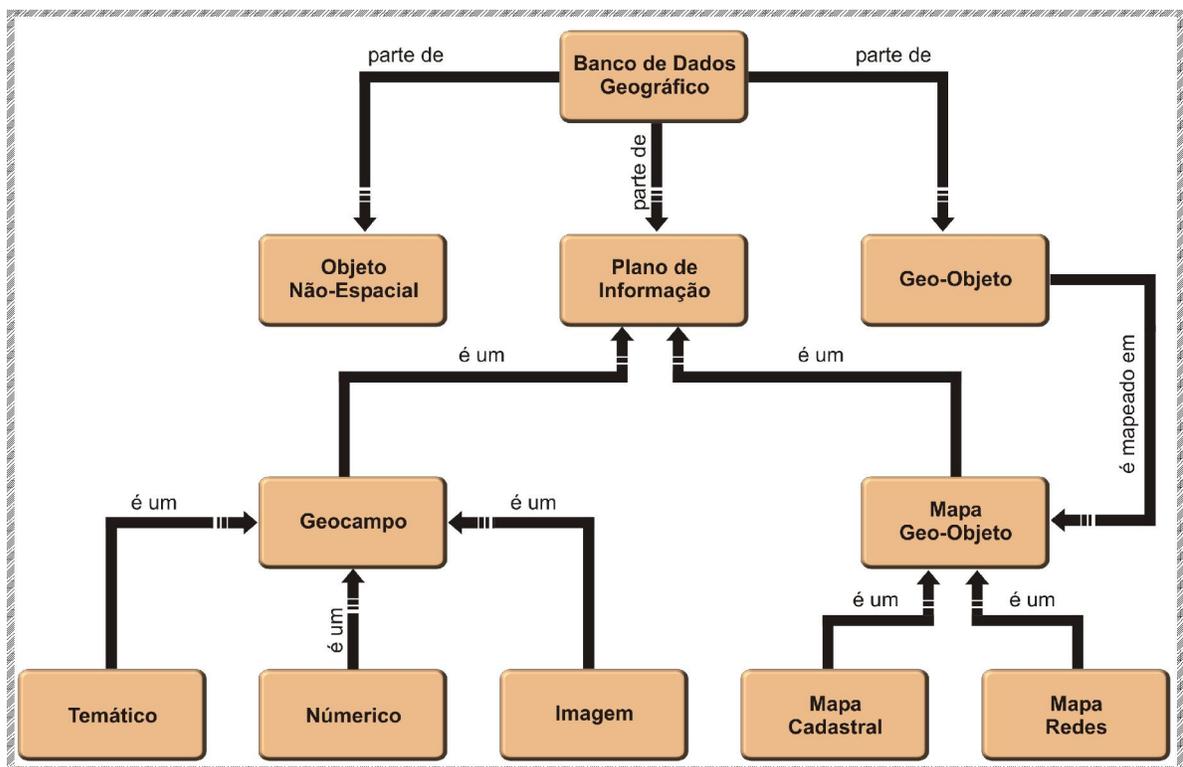


Figura 4.3 – Modelo conceitual do SPRING. Fonte: Câmara (1995).

O SPRING foi desenvolvido tendo como objetivos principais (Câmara e Medeiros, 1996; INPE, 2000):

- Integrar as tecnologias de Geoprocessamento com as técnicas Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informação Geográfica;
- Integrar imagens de Sensoriamento Remoto e Modelos Numéricos de modelagem de dados no terreno com mapas temáticos, mapas cadastrais e redes;
- Definir um mapeamento entre objetos geográficos e suas localizações, permitindo que mais de uma representação gráfica possa estar associada à mesma entidade do mundo real ou ainda para que vários objetos geográficos possuam uma única representação gráfica;
- Permitir a coexistência de representações vetorial, matricial e grades num mesmo sistema.

4.5.1 LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico)

A LEGAL é uma linguagem de programação e comandos interpretados para uso em análise geográfica. A linguagem LEGAL proposta por Câmara (1995) tem como objetivo prover um ambiente geral para análise geográfica, incluindo operações de manipulação (álgebra de campos), consulta espacial e apresentação de resultados de consulta e manipulação em um único *software*.

Um programa em LEGAL consiste em uma seqüência de operações descritas por sentenças organizadas segundo regras gramaticais, envolvendo operadores, funções e dados espaciais, categorizados segundo o modelo de dados SPRING, e representados em planos de informação e mapas cadastrais de um mesmo banco de dados / projeto SPRING.

Um programa em LEGAL é constituído de uma lista de sentenças que descreve um procedimento, isto é, um conjunto de ações sobre dados espaciais, que faça sentido no contexto de alguma disciplina que se apóia em Sistemas de Informação Geográfica. Tais sentenças em LEGAL são estruturadas em quatro grupos:

- Declarações de variáveis;
- Instanciações de variáveis;
- Operações de álgebra de mapas; e
- Comandos de controle.

As *Declarações* definem variáveis que serão associadas aos dados fornecidos ou produzidos num programa. Uma variável consiste de um nome, que é então associado a um modelo e uma categoria que irão caracterizar os planos de informação, mapas cadastrais, objetos ou tabelas de transformação que possam ser por ela representados ao longo de um programa.

Nas *Instanciações*, as variáveis são efetivamente associadas a planos de informação, objetos, mapas cadastrais ou tabelas de transformação. Correspondem a uma operação de recuperação de dados já existentes no banco de dados, ou de criação de um novo dado representado em algum plano de informação ou mapa cadastral.

Operações correspondem à aplicação de um ou mais operadores ou funções sobre variáveis declaradas e instanciadas previamente; são descritas por expressões algébricas, segundo regras gramaticais que permitem a definição recursiva de operações complexas a partir de outras mais simples, com base nas propriedades dos dados e operadores envolvidos. Cada sentença que define uma operação descreve uma operação de atribuição, que consiste em atribuir o resultado da avaliação de uma expressão algébrica a uma variável previamente definida de um programa.

Os *Comandos de controle* permitem o controle do fluxo de processamento de um programa. Não são algébricos por si só, entretanto são fundamentais para a modelagem de situações que envolvam a execução alternativa, condicional ou repetitiva de um conjunto de operações.

4.6 Vulnerabilidade à erosão do solo no Município de Rio Branco

A vulnerabilidade à erosão do solo das unidades de área está ligada ao desequilíbrio da dinâmica natural do meio ambiente. Cada componente da paisagem, como Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação, Clima e a intervenção antrópica, participa desta dinâmica de forma integrada.

As unidades de paisagem apresentam diferentes graus de absorção aos estímulos exteriores, assim como seus componentes apresentam escalas diferentes para o reajustamento frente às modificações provocadas externamente até que se restaure o equilíbrio perdido, podendo oscilar da escala medida em anos até milhares de anos.

As atividades desenvolvidas pelo homem introduzem novas forças que podem alterar, em escala variável, as condições de equilíbrio do sistema representado pelas unidades de paisagem. A agricultura, a pecuária, a silvicultura, a mineração e as obras de engenharia civil são exemplos de atividades que, em maior ou menor escala, introduzem estímulos externos ao sistema.

A metodologia de mapeamento da vulnerabilidade de paisagens à perda de solo foi desenvolvida por Crepani et al. (1996) a partir do conceito de Ecodinâmica (Tricart, 1977) e da potencialidade para estudos integrados das imagens de satélite, que permitem visão sinótica, repetitiva e holística da paisagem, com o objetivo de subsidiar o Zoneamento Ecológico-Econômico.

A delimitação das unidades de áreas sobre uma imagem de satélite permite o acesso às relações de causa e efeito entre os elementos que a compõem, oferecidos pelas diferentes resoluções (espacial, espectral, temporal e radiométrica) da imagem. Do contrário, a simples justaposição de informações em SIG gerada a partir de dados de diferentes escalas, épocas, e metodologias de trabalho, nem sempre apresenta relações coerentes entre si.

A adoção das imagens de satélite como “âncora” para o Zoneamento Ecológico- Econômico traz consigo a possibilidade de se utilizar todo o potencial disponível no Sensoriamento Remoto e nos Sistemas de Informações Geográficas, além de desenvolver uma metodologia perfeitamente aplicável a novos produtos orbitais que estarão disponíveis no futuro.

Para Becker & Egler (1997), o mapa de vulnerabilidade à perda de solo representa a análise do meio físico e biótico para a ocupação racional e uso sustentável dos recursos naturais. A sua associação com dados de potencialidade social e econômica oferece subsídio à gestão territorial.

Para se analisar uma unidade de paisagem é necessário conhecer sua gênese, constituição física, forma e estágio de evolução, bem como o tipo da cobertura vegetal que sobre ela se desenvolve. Estas informações são fornecidas pela Geologia, Geomorfologia, Solos e Vegetação e precisam estar integradas para que se tenha um retrato fiel do comportamento de cada unidade frente à sua ocupação. Finalmente, é necessário o auxílio da Climatologia para que se conheçam algumas características climáticas da região onde se localiza a unidade de paisagem, a fim de que se anteveja o seu comportamento frente às alterações impostas pela ocupação.

O roteiro metodológico para a elaboração do mapa de vulnerabilidade à erosão do solos no município de Rio Branco – AC, cujas etapas estão descritas a seguir, está ilustrada na figura 4.4.

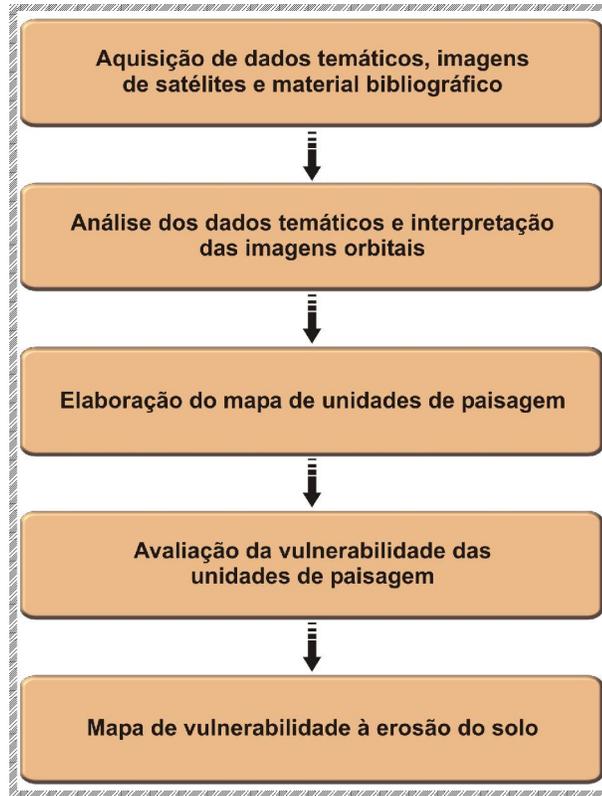


Figura 4.4 – Fluxograma metodológico para a elaboração do mapa de vulnerabilidade à erosão dos solos no município de Rio Branco – AC
Fonte: adaptado de Crepani et al. (2001).

4.6.1 Análise e reinterpretação de dados temáticos sobre as imagens orbitais

Os dados temáticos preexistentes (Geologia, Geomorfologia, Solos e Vegetação) disponíveis na literatura em escalas variadas foram reinterpretados usando-se como “âncora” as imagens do satélite LANDSAT 5. Esse método busca melhorar a exatidão e o detalhamento dos mapas a partir das informações disponíveis nas imagens, explorando ao máximo suas diferentes resoluções.

A reinterpretação dos dados temáticos sobre as imagens de satélite é importante para garantir que os novos Planos de Informação criados tenham uma justaposição perfeita entre si. Desse modo, evitando que sejam criados polígonos sem representação no mundo real, os processos que deram origem às diferentes unidades de paisagem podem ser mapeados e georreferenciados.

Sobre as imagens de satélite em formato digital, que podem ser TM/Landsat 5 na composição 5R4G3B (banda 5 no vermelho; banda 4 no verde e banda 3 no azul), diretamente na tela do monitor, desenvolveu-se o trabalho de análise e reinterpretação das informações temáticas preexistentes, num ambiente de SIG por meio de edição vetorial. Isso permitiu a construção dos diversos Planos de Informação (Geologia, Geomorfologia, Solos e Vegetação) que serão integrados para efeito da análise proposta.

O motivo de escolha dessa composição se prende ao fato de que nela os matizes de cores relacionados à vegetação apresentam-se mais “amigáveis” ao intérprete, uma vez que a cor verde atribuída à banda 4 evidencia a resposta refletida pela vegetação. Assim o fotointérprete faz uma associação direta dos matizes do verde com áreas providas de diferentes densidades de cobertura vegetal.

Os matizes do magenta, resultado da resposta refletida pelo solo arenoso em porcentagem maior nas bandas 3 e 5 (azul + vermelho = magenta), identificam áreas com exposição de solo, ou rocha, com reduzida cobertura vegetal. Os matizes do azul se relacionam à água e seu relativo conteúdo de sedimentos em suspensão. A Figura 4.5 ilustra o comportamento espectral dos principais alvos da superfície terrestre: vegetação, solo e água, e as bandas do TM-Landsat utilizadas na composição 5R (vermelho – *red*), 4G (verde – *green*) e 3B (azul – *blue*). O espaço de cores representado por estas três componentes é conhecida como IHS (Crosta, 1993).

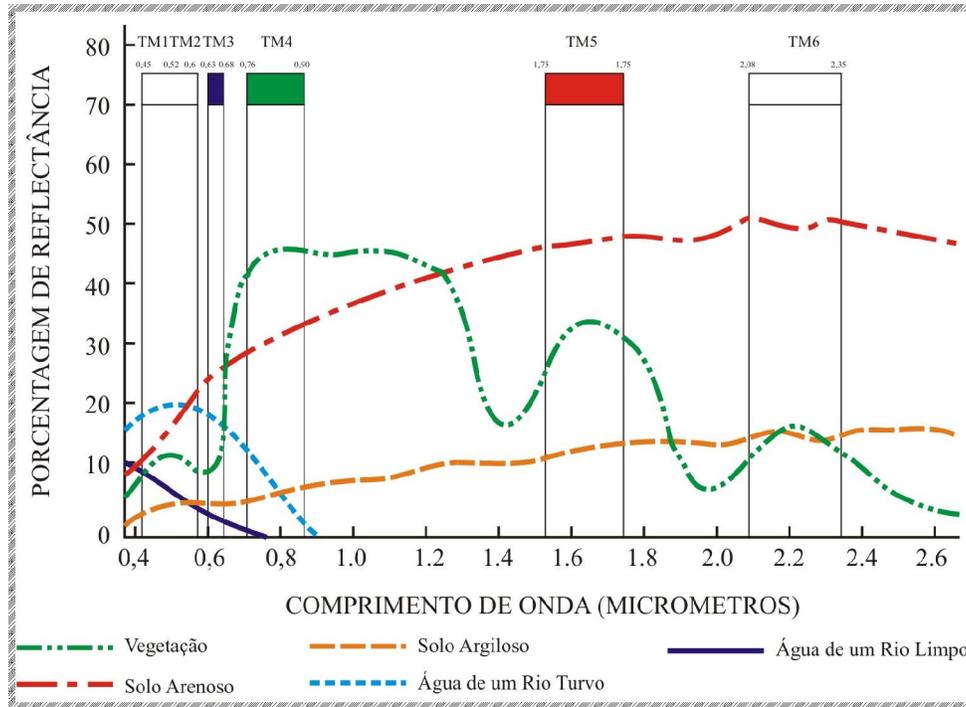


Figura 4.5 – Padrão de resposta espectral dos principais alvos da superfície terrestre. (Fonte: Modificado de Lillesand & Kiefer (1994)).

A reinterpretação dos dados temáticos preexistentes sobre as imagens de satélite foi feita a partir de critérios sistematizados de fotointerpretação (Soares & Fiori, 1976; Veneziani & Anjos, 1982), que levam em consideração seus elementos fundamentais:

- Elementos de textura de relevo e drenagem que se reúnem e se dispõem na superfície da imagem segundo regras geométricas definindo estruturas e formas;
- Matizes de cores relacionados aos padrões de resposta espectral da vegetação, solo e água.

A análise e interpretação das imagens, a partir desses elementos fundamentais, permite o reconhecimento de diferentes estruturas, e algumas propriedades físicas e químicas de materiais diversos relacionados à resistência das rochas à erosão, permeabilidade do conjunto solo/rocha, estimativas sobre o balanço entre intemperismo (eluviação, lixiviação) e erosão. Os elementos de textura de relevo permitem identificar as quebras de relevo, positivas e negativas, muito importantes por marcarem, quase sempre, os limites onde se dão as grandes

mudanças nas características que definem as diferentes unidades de paisagem pela mudança da litologia, da declividade, do tipo de solo e muitas vezes da cobertura vegetal.

4.6.2 Avaliação da vulnerabilidade à erosão do solo

A vulnerabilidade à erosão do solo da área de estudo é avaliada a partir da caracterização morfodinâmica dessas unidades, segundo critérios baseados na Ecodinâmica de Tricart (1977), que propõe três grandes tipos de meios morfodinâmicos, em função da intensidade dos processos atuais:

- **Meios Estáveis**, caracterizados pelo predomínio da pedogênese sobre a morfogênese. Prevalece a condição de clímax; a cobertura vegetal é suficiente para evitar o desenvolvimento de processos mecânicos e, por conseguinte, a dissecação é moderada. Portanto, prevalece a fitoestabilidade;
 - cobertura vegetal densa;
 - dissecação moderada; e
 - ausência de manifestações vulcânicas.
- **Meio Integrados ou de Transição**, que caracterizam uma passagem gradual entre os meios estáveis e instáveis. Aí se constata uma interferência permanente na relação pedogênese-morfogênese
 - equilíbrio entre as interferências morfogenéticas e pedogenéticas.
- **Meios Fortemente Instáveis**, onde a morfogênese é o elemento predominante da dinâmica. Resultam de causas naturais (variações climáticas e efeitos tectônicos) e, sobretudo, antrópicas (na escala de tempo histórica), o que implica uma dissecação elevada (pedogênese nula ou incipiente);
 - condições bioclimáticas agressivas, com ocorrências de variações fortes e irregulares de ventos e chuvas;
 - relevo com vigorosa dissecação;
 - presença de solos rasos;
 - inexistência de cobertura vegetal densa;
 - planícies e fundos de vales sujeitos a inundações; e
 - geodinâmica interna intensa.

