



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE-12295-TDI/987

**AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE À PERDA DE SOLO EM
REGIÃO SEMI-ÁRIDA UTILIZANDO SENSORIAMENTO
REMOTO E GEOPROCESSAMENTO – ÁREA PILOTO DE
PARNAMIRIM (PE)**

Alessandra Rodrigues Gomes

Dissertação de Mestrado do Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto,
orientada pelos Drs. Vitor Celso de Carvalho e Edison Crepani, aprovada em
27 de setembro de 2000.

528.711.7 (812/813 A/Z)

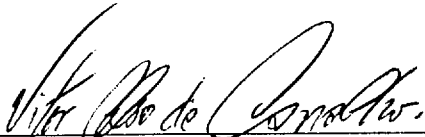
GOMES, A. G.

Avaliação da vulnerabilidade à perda de solo em região semi-árida utilizando sensoriamento remoto e geoprocessamento – área piloto de Parnamirim (PE).
160p. – (INPE-

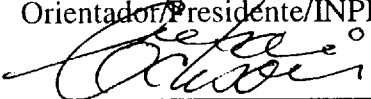
1.Sensoriamento remoto. 2.Geoprocessamento.
3.Interpretação de mapas. 4.Zoneamento ecológico-econômico. 5.Semi-árido. 6.Sistemas de Informação Geográfica (SIG). 7.Álgebra. 8.Mapas. 9.Mapas temáticos. 10.Interpretação de imagens. 11.Meio ambiente físico. 12.Parnamirim (PE). I.Título.

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


Dr. Vitor Celso de Carvalho


Orientador/Presidente/INPE-SJC/SP

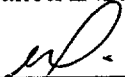
Dr. Edison Crepani


Orientador/INPE-SJC/SP

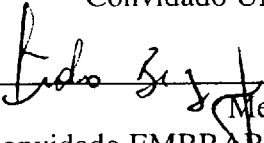
Dr^a Tereza Galloti Florenzano


Membro da Banca/INPE-SJC/SP

Dr. Mário Valério Filho


Membro da Banca
Convocado UNIVAP-SJC/SP

Dr. Iedo Bezerra Sá


Membro da Banca
Convocado EMBRAPA/CPATSA-PE

Candidata: Alessandra Rodrigues Gomes

São José dos Campos, 27 de setembro de 2000.

*A todos aqueles que contribuíram
para a felicidade deste momento...*

Dedico

AGRADECIMENTOS

Aos Doutores Vitor Celso de Carvalho e Edison Crepani pela amizade, compreensão e orientação que foram de imensa importância para a conclusão deste trabalho e para o meu aprendizado pessoal e profissional.

A meus pais Élgio e Irene pela torcida fundamental!!! À minha irmã Patrícia, uma lutadora, pelo incentivo!!

À única pessoa com quem tenho um compromisso, Érico Pagotto, pela ajuda em todas as fases e pelas alegrias de todas as horas... sempre!!!! Acreditei!!! >:)

Ao Dr. José Simeão de Medeiros e sua família, pela irrestrita confiança e apoio em todas as fases da minha pesquisa!!!

Ao Dr. João Roberto do Santos, pelo, incessante e até cansativo incentivo (“e a tese?”), além da amizade e carinho gratuitos.

À Etel, por me adotar, tratando-me como filha... incentivando e cobrando o trabalho, mas sempre com muito carinho!!!

Ao casal Maldonado, em especial, pelos constantes incentivos e pela belíssima amizade conquistada. Consegui, viu? >:)

Aos amigos da turma de 97 pelo apoio e amizade conquistados desde a época dos créditos. Quem sair por último, apague a luz, certo?

Ao grupinho seletivo de amigos com gostos refinados, Dani, Lú, Mócra, Lú e Bel, pelas horas de descontração e alegria.

À Cassya pela ajuda nos últimos detalhes e incentivo de sempre.

Ao pessoal da DPI/INPE: Cartaxo, Júlio, Diehl, Guaracy, Corina, Sidney, Missae, Eymar, Silvana, João Pedro e Fernando pelas constantes ajudas àquelas dúvidas que parecem que só os usuários encontram...

Às funcionárias da biblioteca do INPE, Suelena, Sílvia, Marciana, Deise, Juliano, Fernando e Alessandra pela paciência e carinho.

Ao Francisco Macena da ONG CAATINGA, pelo imenso empenho e alegria durante o trabalho de campo.

Ao CNPq e CAPES pelo apoio financeiro durante a execução deste trabalho.

À ANEEL e CPTEC/INPE pelo fornecimento de dados.

À EMBRAPA/CPATSA pelo total apoio durante o trabalho de campo e coleta de informações sobre a área de estudo.

Ao INPE pela oportunidade de atravessar mais uma etapa em minha carreira profissional.