Os critérios desenvolvidos por Crepani et al. (1996), a partir desses princípios, permitiram a criação de um modelo onde se buscou a avaliação, *de forma relativa e empírica*, do estágio de evolução morfodinâmica das unidades de paisagem, atribuindo valores de estabilidade às categorias morfodinâmicas, conforme pode ser visto na Tabela 4.2. Nesta análise quando predomina a morfogênese prevalecem os processos erosivos, modificadores das formas de relevo, e quando predomina a pedogênese prevalecem os processos formadores de solos. Ao propor uma classificação ecodinâmica do meio ambiente, esses estudiosos dizem que a óptica dinâmica deve ser o ponto de partida da avaliação, devendo guiar a classificação do meio ambiente no nível taxonômico mais elevado.

Tabela 4.2 – Avaliação da Estabilidade das Categorias Morfodinâmicas.
(Fonte: Crepani et al. 1996).

Categoria Morfodinâmica	Relação Pedogênese / Morfogênese	Valor
Estável	Prevalece a Pedogênese	1,0
Intermediário	Equilíbrio Pedogênese / Morfogênese	2,0
Instável	Prevalece a Morfogênese	3,0

A partir dessa primeira aproximação, esses autores procuraram contemplar maior variedade de categorias morfodinâmicas de forma a construir uma escala de vulnerabilidade à perda de solo para situações que ocorressem naturalmente.

Desenvolveu-se, então, o modelo mostrado na Tabela 4.3 que estabelece 21 classes de vulnerabilidade à perda de solo, distribuídas entre as situações onde há o predomínio dos processos de pedogênese (às quais se atribuem valores próximos de 1,0), passando por situações intermediárias (às quais se atribuem valores ao redor de 2,0) e situações de predomínio dos processos de morfogênese (às quais se atribuem valores próximos de 3,0).

O modelo é aplicado aos temas (Geologia, Geomorfologia, Solos e Vegetação), que compõem cada unidade de paisagem e essas recebem posteriormente um valor final resultante da média aritmética dos valores individuais de cada tema.

Conforme, a equação 4.1, que busca representar empiricamente a posição dessa unidade dentro da escala de vulnerabilidade à erosão do solo:

$$V = \frac{(R + S + Vg + G)}{4}$$

(4.1)

Onde:

- V = vulnerabilidade da área de estudo
- G = vulnerabilidade para o tema Geologia
- R = vulnerabilidade para o tema Geomorfologia
- S = vulnerabilidade para o tema Solos
- Vg = vulnerabilidade para o tema Vegetação

Dentro dessa escala de vulnerabilidade, as áreas que apresentam maior estabilidade são representadas por valores mais próximos de 1,0; as áreas de estabilidade intermediária são representadas por valores ao redor de 2,0 enquanto que as unidades de áreas mais vulneráveis à perda de solo apresentam valores mais próximos de 3,0.

TABELA 4.3 –Escala de vulnerabilidade à erosão do solo
 (Fonte: Crepani et al. 1996).

UNIDADE DE PAISAGEM	MÉDIA	GRAU DE VULNERABILIDADE	GRAU DE SATURAÇÃO			CORES
			VERMELHO	VERDE	AZUL	
U1	3,0		255	0	0	
U2	2,9		255	51	0	
U3	2,8	VULNERÁVEL	255	102	0	
U4	2,7		255	153	0	
U5	2,6		255	204	0	
U6	2,5	MODERADAMENTE VULNERÁVEL	255	255	0	
U7	2,4		204	255	0	
U8	2,3		153	255	0	
U9	2,2		102	255	0	
U10	2,1	MEDIANAMENTE	51	255	0	
U11	2,0	ESTÁVEL/	0	255	0	
U12	1,9	VULNERÁVEL	0	255	51	
U13	1,8		0	255	102	
U14	1,7		0	255	153	
U15	1,6	MODERADAMENTE	0	255	204	
U16	1,5	ESTÁVEL	0	255	255	
U17	1,4		0	204	255	
U18	1,3		0	153	255	
U19	1,2		0	102	255	
U20	1,1	ESTÁVEL	0	51	255	
U21	1,0		0	0	255	

A atribuição de valores de vulnerabilidade à perda de solo para as classes de cada tema que compõe uma unidade de área procura obedecer a uma lógica diretamente relacionada com as características desses temas. Embora esses valores sejam *relativos e empíricos*, procura-se representar através deles o comportamento esperado para cada um dos temas frente aos processos naturais da *denudação*, conjunto de processos que agem na remoção do solo e conseqüente abaixamento de uma superfície elevada pela interação de processos intempéricos e erosivos.

A denudação é a responsável pelo arrasamento das formas de relevo da superfície terrestre, sendo a água seu principal agente e responsável direta pela perda de solo. Toda água que cai na forma de chuva ou neve, sobre 29% da superfície terrestre ocupada pelos continentes, tende a mover-se para baixo, pela ação da gravidade, de volta ao oceano de onde veio na forma de vapor. Toda gota de chuva que atinge o solo possui energia potencial proporcional ao produto de sua massa e altitude acima do nível do mar do seu ponto de queda e tende a transformá-la em energia cinética.

A abundância de água na superfície da Terra é quem converte energia solar em trabalho mecânico. A água em seu curso irreversível para o mar sobre a superfície terrestre é o agente dominante de alteração da paisagem, são os rios que realizam a grande maioria do trabalho de transporte dos detritos do continente para o oceano.

A Tabela 4.4 mostra as características observadas para avaliar a vulnerabilidade à perda de solo e atribuir valores para cada classe de cada tema que compõe as unidades de paisagem.

TABELA 4.4 – Características observadas para avaliar a vulnerabilidade à erosão do solo das unidades de paisagem (Fonte: Crepani et al., 2001).

TEMAS	CARACTERÍSTICAS
Geologia	História da evolução Geológica.
Geomorfologia	Grau de erosão da rocha.
	Amplitude altimétrica.
	Grau de dissecação.
Pedologia	Declividade.
	Maturidade do solo.
Fitogeografia	Densidade da cobertura vegetal.

4.6.3 Mapa de vulnerabilidade à erosão do solo

Para avaliar a vulnerabilidade à erosão do solo no município de Rio Branco, resultantes da reinterpretação dos dados temáticos sobre as imagens orbitais, cada tema é transformado em um Plano de Informação no banco de dados, contendo um mapa no formato vetorial ou matricial. A cada classe de cada tema são associados valores, que indicam o seu grau de vulnerabilidade à perda de solo.

Uma vez atribuídos valores para todas as classes, de todos mapas temáticos reinterpretados sobre as imagens de satélite, é feita a integração desses mapas via Álgebra de Mapas (Barbosa, 1997) em SIG, para que seja gerado o mapa de vulnerabilidade à perda de solo das unidades de paisagem. Essa integração é feita percorrendo-se 3 etapas:

- Para que as classes referentes aos mapas temáticos possam conter os valores de vulnerabilidade à perda de solo, procede-se a uma operação pontual de Ponderação, que gera uma grade com os valores de vulnerabilidade para cada classe de cada tema.
- A partir das grades geradas para cada tema é realizada uma operação pontual de Média Aritmética a fim de gerar uma outra grade que contenha os valores de vulnerabilidade final para cada unidade de paisagem (média da vulnerabilidade das classes dos temas analisados).
- Em seguida é executada uma operação pontual de “Fatiamento”, para a grade com os valores de vulnerabilidade final, gerando o mapa temático de vulnerabilidade à erosão do solo.

A Figura 4.6 ilustra a avaliação de cada unidade temática a partir do valor de vulnerabilidade atribuído a cada classe de cada tema (Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação/uso do Solo e Clima). O valor da caracterização final da vulnerabilidade de cada unidade de paisagem é feito pela média aritmética entre todos os valores atribuídos a cada um dos temas, conforme a equação 4.1.

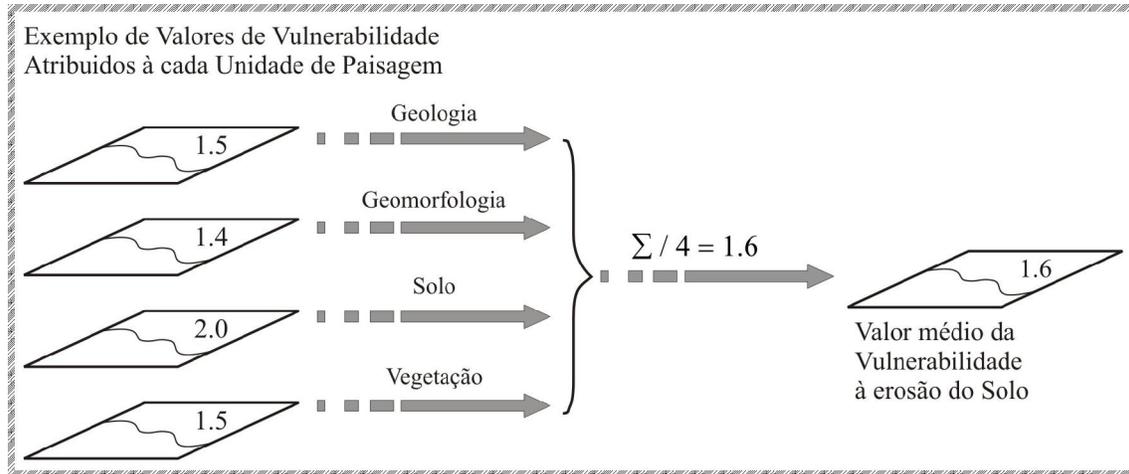


Figura 4.6 – Modelo esquemático do cálculo de vulnerabilidade à erosão do solos de cada unidade temática (modificado de Sousa, 1999).

Para a representação cartográfica da vulnerabilidade das unidades temáticas são utilizadas 21 cores (Tabela 3.3) obtidas a partir da combinação das três cores aditivas primárias (Azul, Verde e Vermelho) de modo que se associe a cada classe de vulnerabilidade sempre a mesma cor, obedecendo ao critério de que ao valor de maior estabilidade (1,0) se associe a cor azul, ao valor de estabilidade intermediária (2,0) se associe a cor verde e ao valor de maior vulnerabilidade (3,0) a cor vermelha.

Aos valores situados entre 1,1 e 1,9 na escala de vulnerabilidade associam-se cores resultantes da combinação entre o azul e o verde, crescendo a participação do segundo na medida em que se aproxima de 2,0, enquanto que aos valores situados entre 2,1 e 2,9 associam-se cores resultantes da combinação entre o verde e o vermelho, crescendo a participação do segundo na medida em que o valor da vulnerabilidade se aproxima de 3,0. Na escolha das cores procurou-se obedecer aos critérios de comunicação visual que buscam associar às cores “quentes” e seus matizes (vermelho, amarelo e laranja) situações de emergência, e às cores “frias” e seus matizes (azul, verde) situações de tranqüilidade.

CAPÍTULO 5

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este capítulo apresenta e discute os resultados alcançados no decorrer do trabalho. Para melhor discorrer sobre os resultados, o capítulo foi dividido em duas etapas: análise e interpretação dos dados gerados e integração dos dados.

5.1 Análise e interpretação dos dados gerados

5.1.1 Etapa de campo

A etapa de campo foi essencial para o processo de interpretação. Os dados coletados auxiliaram na interpretação visual das unidades temáticas (Geologia, Geomorfologia, Solos e Vegetação), via SPRING, corrigindo erros do classificador pela mudança de forma e classes de polígonos.

Foram registrados 35 pontos com coleta de informações referentes aos Planos de Informação temáticos. Nesses pontos foi possível observar as características das feições no terreno e o seu comportamento na imagem (Figura 5.1).

As cinco classes do Plano de Informação de Cobertura Vegetal e Uso da Terra escolhidas são as seguintes:

Áreas Urbanas - áreas ocupadas com estabelecimentos residenciais e/ou industriais (áreas construídas);

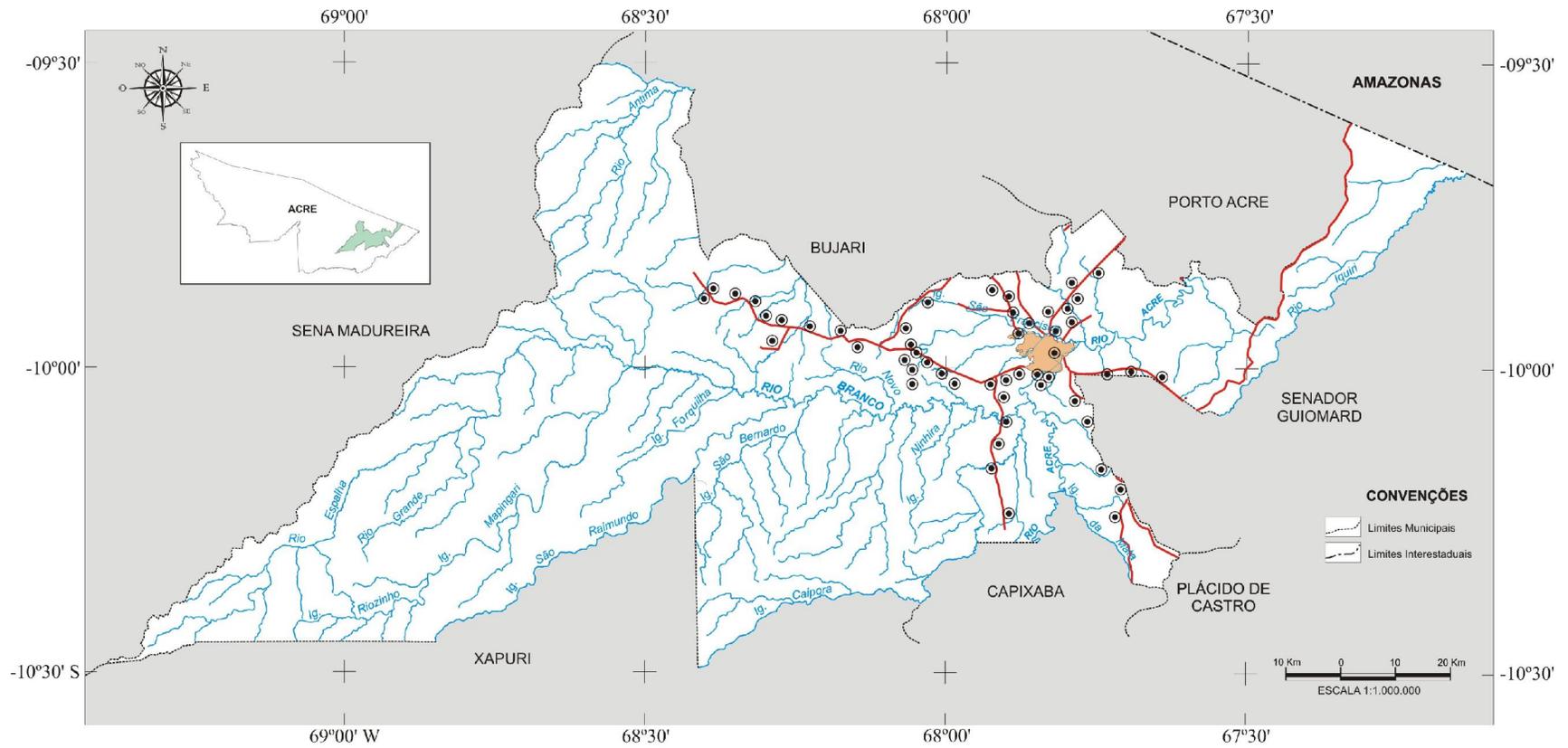
Agropecuária e solo exposto - áreas utilizadas para criação de gado, e com grande quantidade de áreas desmatadas com solo sem cobertura vegetal.

Floresta natural - classe de floresta natural, sem qualquer tipo de degradação e ou exploração;

Regeneração e pastagem - classe de vegetação secundária em recomposição, são áreas que sofreram desflorestamento para pastagem e que ainda não apresentam características de sucessão secundária;

Hidrografia- áreas cobertas por água.

Nas áreas de atividade madeireira, a exploração é feita, na maioria dos casos, sem técnicas de manejo corretas, enquanto que em todas as áreas agrícolas e de pastagens visitadas não se observou o uso de práticas conservacionistas.



Fonte: Mapa Elaborado com base compilada em Mapa Hidrográfico do Estado do Acre (ZEE, 2000), Escala 1:250.000 e plotagem de pontos coletados em trabalho de campo pela autora.

LEGENDA

-  Rios e Igarapés
-  Área Urbana
-  Estradas
-  Pontos Coletados no Trabalho de Campo

Figura 5.1 - Mapa de Distribuição dos Pontos de Coleta de Dados em Campo.

5.1.2 Carta Imagem e Mapa de Uso e Ocupação do solo

A Carta Imagem partir da classificação da cobertura vegetal, a fim de editar as classes de ocupação pelo classificador com o auxílio dos dados coletados no campo. O objetivo final da classificação foi gerar o Mapa de Uso e Ocupação do Solo (Figura 5.2) com cinco classes temáticas: Agropecuária, Área Urbana, Floresta Natural, Regeneração/ Pastagem e Hidrografia.