RESUMO

Objetivando a necessidade de se implementar leis ou normas para utilização do solo a metodologia elaborada para o Zoneamento Ecológico-Econômico (ZEE) visa definir áreas com maior ou menor suscetibilidade à ocupação, seguindo critérios do meio físico e da sócio-economia. Deste modo, este trabalho procura aplicar a metodologia para a geração de um mapa de vulnerabilidade à perda de solo, parte ecológica do ZEE, em uma região do estado de Pernambuco e avaliar o potencial de se analisar a paisagem de uma forma integrada. Esta metodologia utiliza imagens orbitais Landsat/TM recentes e informações sobre a área (Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação, Clima e Uso do solo) para a compreensão dos processos de transformação da paisagem e sistemas de informação geográfica para integrar e manipular informações georreferenciadas. Com isso, foi possível apresentar um mapa com classes de vulnerabilidade à perda de solo e avaliar a metodologia aplicada em ambiente semi-árido.

**SOIL LOSS VULNERABILITY VALUATION IN SEMI-ARID REGION USING
REMOTE SENSING AND GEOPROCESSING – STUDY CASE IN
PARANAMIRIN (PE)**

ABSTRACT

Aiming the implement rules or laws of soil utilization, the method planned to ecological-economic zoning (ZEE) ranges the susceptibility to human occupation, according to the physic and social-economic environment. This work aim to develop a methodology to map the vulnerability to soil losses, an ecological part of ZEE, in a region of Pernambuco State and study the potential to analyze the landscape in a integrated form. This methodology uses Landsat/TM images and thematic information available (Geology, Geomorphology, Pedology, Vegetation, Climate and the Land Use) to model the landscape formation, as well as geographic information systems to integrate and manipulate geo-referenced information. It was possible to produce a map with classes of vulnerability to soil losses and evaluate this method in semi-arid environment.

SUMÁRIO

	Pág.
LISTA DE FIGURAS	
LISTA DE TABELAS	
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	21
CAPÍTULO 2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	25
2.1 – MÉTODOS DE ANÁLISE DA PAISAGEM	25
2.2 - Metodologia para a Geração da Carta de Vulnerabilidade à Perda de Solo .	28
2.2.1 - Análise e Interpretação das Imagens Orbitais	29
2.2.1.1 – Elaboração do Mapa de Unidades Territoriais Básicas (UTBs)	30
2.2.1.1.1 – Unidades de paisagem natural (UPNs)	30
2.2.1.1.2 – Polígonos de intervenção antrópica	31
2.2.2 - Associação do mapa de UTBs aos dados temáticos	31
2.2.3 - Avaliação da vulnerabilidade à perda de solo de cada tema dentro das UTBs	33
2.3 - Sensoriamento Remoto em Região Semi-Árida	36
2.4 - Processamento Digital de Imagens Orbitais	41
2.4.1 - Pré-processamento	42
2.4.2 – Realce de Imagens	44
2.5 – Sistema de Informação Geográfica (Sig)	45
2.5.1 – Objetivos e arquitetura dos SIGs	45
2.5.2 – Representação e formato de dados tratados em SIGs	46
2.5.3 – Álgebra de mapas	48
2.5.3.1 – Operações pontuais	49
2.5.3.2 – Operações de vizinhança	50
2.5.3.3 – Operações zonais	51
2.5.4 – O SIG SPRING	52
2.5.4.1 – Banco de dados do SPRING	52
2.5.4.2 – Programa LEGAL	53

CAPÍTULO 3 – ÁREA DE ESTUDO	55
3.1 - Localização Geográfica	55
3.2 - Geologia	78
3.2.1 – Contexto Regional	58
3.2.2 – Contexto Local	59
3.3 – Geomorfologia	62
3.3.1 – Contexto Regional	62
3.3.2 – Contexto Local	63
3.4 – Pedologia	64
3.4.1 – Contexto Regional	64
3.4.2 – Contexto Local	65
3.5 – Vegetação.....	69
3.5.1 – Contexto Regional	69
3.5.2 – Contexto Local	71
3.6 – Uso do Solo	73
3.6.1 – Contexto Regional	73
3.6.2 – Contexto Local	73
3.7 – Clima	74
3.7.1 – Contexto Regional	74
3.7.2 – Contexto Local	77
CAPÍTULO 4 – METODOLOGIA	79
4.1 – Fase I: Aquisição de Dados	81
4.1.1 – Seleção de materiais	81
4.1.1.1 – Dados orbitais	81
4.1.1.2 – Dados temáticos	82
4.1.1.3 – Material cartográfico	83
4.1.1.4 – Dados climáticos	83
4.1.2 – Definição dos equipamentos e aplicativos	83
4.2 – Fase II: Banco de Dados Geo-Referenciado	84