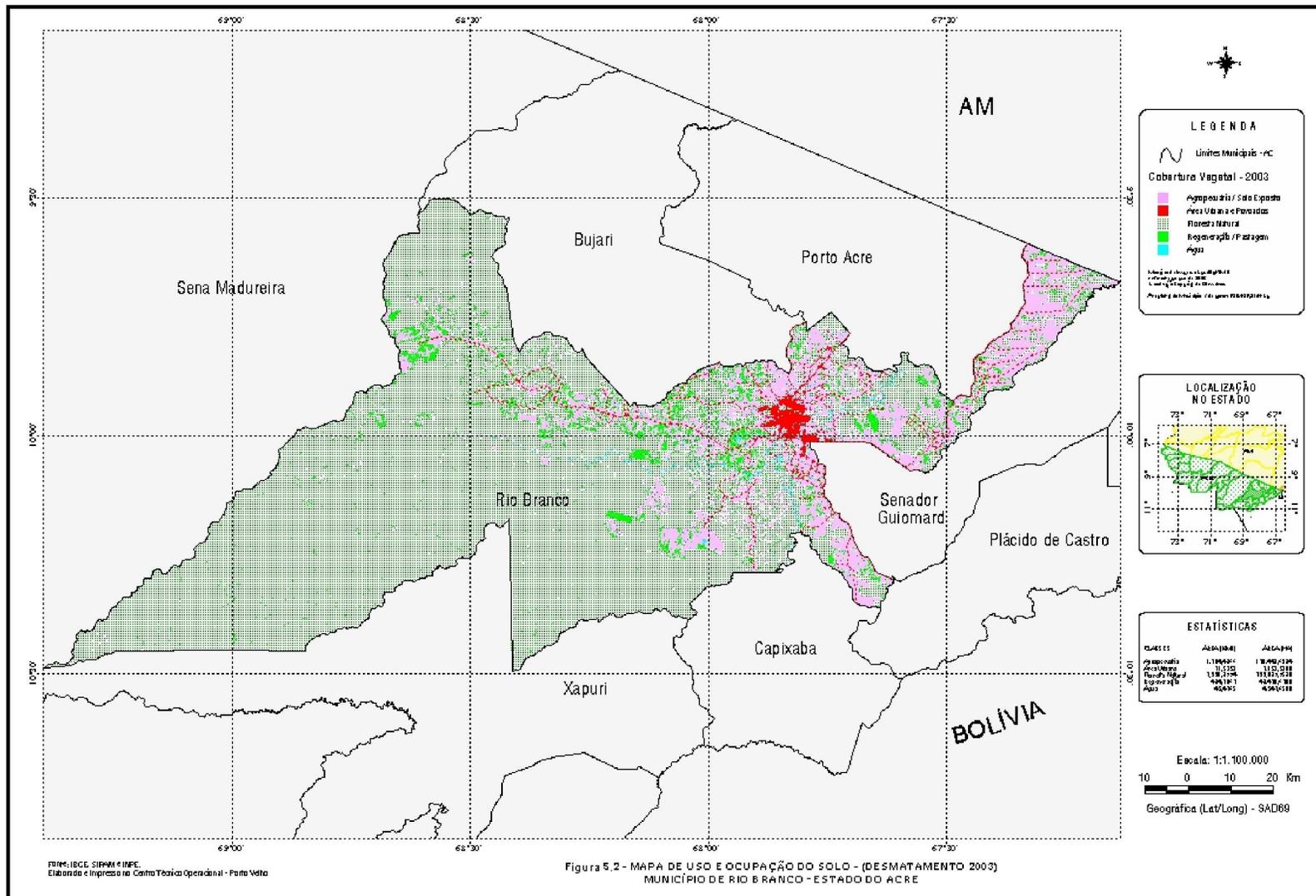
A metodologia de classificação adotada neste trabalho tem, segundo Almeida-Filho e Shimabukuro (2002), a propriedade de minimizar os chamados erros de comissão e omissão, que ocorrem nas classificações automáticas, com a edição dos eventuais erros em ambiente de SIG através da interpretação visual, com uso das informações coletadas em campo.

O resultado final da classificação e posterior edição em ambiente de SIG geraram um Mapa de Cobertura Vegetal e Uso do solo (Figura 5.2) com cinco classes temáticas: agropecuária e solo expostos, área urbana e povoados, floresta natural, regeneração e pastagem e água.

A análise desse mapa, ilustrado pelas fotografias 01 à 07 mostra, entre outras informações, que existem ainda 75,50% de floresta natural e 24,50% de área que sofreu algum tipo de alteração no Município. Do total alterado, 4,90% encontram-se em estado de regeneração e pastagem (Tabela 5.1).

TABELA 5.1 – Área ocupada pelas classes de cobertura vegetal e uso do solo no município de Rio Branco

Classes	Município	
	Área (km ²)	Percentual (%)
Agropecuária	1.704,49	17,06
Área urbana	71,33	0,73
Floresta natural	7.550,90	75,52
Regeneração e pastagem	484,71	4,90
Água	43,48	0,45
Total	9.854,90	98,66
Área total do Município	14.294,00	

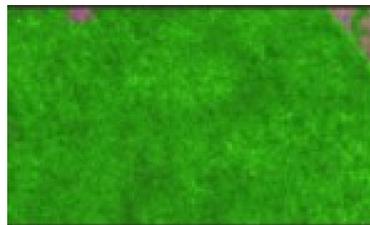


Fotografias dos Padrões de Cobertura Vegetal e de Uso do Solo observados no campo e na Carta Imagem (Anexo I.2).



Fotografia 01

Classes: *Floresta Secundária com Bambu*
Características: Área de floresta em regeneração, com presença de Bambu
Parâmetros Observados na Imagem: Cor verde média clara; Textura média lisa e Forma poligonal
Local: 10° 00' 393 S – 068° 03' 104 W
Município de Rio Branco
Fotografado por: Regina Chelly
Data 08.09.2004





Fotografia 02

Classes: *Área Urbana*

Características: Residências em área de preservação permanente

Parâmetros Observados na Imagem Cor rosa clara à arroxeada clara; Textura rugosa e Forma irregular

Local: 09° 58' 438 S – 067° 48' 686 W – Município de Rio Branco

Fotografado por: Regina Chelly

Data: 08.09.2004





Fotografia 03

Classes: *Reforestação de Cedro*

Características: Área de floresta em recuperação e
plantil - Reforestamento

Parâmetros Observados na Imagem: Cor verde média
clara; Textura média lisa e Forma poligonal

Local: 09° 53' 772 S – 067° 53' 647 W – Município de
Rio Branco

Fotografado por: Regina Chelly

Data 08.09.2004





Fotografia 04

Classes: *Pasto sujo, capoeira de 2 anos*
Características: Pastagem degradada com presença de palmeiras
Parâmetros Observados na Imagem: Cor verde rosa média escura; Textura média lisa e Forma poligonal
Local: 10° 00' 766 S – 067° 42' 510 W – Município de Rio Branco
Fotografado por: Regina Chelly
Data 10.09.2004





Fotografia 05

Classes: *Pasto em formação*

Características: Pastagem Degradada

Parâmetros Observados na Imagem: Cor verde
média escura; Textura média lisa; e Forma poligonal

Local: 10° 00' 727 S – 067° 44' 513 W – Município
de Rio Branco

Fotografado por: Regina Chelly

Data 10.09.2004





Fotografia 06

Classes: *Queimada*

Características: Floresta Secundária

Parâmetros Observados na Imagem:

Cor rosa média escura; Textura rugosa; e

Forma irregular

Local: 10° 00' 766 S – 067° 42' 510 W –

Município de Rio Branco

Fotografado por: Regina Chelly

Data 10.09.2004





Fotografia 07

Classes: *Pasto limpo*

Características: Pastagem

Parâmetros Observados na Imagem: Cor verde claro a média; Textura média lisa e forma poligonal

Local: 10° 00' 766 S – 067° 42' 510 W – Município de Rio Branco

Fotografado por: Regina Chelly

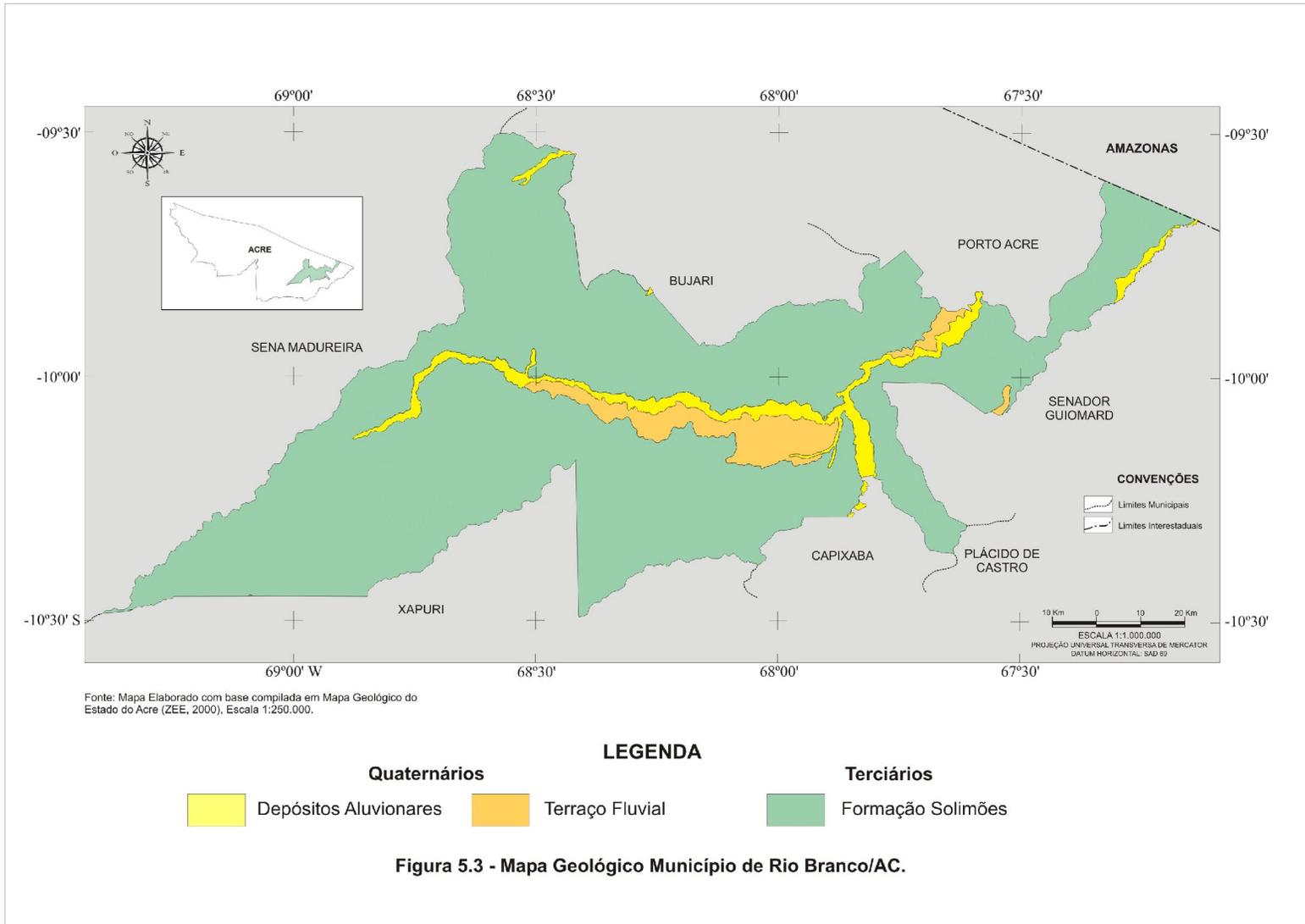
Data 10.09.2004



5.2 Análise e reinterpretação dos mapas

A reinterpretação dos mapas pré-existentes, por meio de imagens de satélite utilizadas como “âncora” e auxílio das observações de campo, permitiu a elaboração de PI dos mapas temáticos.

Mapa Geológico (Figura 5.3): definição dos depósitos aluvionares e detalhamento dos contatos entre os demais materiais de natureza sedimentar ampliados a escala de trabalho. O mapa geológico mostra o predomínio de rochas sedimentares do Quaternário e Terciário, pertencentes a Formações Solimões, sobrepostas pelo Terraço Fluvial e pelos depósitos aluvionares quaternários.



Mapa Geom o rfo ló g ico (Figura 5.4): delimitação e detalhamento das unidades de acumulação (planície fluvial e terraço fluvial) e dissecação (Cristas e Tabular, Colinosa e Crista) e aplainamento (Terraço Fluvial)

Fo m as E ros ivas :

Terraço Fluvial – Patamar esculpido pelo rio, com declive voltado para o leito fluvial, eventualmente comportando meandros colmatados.

Fo m as de D issecação :

Colinosa – Relevo de topo pouco convexo separados por vales em V e eventualmente por vales de fundo plano, mapeadas com índices de dissecação muito fraca a mediana.

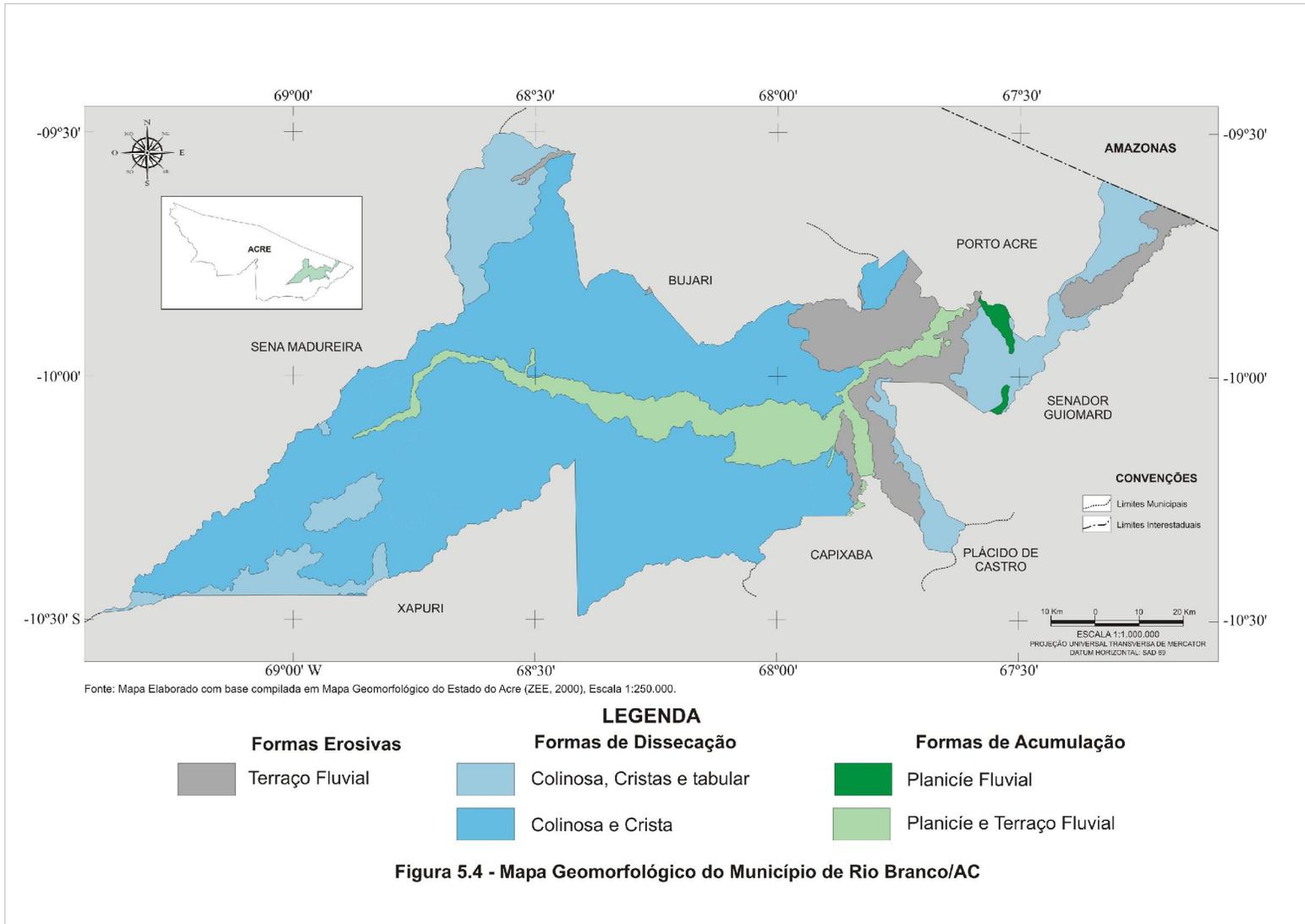
Cristas – Relevo de topo contínuo e aguçado, separados geralmente por vales em V e eventualmente por vales de fundo plano, mapeadas com índice de dissecação fraco a muito fraco.

Tabular – Relevo de topo aplainado, separados por vales de fundo plano e eventualmente por vales em V, mapeados com índices de dissecação muito fraca.

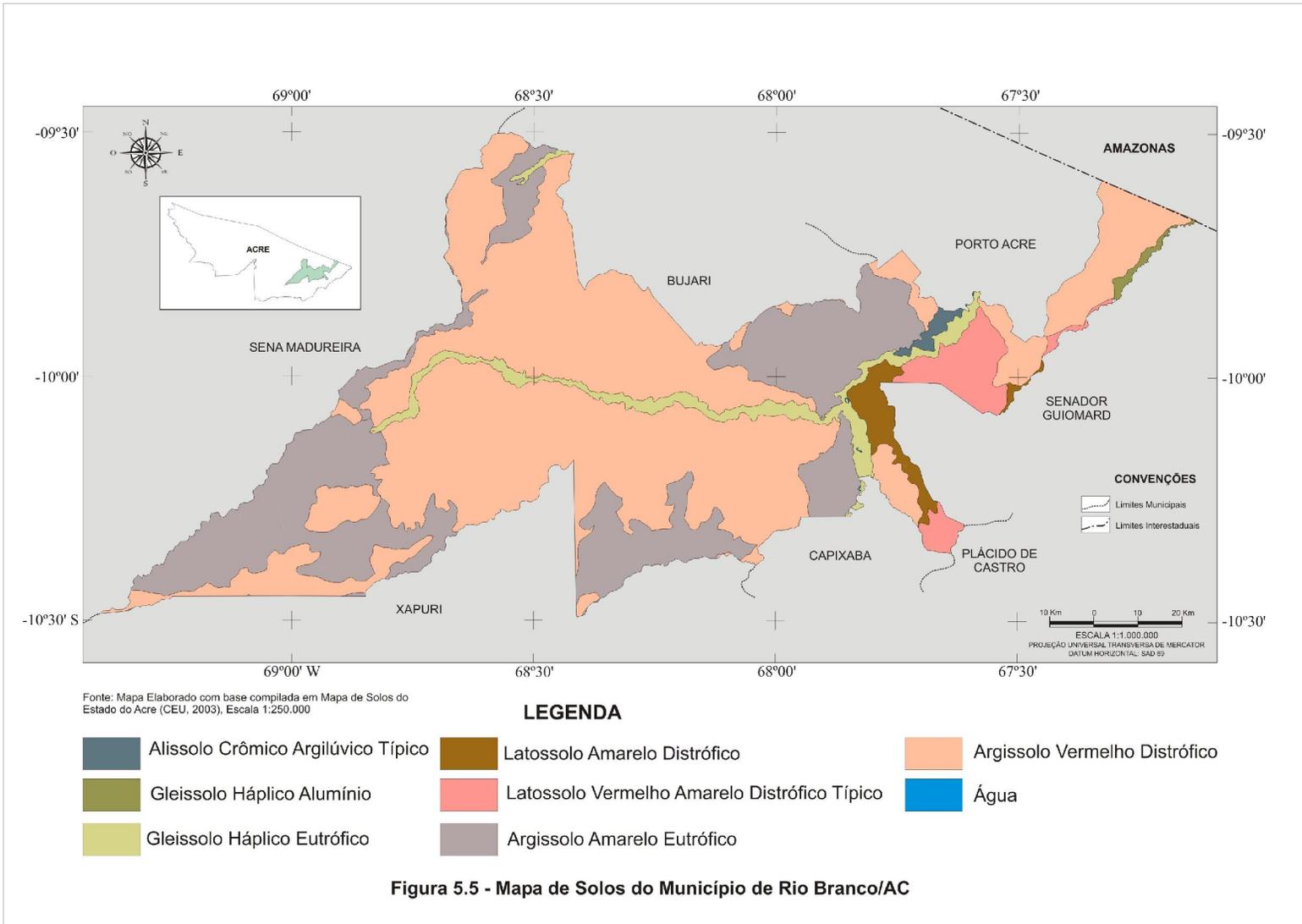
Fo m as de Acum u lação :

Planície Fluvial – Área alagada resultante de acumulação fluvial, periódica ou permanente alagada, geralmente comportando meandros abandonados.

Planície e Terraços Fluviais – Áreas aplainadas resultantes de acumulação fluvial, periódica ou permanentemente alada, comportando meandros abandonados, ligadas com ou sem ruptura de declive a patamar mais elevado.

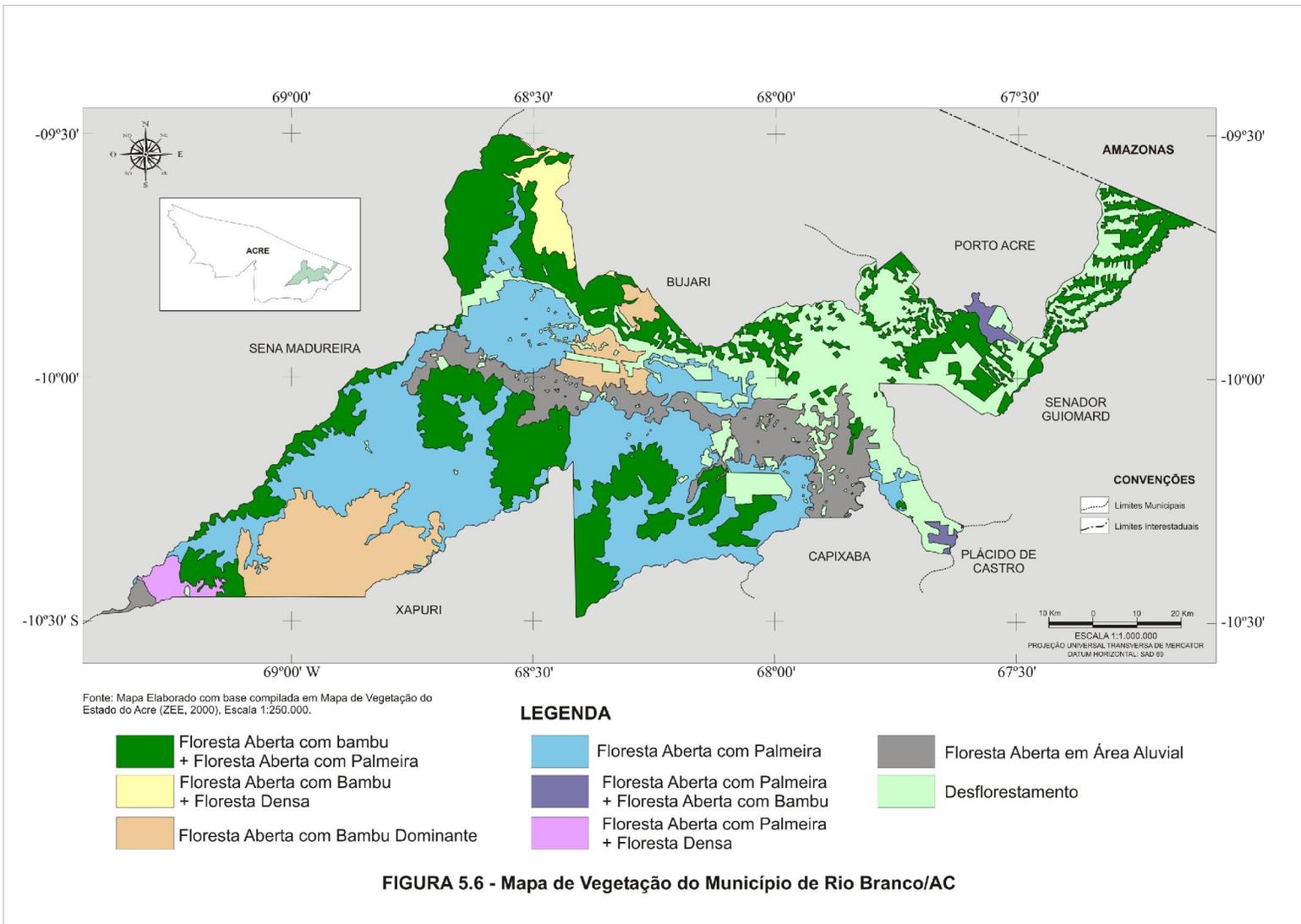


Mapa de Solos (Figura 5.5): delimitação com maior exatidão cartográfica dos solos encontrados na área, como os alissolos (AC t1), gleissolos (GXve1 e GXa2), argissolos amarelo eutrófico (PAe1, PAe2, PAe4, PAe7), argissolos vermelho distrófico (PVd3, PVd4, PVd6, PVd7, PVd8, PVd9, PVd10), latossolos amarelo distrófico (LAd1) e latossolos vermelho amarelo distrófico típico (LVAd2).



Mapa de Vegetação (Figura 5.6): apresenta um grande número de variáveis que caracterizam as diferentes paisagens naturais, ocorrendo o Domínio da Floresta Ombrófila Densa e o Domínio da Floresta Ombrófila Aberta, que se subdivide em dominância de palmeiras, cipó ou bambus. Dentro desses domínios foram identificados sete tipologias florestais diferentes, que foram encontradas na área, como:

- 1 -Áreas Desflorestadas;
- 2 -Floresta aberta com palmeira;
- 3 -Floresta aberta com bambu + floresta densa;
- 4 -Floresta aberta com bambu dominante;
- 5 -Floresta aberta com bambu + floresta aberta com palmeira;
- 6 -Floresta aberta com palmeira + Floresta aberta com bambu e
- 7 -Floresta aberta com palmeira em área aluvial.



5.3 Análise da vulnerabilidade à erosão do solo

Nos mapas de vulnerabilidade gerados pela reinterpretação dos mapas existentes (solos, geologia, geomorfologia e vegetação) e rebatidos no mapa de uso e cobertura vegetal, foi analisada a vulnerabilidade à erosão do solo do município de Rio Branco, com atribuição de valores de vulnerabilidade para cada classe de cada tema.

5.3.1 Cobertura vegetal

A análise da vulnerabilidade à erosão do solo para as classes de cobertura vegetal (Figura 5.7) baseia-se na densidade de cobertura vegetal ou nas atividades antrópicas proporcionadas ao solo. Desse modo, considerando-se os valores sugeridos por Crepani et al. (2001), apresentam-se como áreas mais estáveis aquelas com maior densidade de cobertura vegetal, às quais são atribuídos os menores valores de vulnerabilidade (p. ex. floresta primária, floresta aberta com bambu + floresta densa).

Por outro lado, para as áreas que apresentam uso da terra com menor densidade de cobertura vegetal (p. ex. reflorestamento e área urbana), atribuiu-se os maiores valores de vulnerabilidade (Tabela 5.2).

Tabela 5.2 –Valores de vulnerabilidade à erosão do solo atribuídos à cobertura vegetal.

CLASSE DE COBERTURA VEGETAL	VALORES DE VULNERABILIDADE	GRAU DE VULNERABILIDADE
Desflorestada	2,7	Vulnerável 1
Floresta aberta com palmeira	1,4	Estável 3
Floresta aberta com bambu + floresta densa	1,3	Estável 3
Floresta aberta com bambu dominante	1,3	Estável 3
Floresta aberta com bambu + floresta aberta com palmeira	1,3	Estável 3
Floresta aberta com palmeira + Floresta aberta com bambu	1,2	Estável 2
Floresta aberta com palmeira em área aluvial	1,1	Estável 1

Tabela 5.3 – Distribuição de classes do mapa de vulnerabilidade à erosão da vegetação.

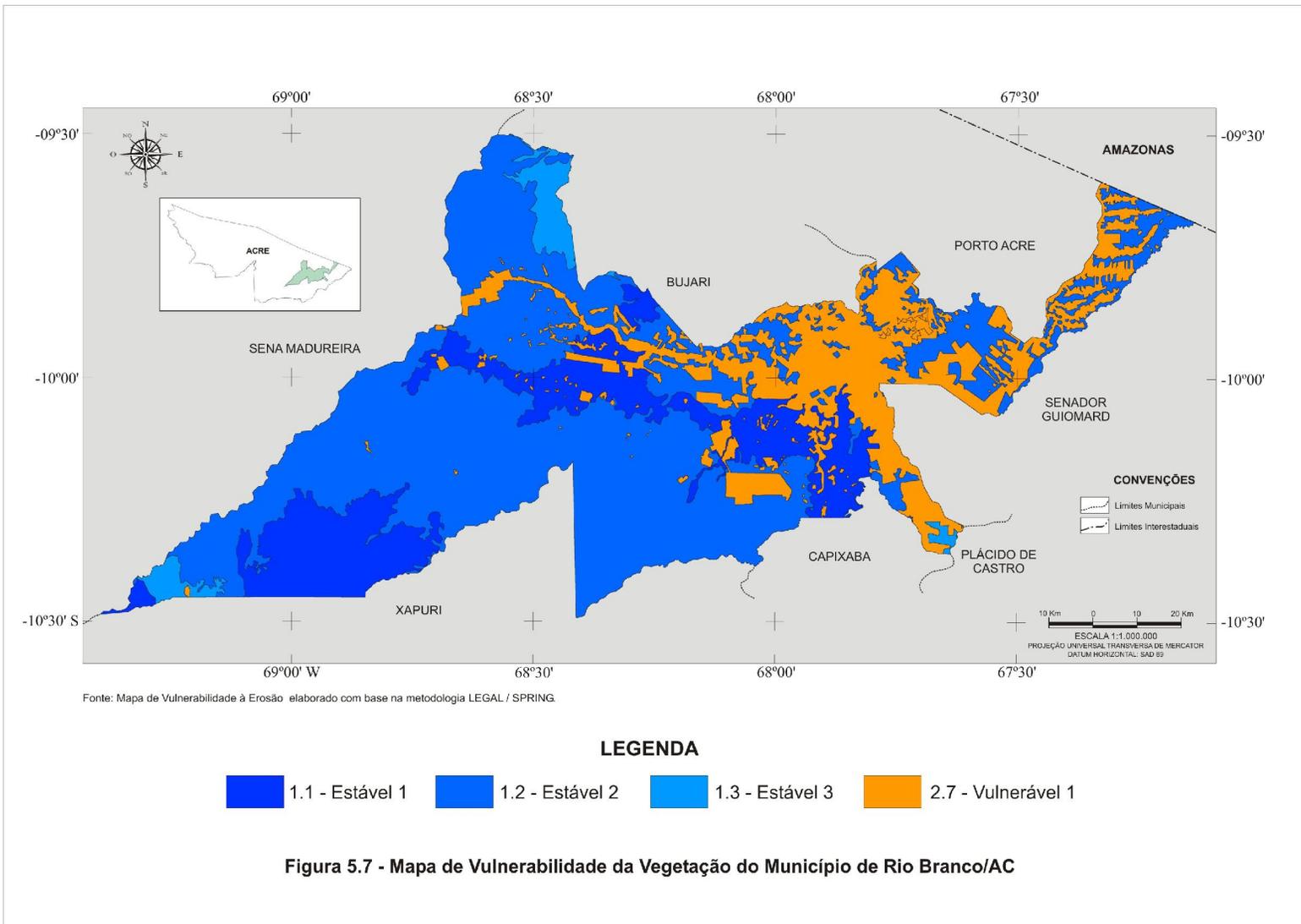
Classes de Vulnerabilidade	Área (Km ²)	Área (%)
Vulnerável	1.983,56	20,00%
Moderadamente Vulnerável	-	-
Medianamente Estável / Vulnerável	-	-
Moderadamente Estável	-	-
Estável	7.852,96	80,00%

A interpretação dos dados da Tabela 5.3, permite concluir que:

- 20% da área do Município correspondente a áreas vulneráveis à erosão do solo ocupada por área urbana e povoados, pastagem e pasto em regeneração e agropecuária, onde se sugere prioritariamente a recuperação da sua cobertura vegetal.
- 80% da área do Município correspondente a áreas estáveis cobertas por floresta natural, que poderão ser exploradas via corte seletivo, necessitando de controle rigoroso do manejo.
- áreas estáveis podem ser exploradas desde que de acordo com a legislação ambiental vigente e com aplicações de práticas corretas de manejo.

O mapa foi executado a partir do seguinte programa em LEGAL:

```
{
//Programa para converter o mapa temático de vegetação em mapa
//no modelo numérico de vegetação através do comando PONDERE
//declaração
Tematico vrvgt ("vegetacao_TM");
Numerico vrpond ("MNT");
Tabela tabveg (Ponderacao);
// instanciação
vrvgt = Recuperar (Nome = "vegetacao");
vrpond = Novo (Nome = "vegetacaoponderado", ResX = 30, ResY = 30, Escala = 250000,
Min = 0, Max = 3);
tabveg = Novo (CategorialIni = "vegetacao_TM",
"Deflorestada" : 2.7,
"FAB + FAP" : 1.3,
"FAB + FD" : 1.4,
"FABD" : 1.2,
"FAP" : 1.3,
"FAP + FAB" : 1.3,
"FAP + FD" : 1.4,
"FAP - Aluvial" : 1.1);
//operação
vrpond = Pondere (vrvgt, tabveg);
}
```



5.3.2 Geologia

O grau de coesão das rochas é o critério utilizado para se atribuir valores de vulnerabilidade ao tema geologia (Figura 5.8).

Para as classes que apresentam rochas menos coesas foram atribuídos maiores valores de vulnerabilidade. Desse modo, os depósitos aluvionares, por apresentarem o menor grau de coesão, receberam o valor maior de vulnerabilidade. Para as demais classes foi realizada uma média aritmética entre os valores atribuídos aos materiais encontrados em cada unidade geológica (Tabela 5.4).

Tabela 5.4 –Valores de vulnerabilidade atribuídos às unidades geológicas.

CLASSE GEOLOGICA	DESCRIÇÃO	VALORES DE VULNERABILIDADE	GRAU DE VULNERABILIDADE
Depósitos Aluvionares- Qa	Argilo-siltosa	3,0	Vulnerável
Terraço Fluvial – Qt	Argilosos	2.8	Vulnerável 2
Formação Solimões	Argilitos e siltitos argilosos	2.7	Vulnerável 1

A análise feita para o tema geologia mostra que a área é composta principalmente por materiais sedimentares que apresentam valores elevados de vulnerabilidade à perda de solo. São representados por sedimentos pertencentes à Formação Solimões, além de Terraços Fluviais e Depósitos Aluvionares.

A Formação Solimões teve sua deposição iniciada depois do Paroxismo Andino, evento que gerou a Cordilheira Andina, daí seu posicionamento no Plioceno Médio ao Pleistoceno. Esse fato tem alicerce na deposição das camadas horizontalizadas, jazendo sobre camadas dobradas, marcando o início do seu ciclo deposicional.

Com exceção dos depósitos inconsolidados e da cobertura argiloso-sedimentar, as outras unidades não são observadas facilmente. Na Formação Solimões predominam os sedimentos continentais, adquirindo caráter continental com a deposição de pacotes argilo-arenosos relativamente espessos.