4.2.1 – Criação do modelo conceitual	84
4.2.2 - Entrada de dados	85
4.2.2.1 – Dados orbitais	86
4.2.2.2 – Dados temáticos	86
4.2.2.3 – Material cartográfico	87
4.2.2.4 – Dados climáticos	88
4.3 – Fase III: Manipulação e Análise dos Dados	88
4.3.1 – Interpretação das imagens	88
4.3.1.1 – Aplicação de técnicas de realce	89
4.3.1.2 – Delimitação das unidades de paisagem natural e polígonos de ação antrópica	89
4.3.3 – Revisão e ajustes dos mapas	90
4.3.3.1 – Mapa de Geologia	90
4.3.3.2 – Mapa de Geomorfologia	90
4.3.3.3 – Mapa de solos	93
4.3.3.4 – Mapa de cobertura vegetal e uso do solo	93
4.3.3.5 – Mapa de intensidade pluviométrica	93
4.3.4 – Trabalho de campo	96
4.3.5 – Geração do mapa cadastral	97
4.4 – Fase IV: Análise Ecodinâmica	99
4.4.1 – Avaliação da morfogênese/pedogênese	99
4.4.1.1 – Litologia	100
4.4.1.2 – Geomorfologia	101
4.4.1.3 – Solos	103
4.4.1.4 – Cobertura Vegetal e uso do solo	105
4.4.1.5 - Clima	105
4.4.2 – Álgebra de mapas	106
4.4.2.1 – Geo-campos temáticos	106
4.4.2.2 – Geo-campos numéricos	109

4.5 – Fase V: Mapa de vulnerabilidade à perda de solo	112
CAPÍTULO 5 – RESULTADOS E DISCUSSÃO	117
5.1 – Processamento Digital das Imagens Orbitais	117
5.1.1 – Registro de imagens	117
5.1.2 – Aplicação de técnicas de realce	117
5.2 – Interpretação das Imagens	119
5.2.1 – Coleta de dados em trabalho de campo	119
5.2.2 – Delimitação das UTBs	123
5.3 – Manipulação e ajustes dos Mapas	124
5.3.1 – Interpolações e análises dos mapas numéricos	124
5.3.1.1 – Escolha da grade para representar a amplitude altimétrica	124
5.3.1.2 – Geração da grade para representar a intensidade pluviométrica	126
5.3.2 – Complementação e ajustes dos mapas temáticos	128
5.4 – Análise da vulnerabilidade da área de estudo	130
5.4.1 – Definição dos valores de vulnerabilidade/estabilidade para cada tema	130
5.4.1.1 – Litologia	130
5.4.1.2 – Geomorfologia	131
5.4.1.3 – Solos	136
5.4.1.4 – Cobertura vegetal e uso do solo	138
5.4.1.5 – Clima	140
5.5 – Finalização da montagem do banco de Dados.....	142
5.5.1 – Mapa de vulnerabilidade à perda de solo.....	142
5.5.2 – Bancos de Dados Geo-Relacional.....	143
CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	145
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	149
APÊNDICE A - BANCO DE DADOS.....	163

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
2.1 - Representação esquemática dos níveis hierárquicos do método CSIRO..	27
2.2 - Fluxograma da metodologia para a elaboração da carta de vulnerabilidade à perda de solo	29
2.3 - Modelo esquemático do cálculo final para a vulnerabilidade à perda de solo das UTBs	34
2.4 - Comportamento espectral dos principais alvos com indicação das faixas espectrais captadas pelo sensor TM/Landsat	36
2.5 - Etapas de processamento digital	42
2.6 - Esquema do registro imagem-imagem	43
2.7 - Variação de contraste e alteração no histograma	45
2.8 - Arquitetura de um Sistema de Informação Geográfica	46
2.9 - Operações geográficas entre geo-campos	49
3.1 - Localização da área de estudo	56
3.2 – Malha viária e rede de drenagem da área de estudo	57
3.3 – Exemplo da concentração de veios de quartzo encontrados na área de estudo (linhas claras na fotografia)	60
3.4 – Visão esquemática dos veios de quartzos e da formação do pavimento detrítico	61
3.5 – Representação das massas de ar que atuam sob o nordeste brasileiro	76
3.6 - Diagrama ombrotérmico do clima da área de estudo	78
4.1 – Fluxograma metodológico	80
4.2 – Fluxograma da entrada de dados orbitais (imagem Landsat/TM5)	86
4.3 – Fluxograma de entrada de dados temáticos	86
4.4 – Fluxograma de entrada de dados provenientes do material cartográfico	87
4.5 – Fluxograma de entrada de dados de precipitação pluviométrica	88
4.6– Exemplo do cálculo da dimensão interfluvial para uma unidade	