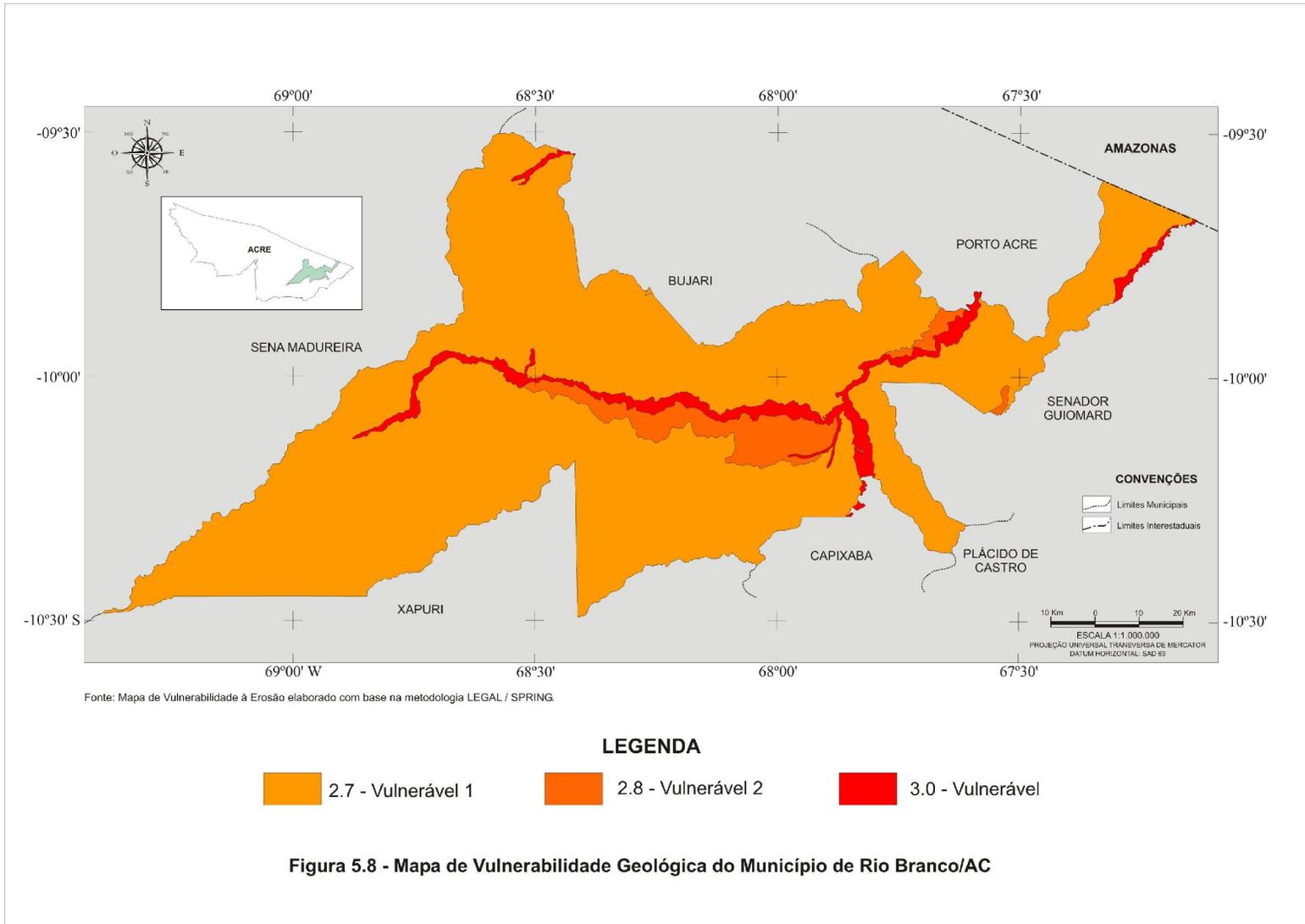
A tabela 5.5 e a figura 5.8 mostram que 99,9% da área do Município de Rio Branco apresenta classe vulnerável à erosão com valores de 2,7 a 3,0. No entanto, a vulnerabilidade maior (3,0) encontra-se localmente distribuída em terrenos constituídos pelos depósitos aluvionares localizados junto as planícies fluviais ao longo dos rios Acre e Branco.

Tabela 5.5 –Distribuição de classes do mapa de vulnerabilidade à erosão geológica.

Classes de Vulnerabilidade	Área (Km ²)	Área (%)
Vulnerável	9.838,65	100%
Moderadamente Vulnerável	-	-
Medianamente Estável / Vulnerável	-	-
Moderadamente Estável	-	-
Estável	-	-

O mapa foi executado a partir do seguinte programa em LEGAL:

```
{
//Programa para converter o mapa temático de geologia em mapa
//no modelo numérico de geologia através do comando PONDERE
//declaração
Tematico vrgeo ("geologia_TM");
Numerico vrpond ("MNT");
Tabela tabgeo (Ponderacao);
// instanciação
vrgeo = Recupere (Nome = "geologia");
vrpond = Novo (Nome = "geologiaponderado", ResX = 30, ResY = 30,
Escala = 250000,
Min = 0, Max = 3);
tabgeo = Novo (Categorialni = "geologia_TM",
"depósitos aluvionares" : 3.0,
"terraço fluviais" : 2.8,
"formações Solimões" : 2.7);
//operação
vrpond = Pondere (vrgeo, tabgeo);
}
```

5.3.3 Geomorfologia

A Tabela 5.6 mostra os valores associados aos valores de vulnerabilidade à erosão do solo das classes geomorfológicas.

Tabela 5.6 – Valores de vulnerabilidade atribuídos às unidades geomorfológicas.

CLASSE GEOMORFOLOGICA	DESCRIÇÃO	VALORES DE VULNERABILIDADE	GRAU DE VULNERABILIDADE
Planície Fluvial	Argisolos	3,0	Vulnerável
Planície Terraço Fluvial	Argilo-arenoso	2,8	Vulnerável 2
Terraço Fluvial	Argilosos	2.6	Moderadamente Vulnerável
Colinosa, Crista e Tabulares	Cambissolos	1.8	Medianamente Estável
Colinosa e Crista	Latossolos	1.6	Moderadamente Estável2

Os valores calculados mostram que:

- Apesar de o relevo plano as Planícies Fluviais receberam o maior valor de vulnerabilidade, sendo consideradas áreas instáveis. Pois os processos morfogenéticos predominam sobre os processo pedogenéticos em áreas sujeitas à inundação e, portanto, intensa morfodinâmica;
- A classe dos Colinosa e Crista receberam o menor valor de vulnerabilidade, pois apresentam o relevo plano a suavemente ondulado e representam a mais antiga superfície pediplanada;
- As áreas de relevo dissecado, terraços e os aplainado dos interflúvios tabulares receberam valores de vulnerabilidade intermediários.

De forma geral, os valores calculados mostram que a região estudada é composta predominantemente por extensas áreas aplainadas com baixa declividade e amplitude altimétrica, nas quais a estabilidade predomina. As áreas dissecadas estão associadas aos valores mais altos de declividade e amplitude altimétrica, portanto mais sujeitas aos processos erosivos (Figura 5.9).

Tabela 5.7 –Distribuição de classes do mapa de vulnerabilidade à erosão geomorfológica.

Classes de Vulnerabilidade	Área (Km ²)	Área (%)
Vulnerável	939,42	10%
Moderadamente Vulnerável	1.215,96	12%
Medianamente Estável / Vulnerável	661,04	7%
Moderadamente Estável	7.022,30	71%

A interpretação dos dados da Tabela 5.7, permite concluir que:

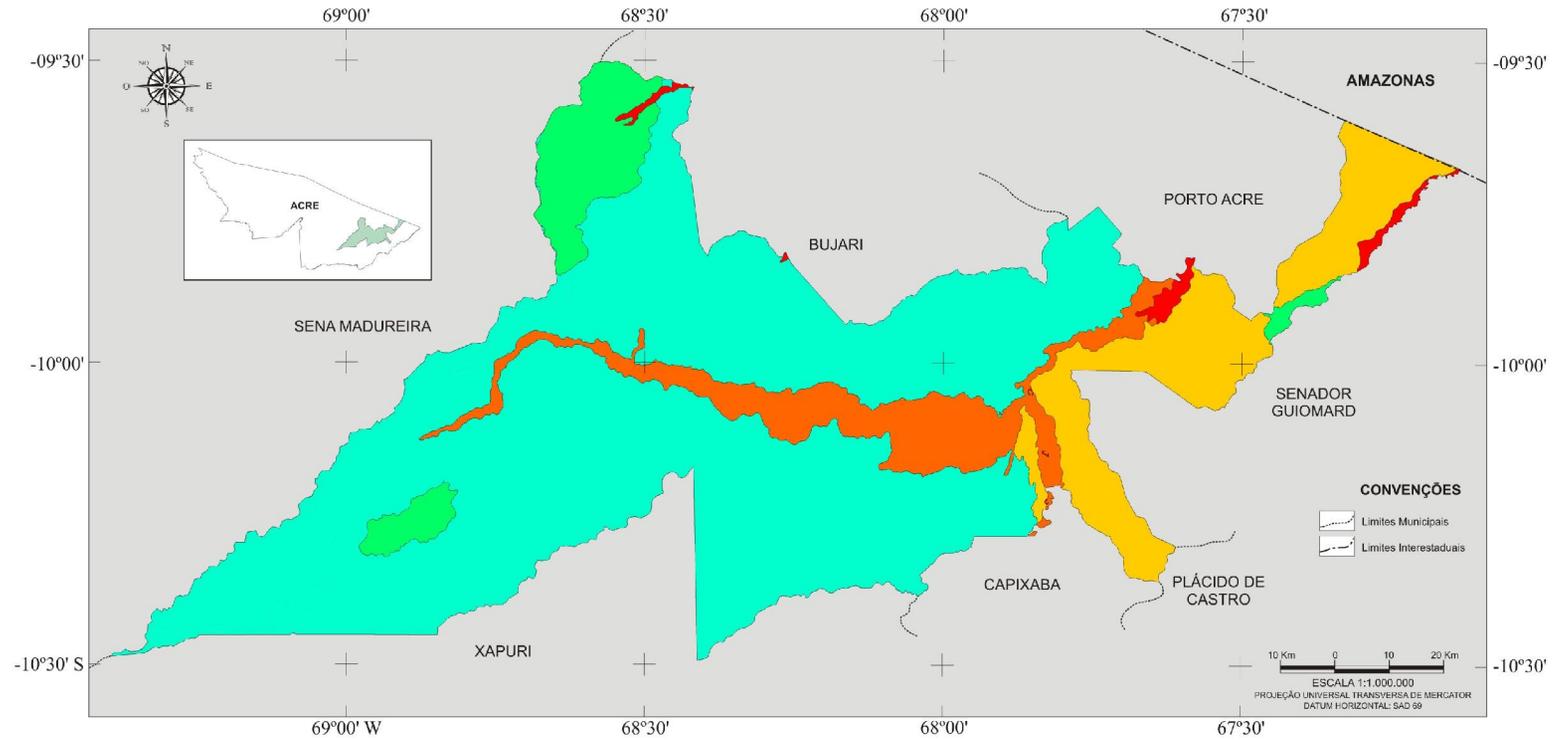
- 10% do Município corresponde a áreas vulneráveis à erosão, sendo constituídas por planície fluvial e terraços fluviais. São áreas de ocupação urbana da cidade de Rio Branco e de propriedades rurais com grandes áreas de pastagem.

- 19% da área do Município corresponde a áreas moderadamente vulneráveis e medianamente estáveis ocupadas com diferentes tipos de uso da terra. Nessa porção ocorrem formas de dissecação colinosa, cristas e tabulares.

- 71% da área do Município corresponde a áreas moderadamente estáveis, predominando formas de dissecação colinosas e cristas. Corresponde a áreas ocupadas com diferentes tipos de uso do solo, encontrando-se partes cobertas por florestas primárias que necessitam de controle rigoroso do manejo.

O mapa foi executado a partir do seguinte programa em LEGAL:

```
{  
  
//Programa para converter o mapa temático de geomorfologia em mapa  
//no modelo numérico de geomorfologia através do comando PONDERE  
//declaração  
Tematico vrgeom ("geomorfo");  
Numerico vrpond ("MNT");  
Tabela tabgeom (Ponderacao);  
// instanciação  
vrgeom = Recuperar (Nome = "geomorfologia");  
vrpond = Novo (Nome = "geomorfologiaponderado", ResX = 30, ResY = 30, Escala = 250000, Min =  
0, Max = 3);  
tabgeom = Novo (Categorialni = "geomorfo",  
"000Magua" : 3.0,  
"151Af" : 3.0,  
"151Aptf" : 2.8,  
"266Dt" : 2.6,  
"266Pri" : 1.8,  
"267Da" : 1.8,  
"267Dc" : 1.6);  
//operação  
vrpond = Pondere (vrgeom, tabgeom);  
  
}
```



Fonte: Mapa de Vulnerabilidade à Erosão Elaborado com Base na Metodologia LEGAL / SPRING

LEGENDA



Figura 5.9 - Mapa de Vulnerabilidade Geomorfológica do Município de Rio Branco/AC

5.3.4 Solos

Os valores de vulnerabilidade à erosão para o tema solos foram atribuídos de acordo com a maturidade dos solos. No caso das associações, a vulnerabilidade foi calculada a partir das porcentagens de ocorrência de cada solo na associação.

Para associações com três tipos de solos a proporção foi de 60%, 30% e 10% e para as associações com dois tipos de solos a proporção foi de 60% e 40%. Dessa forma, a Tabela 5.8 mostra os solos e as associações de solos do Município, as proporções adotadas para o cálculo e o valor de vulnerabilidade à perda de solo atribuído para cada classe de solo.

Tabela 5.8 –Associações de solos e valores de vulnerabilidade atribuídos.

Classe de Solos	Valores de Vulnerabilidade	Grado de Vulnerabilidade
Gleissolo háplico Ta eutrófico – Gxve1	3,0	Vulnerável
Gleissolo háplico alumínio – GXa2	2,8	Vulnerável 2
Argissolo amarelo eutrófico – PAe7	2,7	Vulnerável 1
Argissolo amarelo eutrófico – PAe4	2,2	Medianamente Vulnerável
Argissolo amarelo eutrófico – PAe2	2,0	Medianamente Estável e ou Vulnerável
Argissolo amarelo eutrófico – PAe1	1,9	Medianamente Estável Vulnerável
Alissolo crômico argilúvico típico – ACt1	1,8	Medianamente Vulnerável
Argissolo vermelho distrófico – PVd8	1,8	Medianamente Vulnerável
Argissolo vermelho distrófico – PVd10	1,7	Moderadamente Estável 3
Argissolo vermelho distrófico – PVd4	1,7	Moderadamente Estável 3
Argissolo vermelho distrófico – PVd6	1,5	Moderadamente Estável 1
Argissolo vermelho distrófico – PVd9	1,5	Moderadamente Estável 1
Argissolo vermelho distrófico – PVd7	1,3	Estável 3
Latossolo vermelho amarelo distrófico típico – LVAd2	1,2	Estável 2
Argissolo vermelho distrófico – PVd3	1,2	Estável 1
Latossolo amarelo distrófico – LAd1	1,0	Estável

Os latossolos são os solos mais estáveis encontrados na área. São solos bem desenvolvidos, maduros, de elevada profundidade e porosidade.

As associações de latossolos com argissolos e os argissolos puros são considerados intermediários na escala de vulnerabilidade. Esses solos se diferenciam pela textura, espessura e pelo relevo mais movimentado.

Os solos mais vulneráveis encontrados na área são os gleissolos e os plintossolos, considerados jovens e de pequena profundidade (Figura 5.9).

Tabela 5.9 – Distribuição de classes do mapa de vulnerabilidade à erosão do solo.

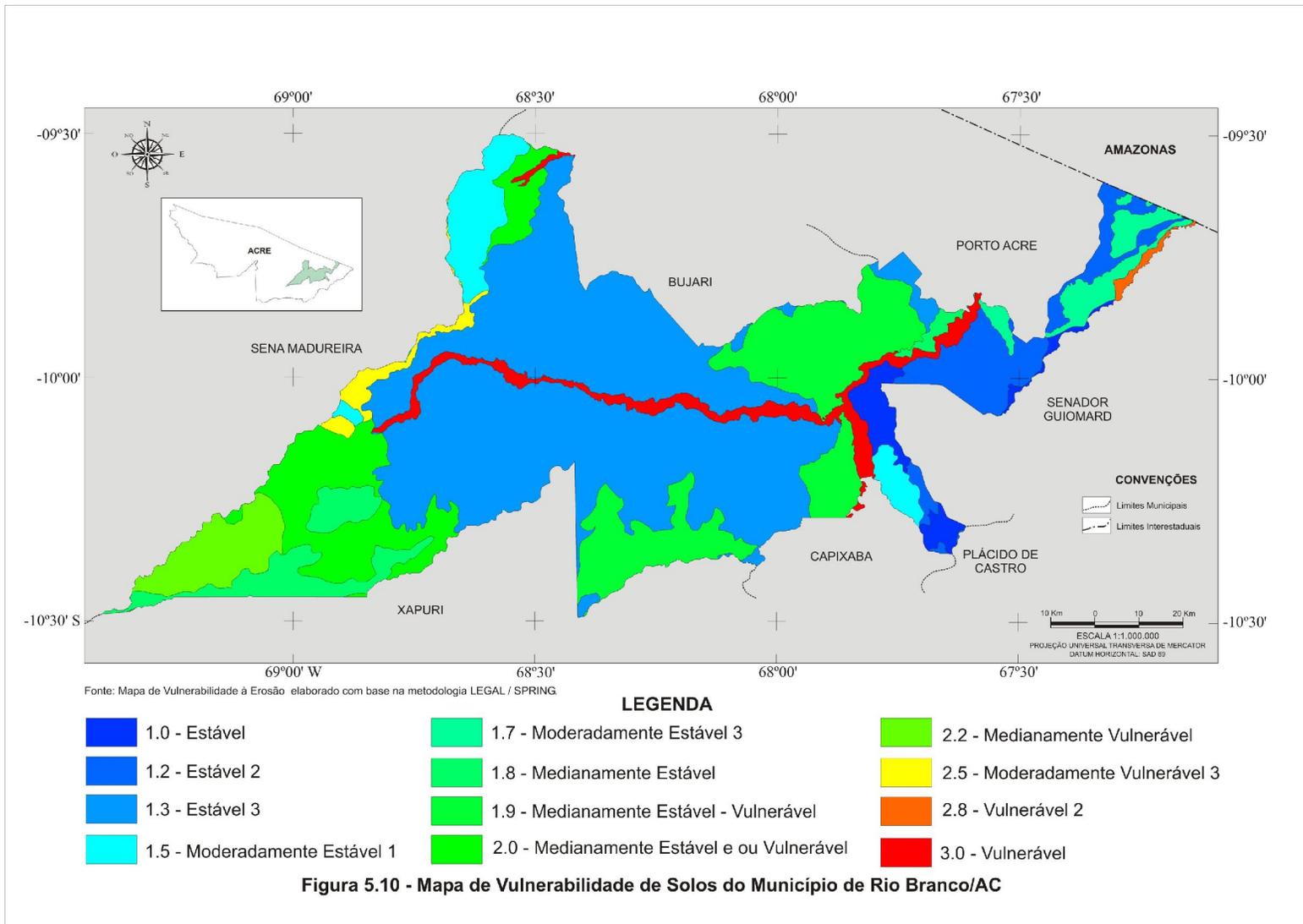
Classes de Vulnerabilidade	Área (Km ²)	Área %
Vulnerável	454,43	5%
Moderadamente Vulnerável	133,04	1%
Medianamente Estável / Vulnerável	3.219,72	33%
Moderadamente Estável	724,82	7%
Estável	5.306,16	54%

A interpretação dos dados da Tabela 5.9 e da Figura 5.10 permite concluir que:

- 6 % do Município corresponde a áreas vulneráveis e vulneráveis a moderadamente vulneráveis à erosão, sendo ocupado com diferentes tipos de uso da terra. A área é constituída por gleissolos que ocorrem junto a planície fluvial ao longo dos Rios Branco e Acre.
- 33 % são áreas medianamente estáveis/vulneráveis, predominando argilossolo amarelo eutrófico. Apresentam porções cobertas por florestas primárias.
- 17 % da área do Município corresponde a áreas moderadamente estáveis. Nessa faixa encontram-se áreas de floresta primária.
- 54 % da área do Município corresponde a áreas estáveis cobertas por sucessão secundária. Ocorrem predominantemente argilossolo vermelho distrófico e, de modo subordinado, latossolos.

O mapa foi executado a partir do seguinte programa em LEGAL:

```
{
//Programa para converter o mapa temático de solos em mapa
//no modelo numérico de solos através do comando PONDERE
//declaração
Tematico vrsolo ("solos_tm");
Numerico vrpond ("MNT");
Tabela tabsolo (Ponderacao);
// instanciação
vrsolo = Recuperar (Nome = "solos");
vrpond = Novo (Nome = "solosponderado", ResX = 30, ResY = 30, Escala = 250000, Min = 0, Max =
3);
tabsolo = Novo (Categorialni = "solos_tm",
"ACT1" : 1.8,
"GXa2" : 2.8,
"GXve1" : 3.0,
"LAd1" : 1.0,
"LVAd2" : 1.2,
"PAe1" : 1.9,
"PAe2" : 2.0,
"PAe4" : 2.2,
"PAe7" : 2.5,
"PVd10" : 1.7,
"PVd3" : 1.2,
"PVd4" : 1.7,
"PVd6" : 1.5,
"PVd7" : 1.3,
"PVd8" : 1.8,
"PVd9" : 1.5,
"agua" : 3);
//operação
vrpond = Pondere (vrsolo, tabsolo);
}
```



5.4 Integração dos dados gerados

5.4.1 Mapas síntese de vulnerabilidade à erosão

A partir dos valores da escala de vulnerabilidade/estabilidade atribuídos a cada tema (cobertura vegetal, geologia, geomorfologia e solos) foi possível determinar um valor de vulnerabilidade para cada unidade temática através das operações de álgebra de mapas, conforme discutido no item 3.6.1. Esses valores possibilitaram caracterizar as diferentes unidades de área em um mapa de vulnerabilidade à erosão do município de Rio Branco (Figura 5.11).

Pela análise do mapa constata-se que 71,199% da área do Município pode ser considerada medianamente estável/vulnerável, 15,614% moderadamente estável, 12,419% moderadamente vulnerável e 0,765% vulnerável (Tabela 5.10 e Figura 5.11).

As regiões mais vulneráveis à erosão no Município estão localizadas em áreas com maior grau de dissecação, com solos mais jovens e de intenso uso no município de Rio Branco. Por outro lado, as áreas menos vulneráveis, que ocupam a grande maioria do Município, encontram-se sobre os solos tipo argilossolo como também latossolos.

Tabela 5.10 – Distribuição de classes do mapa síntese de vulnerabilidade à erosão no município de Rio Branco.

Classes de Vulnerabilidade	Área (Km ²)	Área %
Vulnerável	75,17	0,765%
Moderadamente Vulnerável	1221,96	12,419%
Medianamente Estável / Vulnerável	7005,29	71,199%
Moderadamente Estável	1536,26	15,614%
Estável	0,31	0,003%

São consideradas prioritárias para preservação aquelas áreas que apresentam vulnerabilidade mais alta (vulneráveis a moderadamente vulneráveis) e

ainda não foram ocupadas por atividades de uso da terra, ou apresentam estágios avançados de sucessão secundária.

São consideradas áreas prioritárias para recuperação aquelas que apresentam vulnerabilidade mais alta (vulneráveis a moderadamente vulneráveis) e são ocupadas por alguma forma de uso da terra.

As áreas que apresentam vulnerabilidade mais baixa (moderadamente estáveis) são indicadas para o uso e exploração, desde que de acordo com a legislação vigente e mediante a aplicação de práticas conservacionistas

As diferentes combinações de vulnerabilidade à erosão do solo e cobertura vegetal/uso da terra permitem uma hierarquização das prioridades que se constitui nas diferentes classes prioritárias para preservação, recuperação ou uso sustentado.

A interpretação dos dados da Tabela 5.10 permite concluir que:

- 0,765 % da área do Município – ao longo do rio Acre, dentro do perímetro urbano da cidade de Rio Branco, e em fragmentos ao longo do rio Branco, na parte mais a oeste do Município e na porção oriental ocupada por propriedades rurais – corresponde a áreas vulneráveis à erosão ocupadas com diferentes tipos de uso da terra, onde se sugere prioritariamente a recuperação da sua cobertura vegetal (Fotografias 5.8 e 5.9).
- 12,419% da área do Município, também ao longo do rio Acre e do rio Branco, bem como em fragmentos dispersos na porção mais oriental, corresponde a áreas vulneráveis a moderadamente vulneráveis à erosão ocupadas com diferentes tipos de uso da terra, onde se sugere prioritariamente a recuperação da sua cobertura vegetal. Dentro dessa faixa, encontram-se desde áreas vulneráveis à moderadamente vulneráveis cobertas por floresta primária, sucessão secundária ou reflorestamento, que necessitam ser rigorosamente preservadas.

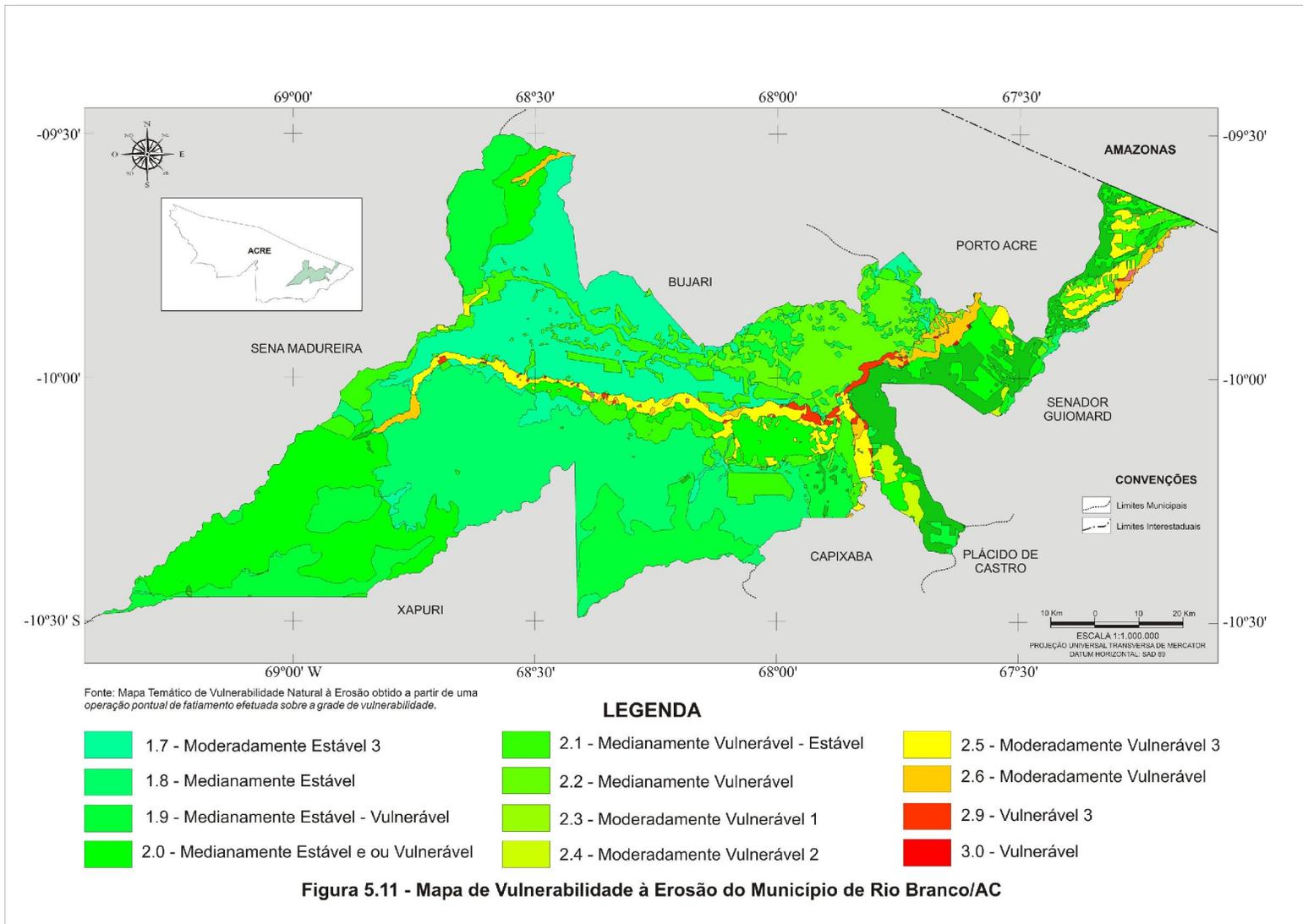
- A maior parte de área do Município, 71,199% ,estendendo-se por toda a área de estudo, corresponde a áreas medianamente estáveis/vulneráveis ocupadas com diferentes tipos de uso da terra, para as quais se sugere prioridade na aplicação de práticas conservacionistas (plantio direto, terraceamento em curva de nível) no uso da terra. Dentro dessa faixa, encontram-se as áreas medianamente estáveis/vulneráveis cobertas por florestas primárias, que estão sendo exploradas via corte seletivo, e necessitam de controle rigoroso do manejo.

- 15,614% da área do Município, na porção central ao sul do rio Branco, corresponde a áreas moderadamente estáveis cobertas por sucessão secundária, sugerindo sua utilização relacionada a ampliação da fronteira agrícola, desde que de acordo com a legislação vigente e com aplicação de práticas conservacionistas. Dentro dessa faixa, encontram-se também as áreas moderadamente estáveis cobertas por floresta primária, que podem ser exploradas, desde que de acordo com a legislação vigente e com aplicação de práticas corretas de manejo florestal.

- Somente 0,003% do Município corresponde a áreas estáveis cobertas por sucessão secundária, que podem ser prioritariamente usadas na ampliação da fronteira agrícola, desde que de acordo com a legislação vigente e com aplicação de práticas conservacionistas. Essas áreas estão localizadas na porção central e ao norte do rio Branco,.

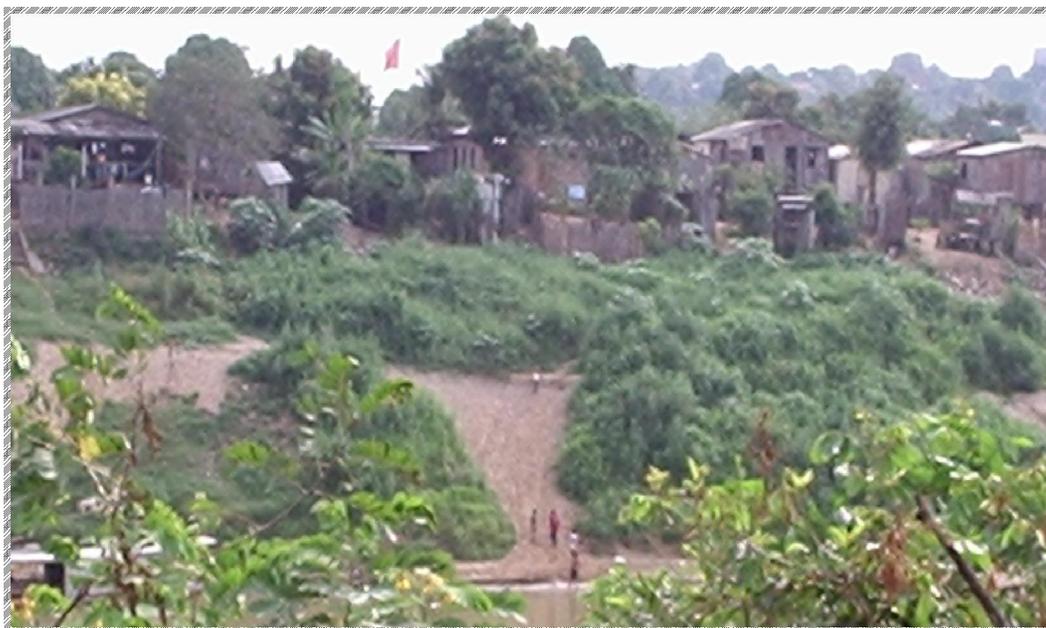
O mapa síntese de Vulnerabilidade à Erosão do Solo do Município de Rio Branco foi executado a partir do seguinte programa em LEGAL:

```
{
// program em LEGAL desenvolvido para o calculo de vulnerabilidade
// Declaracao
Numerico vrgeo ("MNT");
Numerico vrgeom ("MNT");
Numerico vrsolo ("MNT");
Numerico vruso ("MNT");
Numerico vrvulnerab ("MNT");
// Instanciacao
vrgeo = Recuperar (Nome = "geologiaponderado");
vruso = Recuperar (Nome = "vegetacaoponderado");
vrgeom = Recuperar (Nome = "geomorfologiaponderado");
vrsolo = Recuperar (Nome = "solosponderado");
vrvulnerab = Novo (Nome = "vulnerabilidade", ResX=30, ResY=30, Escala = 250000, Min = 0, Max =
3);
//Operacao
vrvulnerab = (vrgeo+vruso+vrsolo+vrgeom)/4;
}
```



Fotografia 5.8 – Área de Preservação Permanente (nascentes) ocupada por pastagens. Fotografada por Regina Chelly em 08.09.2004



Fotografia 5.9 – Área de Preservação Permanente (drenagem) ocupada por residências (favelas). Fotografada por Regina Chelly em 08.09.2004.

CAPÍTULO 6

CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 Possíveis Aplicações

Com base nos resultados obtidos, analisados segundo a aplicabilidade do Geoprocessamento como instrumento de suporte à gestão do território municipal, observando o modelo adotado, pode-se refletir, ou não, as condições mais apropriadas para investimento ou atividades conservacionistas, de acordo com os objetivos a serem alcançados.

Os resultados obtidos com a utilização das ferramentas disponíveis no aplicativo SPRING 4.0, para a definição de áreas sujeitas à erosão do solo do município de Rio Branco, visando à produção de informação apropriada que gere respostas também apropriadas, dependem das variáveis selecionadas para caracterizar a vulnerabilidade de um determinado território à erosão do solo.

Boa parte dos esforços empreendidos no processo visam evitar ou prevenir situações de risco. O mapeamento das áreas de vulnerabilidade ambiental à erosão do solo, de forma mais direta, permite que algumas ações imediatas possam ser dirigidas mais criteriosamente, no que diz respeito aos cuidados com a ocupação do solo. Essa aplicação depende, no entanto, de uma abordagem integradora que envolve grande quantidade e diversidade de informação e diferentes fatores que contribuem para ocupação humana e para melhoria da qualidade de vida da população.

Alguns dos mapas combinados nas avaliações podem ser utilizados à parte para outras aplicações, como:

- atualização do uso atual do solo;
- mudanças de uso e ocupação do solo, em comparação com o uso atual;
- definição das áreas com necessidade de proteção;

- definição de áreas com potencial para outras atividades;
- definição de áreas críticas quanto ao risco de erosão, em comparação com suas características;
- indicações para melhor aproveitamento do território visando a um desenvolvimento sustentado.

O Mapa de Vulnerabilidade à Erosão do Solo pode ser usado como subsídio à política do meio ambiente do estado do Acre, permitindo orientar a ocupação do território, indicando a localização das áreas que precisam ser preservadas, das áreas que devem ser recuperadas e das áreas que podem ser prioritariamente destinadas ao uso para ampliação da fronteira agrícola (em resposta, por exemplo, à irresistível pressão da pecuária e agricultura, ainda incipiente, mas em franco crescimento), uma vez que a intensificação da agricultura pode oferecer vantagens, em termos de produtividade, renda líquida, geração de empregos e impostos.

O Mapa de Vulnerabilidade pode ser usado também como instrumento de fiscalização para impedir novas ocupações, pode ser usado também na orientação à recuperação, e ainda como um guia na tomada de decisões como documento de consulta para aplicação dos dispositivos legais.

O planejamento e a gestão do município de Rio Branco não pode abrir mão do reaproveitamento das pastagens abandonadas, que estão sobre áreas mais estáveis, para assentamento humano. Isso evitaria o desmatamento causado pela abertura de novas áreas, pela dinâmica de ocupação de áreas de floresta primária, para as quais agricultores menos favorecidos migram e as transformam em áreas agrícolas e pastagens.

Os danos causados pela exploração madeireira são consideráveis, pois, além da derrubada de árvores valiosas na abertura de acessos, outras árvores sem valor comercial acabam sendo derrubadas.

Melhor compreendido o ambiente e conhecendo melhor quais ferramentas e informações estão disponíveis, os tomadores de decisão podem melhor enfrentar os

problemas e desafios, atuais e futuros, de gestão ambiental do Município, para alcançar um desenvolvimento sustentável.

6.2 CONTRIBUIÇÕES

6.2.2 Contribuição Conceitual

A análise da vulnerabilidade à erosão do solo do município de Rio Branco é fundamental para a consolidação do conceito de ecodinâmica. A contribuição conceitual do presente estudo, ou seja, a colocação do geoprocessamento como instrumento de integração de informações tem como base o meio ambiente ou a espacialidade dos fenômenos envolvidos, e tem como meta subsidiar a análise ambiental dentro da perspectiva da sustentabilidade, para uma gestão ambiental do Município.

6.2.3 Contribuição Tecnológica

A contribuição tecnológica está diretamente ligada à aplicação das diferentes técnicas interativas e integrativas de geoprocessamento, desde a conversão entre diferentes formatos de arquivos digitais até a integração de planos de informação, o que permite ampla e detalhada análise da informação existente em meio digital, dentro das necessidades da gestão ambiental de um município.

A técnica de obtenção de nova informação via utilização de Álgebra de Mapas tem longo alcance como suporte para a tomada de decisão na seleção de áreas vulneráveis porque permite elencar as melhores alternativas encontradas na combinação dos Planos de Informação, definidas pelos critérios previamente adotados.

O ambiente de decisão, dinâmico e interativo do geoprocessamento com base em SGI permite que o usuário leve em consideração vários ou todos os critérios

simultaneamente e possa refinar o entendimento do problema ou situação pela introdução de novas variáveis ou parâmetros.

A aplicabilidade do geoprocessamento à gestão ambiental do município se dá pela verificação da propriedade do modelo adotado através da análise dos resultados obtidos na definição das áreas de maior vulnerabilidade à erosão do solo. Nem sempre o geoprocessamento é solução. Muitas vezes, uma boa gestão municipal vai depender somente de uma boa política ambiental e administrativa. A importância do geoprocessamento se evidencia, porém, na elaboração de uma base digital municipal atualizada, que dê suporte à agregação de nova informação e sirva de base para a localização de outros fenômenos, objeto de estudos futuros (Veiga, 2002).

Os mapas temáticos, resultantes da análise, poderão servir não só para subsidiar as discussões necessárias para tomada das decisões sobre o desenvolvimento sustentado, como também para elaborar um diagnóstico mais detalhado e dar suporte à gestão ambiental do Município.

A relevância do presente estudo reside na propriedade de analisar a erosão do solo do município de Rio Branco e na integração dos dados digitais básicos, provenientes de diferentes fontes, com a informação gerada durante a análise. Isso levou a deduções lógicas, fundamentadas nos critérios adotados e decorrentes dos resultados das análises, quanto ao uso do geoprocessamento como ferramenta para a gestão ambiental. Através da análise das informações obtidas, foi possível identificar as áreas vulneráveis e criar nova informação digital sobre o Município, de forma a poder selecionar novos tópicos ou pontos a serem trabalhados no futuro.

6.2.4 Contribuição Metodológica

A contribuição metodológica se consolida na elaboração do modelo de análise incorporado à metodologia desenvolvida por Crepani et al.(1996). As contribuições específicas dos outros modelos consultados podem ser constatadas pela associação com o conceito de ecodinâmica de Tricart (1977).

A metodologia aplicada, atribuindo pesos aos mapas temáticos abordados e atribuindo notas às classes de vulnerabilidade aos temas, poderá servir de apoio a equipes de trabalho que necessitem obter um consenso levando em consideração objetivos múltiplos e, por vezes, conflitantes (exemplo: o madeireiro e os ambientalistas, no uso e ocupação/preservação de reservas florestais).

6.2.5 Questões Observadas no decorrer do trabalho

1. Os dados necessários para elaboração dos mapas da presente pesquisa nem sempre estão disponíveis ou podem ser obtidos já em formato digital, e, quando estão, os problemas para utilizá-los (fonte, formatos, etc) são inúmeros.
2. A informação produzida ou convertida para o meio digital pode ser complementada, através das ferramentas dos SIG, em geral, e do SPRING/INPE, em particular, tais como *buffers*, agregação, superposições, combinações, etc.
3. A informação gerada, entretanto, precisa ser checada quanto à sua consistência, assim como os resultados das análises para saber se:
 - São coerentes com a realidade;
 - São de utilidade para o tema pesquisado.
4. A escala de trabalho e a resolução adotada (1:1000.000 e 30m) foram razoáveis para atender às análises pretendidas. Entretanto, escalas maiores e resoluções de 10 m, por exemplo, permitiriam um maior detalhamento.
5. Os Planos de Informação que agregam os resultados necessitam de visualização através do aplicativo SPRING 4.0 /INPE para perfeito entendimento.

CAPÍTULO 7

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com base nos resultados alcançados pode-se concluir que as tecnologias de Geoprocessamento, Sensoriamento Remoto e SIG mostraram-se muito eficientes no planejamento do uso da terra e no ordenamento territorial. Nesse sentido, a metodologia adotada possibilitou a compreensão dos processos formadores da paisagem, bem como das formas de ocupação do território que ocorrem no município de Rio Branco.

Os métodos de processamento de imagens foram indispensáveis na distinção das feições importantes para a interpretação das imagens de satélite utilizadas como “âncora”. As técnicas de contraste aplicadas foram eficientes na reinterpretação dos mapas temáticos. A utilização das imagens-fração, criadas pelo modelo linear de mistura espectral, mostrou-se eficiente na separação de classes de cobertura vegetal e uso da terra, pois proporcionou ao classificador maior eficiência na distinção das classes e feições, poupando tempo na etapa de edição matricial.

O *software* SPRING 4.0/INPE permitiu o pleno desenvolvimento de todas as etapas deste trabalho, a exceção da etapa de classificação, que foi realizada com as unidades temáticas da área estudada, que, após delimitadas, apresentam peculiaridades e características.

No município de Rio Branco predomina a classe de vulnerabilidade à erosão medianamente estável/vulnerável (71,199%) em área ocupada por diferentes tipos de uso da terra, sugerindo prioridades na aplicação de práticas conservacionistas no uso da terra. Da mesma forma, nas áreas pertencentes às classes medianamente estável (15,614%) e estável (0,003%) sugere-se a aplicação de práticas conservacionistas no uso do solo além de possível utilização na ampliação da fronteira agrícola.

Por outro lado, para as áreas pertencentes às classes moderadamente vulneráveis (12,419%) e vulneráveis (0,765%), constatados em locais onde ocorrem depósitos de sedimento inconsolidados de várzea, sugere-se, como prioridade, a recuperação de sua cobertura vegetal e, quando ocorre a cobertura de floresta primária ou secundária, há a necessidade de um controle rigoroso de preservação.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ab'Saber, A. Zoneamento Ecológico da Amazônia: Questões de Escala e Método. Brasília. Inst. de Pesq. Econômica Aplicada – CEPAL/IPEA.1987.

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.

Agenda 21 Brasileira – Bases para discussão / por Washinton Novaes (Coord.) Otto Ribas e Pedro da Costa Novaes – Comissão de Políticas de Desenvolvimento Sustentável e da Agenda 21 Nacional. Brasília MMA/PNUD 2000 p 196.

Almeida-Filho, R.; Shimabukuro, Y. E.; Digital processing of a Landsat-TM time series for mapping and monitoring degraded areas caused by independent gold miners, Roraima State, Brazilian Amazon. *Remote Sensing of Environment*, v 9, p42-50, 2002.

Alves, D. S.; Skole, D. L. Characterizing land cover dynamics using multitemporal imagery. *International Journal of Remote Sensing*, v. 17, n. 4, p. 835-839, 1996.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Dados pluviométricos de postos situados no Estado do Acre [online]. 2000. <www.aneel.gov.br>. Visitado em 20 abril 2004.

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.

Barroso, L. V.; Brown, I. F.; Nepstad, D. C. Dinâmica do uso da terra em assentamentos humanos na Amazônia brasileira, através de sensoriamento remoto e sistema geográfico de informação. In: Congresso Florestal Brasileiro, 7.; Congresso Florestal Panamericano, 1., Curitiba, 19-24 set ., 1993. Anais. Curitiba, 1993, v.2, p. 338-340.

Becker, B. K.; Egler, C. A. G. Detalhamento da Metodologia para Execução do Zoneamento Ecológico-Econômico pelos Estados da Amazônia Legal. Brasília. SAE Secretaria de Assuntos Estratégicos/MMA-Ministério do Meio Ambiente. 1997.

Berry, J.K.; "Fundamental operations in computer-assisted map analysis". *International Journal of Geographical Information Systems*, 1 (2): 119-136, 1987.

Bertrand, G. Paisagem e geografia física global. *Caderno de Ciências da Terra* 15: 1-27, 1971.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Resolução Nº 303, de 20 de março de 2002. Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente. Ministério de Meio Ambiente. [online] Brasília, DF. 13 mai. 2002. < <http://www.mma.gov.br/port/conama/>>. Visitado em 30 abr 2003.

Brondizio, E. S.; Moran, E. F.; Mausel, P.; Wu, Y. Dinâmica da vegetação do Baixo Amazonas: análise temporal do uso da terra integrando imagens Landsat – TM, levantamento florístico e etnográfico. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento remoto, 7., Curitiba, 10-14 maio, 1993. Anais. São José dos Campos, INPE, 1993a, v. 2, p. 38-46.

Brondizio, E. S.; Moran, E. F.; Mausel, P.; Wu, Y. Padrões de assentamento caboclo no baixo Amazonas: análise temporal de imagens de satélite (Landsat TM) para estudos da ecologia humana de populações da Amazônia. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 7., Curitiba, 10-14 maio, 1993. Anais. São José dos Campos, INPE, 1993b, v. 1 p. 16-26.

Burrough, P. A. Principles of geographical information systems for land resources assessment. Oxford: Clarendon Press, 1987. 193 p.

Burrough, P. A. e McDonnell, R. A. Principles of geographical information systems. Spatial Information Systems and Geostatistics. Oxford University Press. 1998. 333p.

Câmara, G.; Freitas, U. Perspectivas em Sistemas de Informação Geográfica. Fator GIS, 3(10), pág. 31 – 34, jul/ago/set 1995.

Câmara, G. Modelos, linguagens e arquiteturas para banco de dados geográficos. São José dos Campos. 265 p. Tese (Doutorado em Computação Aplicada) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1995. 199

Câmara, G.; Medeiros, J. S. Geoprocessamento para projetos ambientais. Tutorial. São José dos Campos. INPE. 1996.

Câmara, G., R.C.M. Souza, U. M. Freitas e J. C. P. Garrido, "SPRING: Integrating Remote Sensing and GIS with Object-Oriented Data Modelling." Computers and Graphics, v.15, n.6, p.13-22, 1996.

Camargo, M.N.; Klamt, E.; Kauffman, J.H. Classificação de solos usada em levantamento pedológico no Brasil. Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, v. 12, n.1, p. 11 a 33, jan./abr. 1987.

Castro, A.G. de Técnicas de sensoriamento remoto e sistemas geográficos de informações no estudo integrado de bacias hidrográficas. Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto. São José dos Campos, INPE, maio 1992. (INPE – 5494 – TDI/511).

CPRM Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – Serviço Geológico do Brasil. Mapa Geológico do Brasil. Geologia, Tectônica e Recursos Minerais do Brasil: Sistema de Informações Geográficas - SIG e Mapas na escala 1:2.500.000 - Brasília : CPRM, 2001. 4 CD-Rom.

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – Serviço Geológico do Brasil, Programa de levantamentos geológicos básicos do Brasil. São Luis SW/NW, folhas SA.23-V e SA.23-Y. Estados do Pará e Maranhão. Escala 1:500.000. – Brasília, 2000.

Crepani, E.; Medeiros, J. S. de.; Hernandez, P.; Florenzano, T.G.; Duarte, V. Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicado ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento Territorial. São José dos Campos. INPE, 1996.80 P.

Crepani, E.; Medeiros, J. S. de.; Hernandez, P.; Florenzano, T.G.; Duarte, V.; Barbosa, C. C. F. Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento Aplicado ao Zoneamento Ecológico-Econômico e ao Ordenamento Territorial. São José dos Campos. SAE/INPE. 2001.

Christofoletti, Antonio. Geografia física. Boletim de Geografia Teorética. Rio Claro, 1981.

Christofoletti, Antonio. Análise de sistemas em geografia: introdução. São Paulo: HUCITEC, 1979.

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.

Crosta A.P. Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto. Campinas: IG/UNICAMP, 1992. 170p.

Chuvieco, E. Teledetección Ambiental La Observación de la Tierra desde el espacio. Barcelona, Ariel Ciência, 2002, 586 p. D'Alge, Registro de imagens. São José dos Campos. Notas de aula. 2001. 3p.

Davison, G. J. Ground control pointing and geometric transformation of satellite imagery. International Journal of Remote Sensing, 7(1): 65-74, Jan. 1986.

De Biase, M. A carta clinográfica: os métodos de representação e sua confecção. Revista do Departamento de Geografia da USP, (6):45-60, 1992.

Duarte, V; Moreira, M. A.; Rudorff B. F. T.; Shimabukuro Y. E. (2001) Banco de informações agrícolas do Município de Itápolis – SP, utilizando imagens de satélite e Sistema de Informações Geográficas. In: X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Foz do Iguaçu, Paraná, 21 a 26 de Abril de 2001.

Duarte, V. Curso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico econômico [CD-ROM]. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 8.,

Salvador, 1996. Anais. São Paulo: Image Multimídia, 1996. Seção de Comunicações Técnico-Científicas.

EMBRAPA, Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos, (Rio de Janeiro, RJ), Definição e notação de horizontes e camadas do solo, Rio de Janeiro, 1988, (EMBRAPA – SNLCS, Documentos, 3).

EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos (Rio de Janeiro, RJ) Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Embrapa Solos, 412p. : il., 1999.

Epiphânio, J. C. N. & Formaggio, A. R. Abordagens de uso de número digital e de reflectância em sensoriamento remoto com dados de satélites. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 5., Natal, 1988. Anais. São José dos Campos, INPE, 1988, v. 2, p. 400-405.

ERDAS, Inc. *Software* ERDAS IMAGINE 8.5. Atlanta, Georgia, 2001.

Ferri, M. G.; Vegetação brasileira, Belo Horizonte: Coleção Reconquista do Brasil (Nova Série) V. 26, Ed Itatiaia, 1980.

FIEAC. Federação da Industrias do Estado do Acre. Cadastro Geral de Industrias do Estado do Acre, 2004.

Fidalgo, E.C.C.; Crepani, E.; Duarte, V.; Shimabukuro, Y.E.; Silva Pinto, R.M.; Dousseau, S.L. Mapeamento do Uso e Cobertura Atual da Terra para Indicação de Áreas Disponíveis para Reservas Legais: Estudo em Nove Municípios da Região Amazônica. In: Revista Árvore (Trabalho aceito aguardando publicação), 2003.

Florenzano, T.G. Avaliação de dados MSS-LANDSAT-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.

Florenzano, T. G. Delimitação e caracterização das unidades geomorfológicas de uma área do semi-árido de Pernambuco – Pe, São José dos Campos, 1999. Comunicação pessoal.

Fonseca, L.M.G. Processamento digital de imagens. Rio de Janeiro. Apostila: 2000. 48p.

Galvão, A. S.; Fronteira, Paisagem e Gestão Ambiental na Microrregião de Brasília – Acre, Brasil. São Paulo:199 p. USP. Tese de Doutorado (Doutor em geografia física) – Universidade de São Paulo, 2002.

Gomes, A. R. Avaliação da vulnerabilidade à perda de solo em região semi-árido utilizando sensoriamento remoto e geoprocessamento – Área piloto de Parnamirim

(PE). São José dos Campos: 160 p. INPE. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2000.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual técnico da vegetação brasileira. Manuais Técnicos em geociências. nº 1, Rio de Janeiro, 1992.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual técnico de geomorfologia. Manuais Técnicos em geociências. nº 5, Rio de Janeiro, 1995.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Manual técnico de uso da Terra. Manuais Técnicos em geociências. nº 7, Rio de Janeiro, 1999.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Demográfico [online] 2000. <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2000/default.shtm>>. Visitado em 10 de maio de 2004.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Levantamento Sistemático da Produção Agrícola – LSPA, Grupo de Coordenação de Estatística Agropecuárias – GCEA/AC, Rio Branco - Acre, 2004.

IDAF – Instituto de Defesa Animal do Acre. Cadastro de Controle do Rebanho Bovido ao Estado do Acre, 2004.

IMAC - Atlas Geográfico Ambiental do Acre, Núcleo de Cartografia, , Rio Branco 1ª edição (1991).

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Fundamentos de Geoprocessamento – Tutorial – SPRING, Maio 2000.

Lillesand, T. M.; Kiefer, R. W. Remote sensing and image interpretation. New York: J. Wiley, 1994.

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

Markham, B. L. & Barker, J. L. Landsat MSS and TM post-calibration dynamic ranges, exoatmospheric reflectances and At-Satellite temperatures. EOSAT Landsat Technical Notes, Aug. 1986. 21p.

Mather, P. M. Computer of remotely-sensed images: an introduction. Chichester: John Wiley & Sons, 1987. 352p.

Medeiros, J. S. Banco de dados geográfico e redes neurais artificiais: tecnologias de apoio à gestão do território. São Paulo: 221p. Tese (Doutorado em Geografia). USP/FFLCH, IG, 1999.

Meijerink, A.M.J. Data acquisition and data capture through terrain mapping units. ITC Journal, n.1, 1988, p. 23-44.

Mesquita, C. C.; Paiva, R. A., Estudos Básicos das Precipitações do Acre. Rio Branco, 1995.

Moran E. F.; Brondizio, E.; Mausel, P.; Li, Y.H., Assinaturas espectrais diferenciando etapas de sucessão secundária no leste amazônico. Anais do VII Simpósio de Sensoriamento Remoto, 1993.

Moran E. F.; Brondizio, E.; Mausel, P.; Wu, Y. Integrating Amazonian vegetation, landuse, and satellite data. BioScience. V. 44, n. 5 p. 329-338, 1994.

Moreira, M. A. Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação. São José dos Campos: INPE, 2001. 250 p.

Mota, M; Sassagawa, H. S. Y.; Medeiros, J. S., Integração de Dados Ambientais Através de Álgebra de Mapas Caso de Estudo: Geração da Vulnerabilidade Ambiental do Município de Assis Brasil – Acre. São José dos Campos, 1996.

Nascimento, J.A.; Aspectos Geomórficos Naturais e a Questão ambiental da Bacia de Drenagem do Rio Acre, Amazônia - Brasil. Florianópolis - SC:108 p. UFSC. Tese de Mestrado (Mestre em Geografia) – Universidade Federal de Santa Catarina, 1995.

Novo, E.M.L.M.; Sensoriamento Remoto: Princípios e aplicações. São Paulo, 1992,Ed. Edgard Blücher, 308p. Núcleo de Hidrometeorologia – NHM [online] Secretaria Executiva da Ciência e Meio Ambiente e Tecnologia – SECTAM, [online] Fev. 2003.

Pinto, J. H. D.; Santos, J. R.; Chiang, L.C.; Niero, M.; Pinto, S. A. F.; Carvalho, V. C.; Levantamento integrado dos recursos naturais da área do Parque Nacional da Amazônia (Tapajós), Baseado nas Imagens MSS do Landsat. INPE São José dos Campos. (INPE- 1577-RPE/074).1979.

Plano diretor de Desenvolvimento Urbano do Município de Rio Branco – Acre. Prefeitura Municipal de Rio Branco, 1986.

Prado, H. do -Solos do Brasil: gênese, morfologia, classificação, levantamento. 2. ed. rev.e ampl. Piracicaba. 220 p. : il. 2001.

RADAMBRASIL. Levantamento de recursos naturais. Folhas SC. 19 Rio Branco: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação uso potencial da terra. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral. Rio de Janeiro: Divisão de Publicação, p. 464, 1976.

Richards, J.A. Remote sensing digital image analysis: an introduction. Berlin: Springer-Verlag, 1986. 218p.

Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 48 (5): 781-784, May, 1982.

Ross, J.L.S. O registro cartográfico dos fatos geomorfológicos e a questão da taxonomia do relevo. Revista do Departamento de Geografia, v.6, p.17-30, 1992.

Ross, J.L.S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. Revista do Departamento de Geografia, v.8, p.63-74, 1994.

Ross, J.L.S. Análise e síntese na abordagem geográfica da pesquisa para o planejamento ambiental. Revista do Departamento de Geografia, v.9, p.65-75. 1995.

Santos, A. P.; Novo, E. M. L. M.; Duarte, V. Toledo, F. L. Exemplo de Aplicação de dados do Sistema Landsat, no Estudo das Relações entre Compartimentação Topográfica e Qualidade de Pastagens no Município de Paragominas (Pa), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE São José dos Campos – SP, 1980.

Santos, J. R. Análise automática de dados do sensor MSS/Landsat para avaliação de áreas queimadas na instalação e conservação de projetos agropecuários. São José dos Campos, INPE, fev. 1985, 10 p. (INPE-3417-PRE/683).

Santos, J. R.; Santos, A.P.; Aquino, L. C. S. Avaliação da cobertura vegetal e uso da terra nas áreas programa do PDRI-AM, através da técnica de sensoriamento remoto. São José dos Campos, INPE, abr. 1983. 68 p. (INPE--NTE/199).

Schowengerdt, R. A. Techniques for image processing and classification in remote sensing. Orlando: Academic Press, 1983. 249p.

Shimabukuro, Y. E.; Santos, J. R.; Aquino, L. C. S. Vegetation survey in Amazonia using Landsat data. São José dos Campos, INPE, May 1982, 7 p. (INPE-2409-PRE/118).

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

Shimabukuro, Y. E., and 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, 29, 16-220, 1991.

Shimabukuro, Y. E.; Novo, E.M.; Ponzoni, F.J. Índice de vegetação e modelo linear de mistura espectral no monitoramento da região do Pantanal. Revista de pesquisa agropecuária brasileira. V.33, Número Especial, p 1729-1737, out. 1998.

Soares, P. C. & Fiori, A. P. Lógica e Sistemática na Análise e Interpretação de Fotografias Aéreas em Geologia. Not. Geomorfol., Campinas 16 (32) : 71 – 104, Dez. 1976.

Stone, T. A.; Brown, I. F.; Woodwell, G. M. Estimation by remote sensing of deforestation in central Rondônia, Brazil. *Journal of Forest Ecology and Management*, 38(1): 291-304, 1991.

Souza, C.J.S. Carta de Vulnerabilidade à erosão como subsídio ao zoneamento ecológico-econômico em área intensamente antropizada. São José dos Campos: 172p. (INPE-7030-TDI/662). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1999.

Souza, M. J. L. de. Planejamento Integrado de Desenvolvimento. Natureza, validade, limites. nº 10, janeiro-julho 92. São Paulo: Terra Livre-AGB, 1992.

Tardin, A. T.; Santos, A. P.; Lee, D. C. L.; Maia, F. C. S.; Mendonça, F. J.; Assunção, G. V.; Rodríguez, J. E.; Abdón, M. M.; Novaes, R. A.; Chen, S.C., Duarte, V.; Shimabukuro, Y. E. 1979. Levantamento de áreas de desmatamento na Amazônia Legal através de imagens do satélite Landsat., São José dos Campos, INPE, 1979. (INPE-1411- NTE/142).

Tardin, A. T.; Cunha, R. P.; Avaliação da alteração da cobertura florestal na Amazônia legal utilizando sensoriamento remoto orbital. São José dos Campos, INPE, 1989, (INPE-5010-RPE/607).

Tomlin, D. Geographic information systems and cartographic modeling. New York: Prentice Hall, 1990. 249 p. Toniolo, A. & Uhl, C. Perspectiva econômica e ecológica da agricultura na Amazônia Oriental. – A evolução da fronteira amazônica. Oportunidade para um desenvolvimento sustentável, IMAZON, 1990.

Tricart, J. Ecodinâmica. Rio de Janeiro: FIBGE/SUPREN, 1977, 91p.

Uhl, C. & Almeida, O. Desafio da exploração sustentada na Amazônia. – A evolução da fronteira amazônica. Oportunidade para um desenvolvimento sustentável, IMAZON, 1996.

Valeriano, M. M., Programação de cálculo da declividade em SIG pelo método de vetores ortogonais, *Espaço e Geografia*, V.5, nº1 p 69-85, 2002.

Valério Filho, M.; Epiphanyo, 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).

Veiga, T. C. Um Estudo de Geoplanejamento para o Município de Macaé – RJ e seu entorno: contribuição do geoprocessamento na identificação de potencial turístico / Teresa Cristina Veiga. – Rio de Janeiro – RJ: Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, 2002.

Veneziani, P.; Anjos, C. E. Metodologia de interpretação de dados de Sensoriamento remoto e aplicações em geologia. São José dos Campos: INPE, 1982, 61. (INPE – 227 – MD/014).

Veríssimo, A.; Barreto, P.; Mattos, M.; Tarifa, R.; Uhl, C.; Impactos da atividade madeireira e perspectivas para manejo sustentável da floresta numa velha fronteira da Amazônia: o caso Paragominas – A evolução da fronteira amazônica. Oportunidade para um desenvolvimento sustentável, IMAZON, 1996.

Xavier, da Silva, J. Geoprocessamento e Análise Ambiental. In: Revista Brasileira de Geografia, volume 54, nº 3. Rio de Janeiro, 1992.

Xavier, S. J. Chega de “ismos” no ambientalismo. In: Cadernos de Geociências, nº.10, Janeiro, 1995. Rio de Janeiro: IBGE, Diretoria de Geociências, Opinião.
ZEE - Zoneamento Ecológico Econômico do Estado do Acre. Zoneamento ecológico-econômico: recursos naturais e meio ambiente – documento final. Rio Branco: SEMA, 2000.

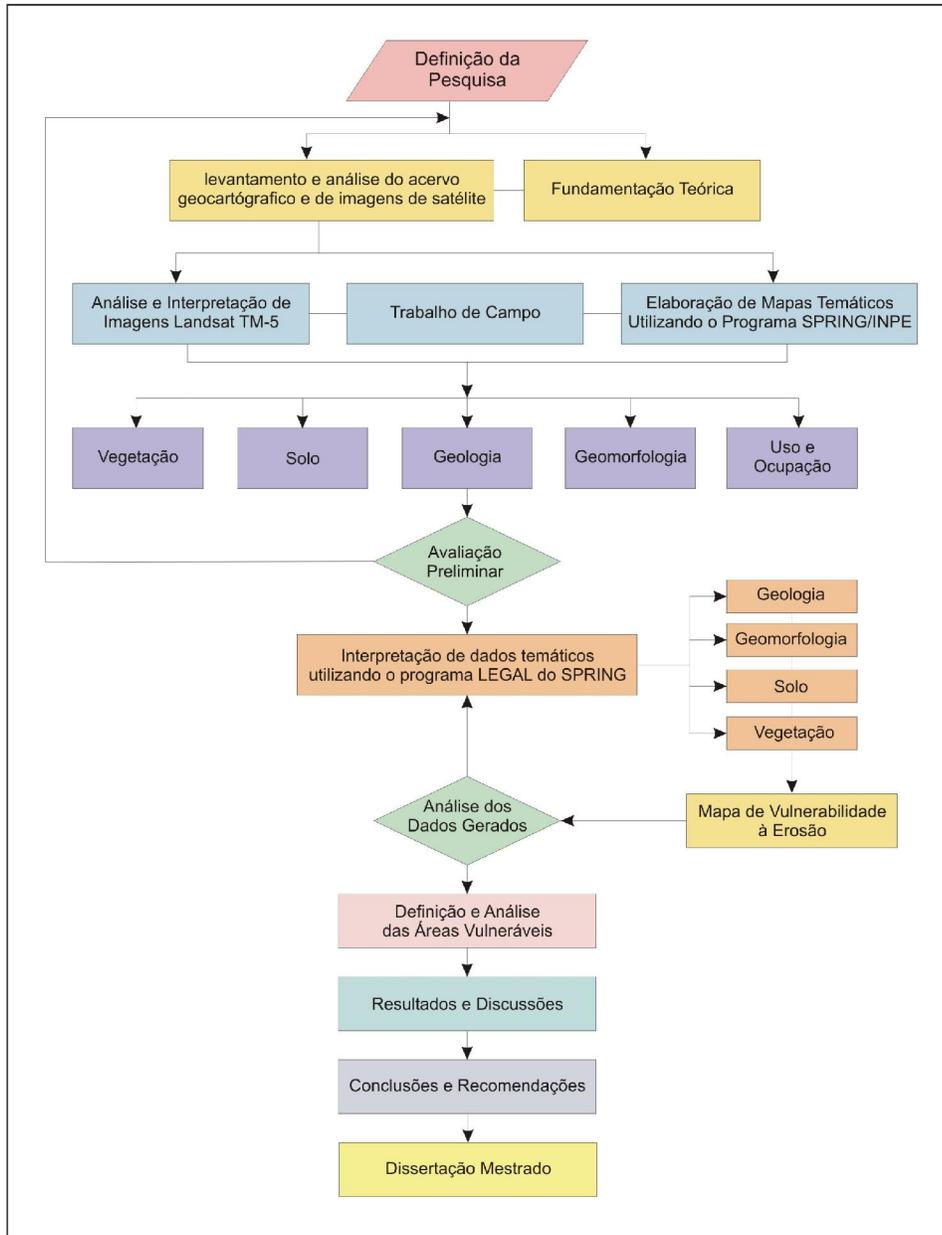
Zonneveld, I. S. Land evaluation and land (scape) science: lectures on land (scape) science, land (scape) survey, and evaluation (pragmatic land classification). 2. ed. Enschede: ITC, 1979. 134p.

Zonneveld, I.S. The land unit – a fundamental concept in landscape ecology and its applications. Landscape Ecology, v.3, n. 2, p.67-86, 1989.

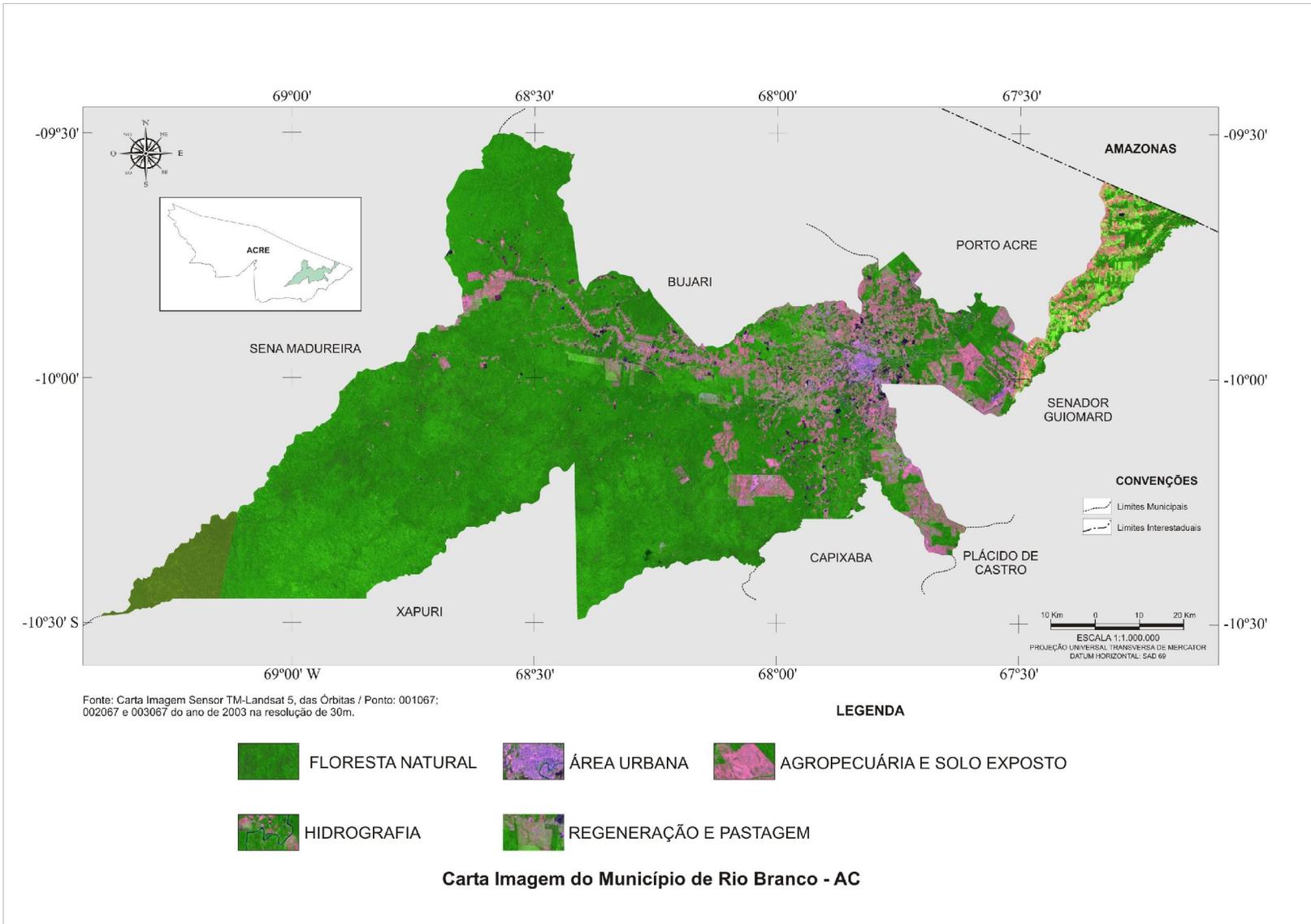
APÊNDICE I – GERAIS

APÊNDICE – I.1

Fluxograma Metodológico da Pesquisa



APÊNDICE – 12



Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)