geomorfológica	92
4.7 – Distribuição dos postos pluviométricos escolhidos para análise	94
4.8 – Modelo da ficha utilizada durante o trabalho de campo	97
4.9 – Exemplo de um banco de dados relacional com consultas sobre os objetos	99
4.10 – Operações entre geo-campos temáticos	107
4.11 – Operações entre geo-campos numéricos	110
4.12 – Esquema para a geração da carta final de vulnerabilidade à perda de solo	115
5.1 – Técnicas e composições utilizadas para a interpretação das imagens orbitais ...	118
5.2 – Distribuição dos pontos de campo ao longo das estradas e caminhos	119
5.3 – Visualização dos principais pontos escolhidos para checagem em campo	120
5.4 – UTBs extraídas a partir da interpretação da imagem orbital	123
5.5 – Grades retangulares e triangulares geradas para a análise da amplitude altimétrica.	125
5.6 – Grades retangulares e triangulares geradas para a análise da intensidade pluviométrica	127
5.7 – Alterações realizadas nos mapas temáticos	129
5.8 – Mapa de Litologias	130
5.9 – Mapa de morfografia	132
5.10 – Mapa de amplitude altimétrica	133
5.11 – Mapa de dimensão interfluvial	135
5.12 – Mapa de solos	137
5.13 – Mapa de vegetação e uso do solo	139
5.14 – Mapa de intensidade pluviométrica	141
5.15 – Classes de vulnerabilidade à perda de solo para a área de estudo	143
5.16 – Exemplo do anco de dados e possibilidades de consulta para cada UTB	144

LISTA DE TABELAS

	Pág.
2.1 - VALORES ATRIBUÍDOS ÀS UNIDADES ESTÁVEIS, INSTÁVEIS E INTERMEDIÁRIAS	32
2.2 - CARACTERÍSTICAS AVALIADAS PARA MEDIR A ESTABILIDADE /INSTABILIDADE DAS UTBs	33
2.3 - REPRESENTAÇÃO DA VULNERABILIDADE E/OU ESTABILIDADE DAS UTBs	35
2.4 - CARACTERÍSTICAS DOS DADOS TRATADOS EM SIGs	48
2.5 - OPERAÇÕES PONTUAIS MAIS UTILIZADAS	50
2.6 - OPERAÇÕES DE VIZINHANÇA MAIS UTILIZADAS	51
2.7 - OPERAÇÕES ZONAIS MAIS UTILIZADAS	51
3.1 - DESCRIÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS GERAIS DAS ROCHAS ENCONTRADAS NA ÁREA DE ESTUDO	60
3.2 - FORMAS DE RELEVO ENCONTRADAS NA ÁREA DE ESTUDO	64
3.3 - VARIAÇÃO DE ALGUMAS CARACTERÍSTICAS DOS SOLOS NORDESTINOS DE ACORDO COM A FORMAÇÃO GEOLÓGICA ...	65
3.4 - PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS E FORMAS DE UTILIZAÇÃO DOS SOLOS ENCONTRADOS NA ÁREA DE ESTUDO	66
3.5 - CARACTERÍSTICAS DAS TIPOLOGIAS VEGETAIS ENCONTRADAS NA ÁREA DE ESTUDO	72
3.6 - PRINCIPAIS FAMÍLIAS E ESPÉCIES VEGETAIS ENCONTRADAS NA ÁREA DE ESTUDO	72
3.7 - CARACTERÍSTICAS DAS CLASSES DE USO DO SOLO ENCONTRA -DAS NA ÁREA DE ESTUDO	74
4.1- DESCRIÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS	81
4.2 - CARACTERÍSTICAS DOS DADOS ORBITAIS UTILIZADOS NO TRABALHO	82

4.3 - DESCRIÇÃO DO MODELO DE DADOS UTILIZADO NESTE TRA – BALHO	85
4.4 - TÉCNICAS DE REALCE APLICADAS ÀS IMAGENS ORBITAIS	89
4.5 - ATRIBUTOS DAS UTBs	98
4.6 - VALORES DE VULNERABILIDADE E ESTABILIDADE DE DIFE- RENTES LITOLOGIAS	100
4.7 - VALORES DE VULNERABILIDADE PARA A AMPLITUDE INTER - FLUVIAL	101
4.8 - VALORES DE VULNERABILIDADE PARA A AMPLITUDE ALTIMÉ- TRICA	102
4.9 - MATRIZ DOS ÍNDICES MORFOMÉTRICOS	103
4.10 - VALORES DE ESTABILIDADE E VULNERABILIDADE PARA TIPOS DE SOLO	104
4.11 - VALORES DE VULNERABILIDADE E ESTABILIDADE PARA CLASSES DE COBERTURA VEGETAL E USO DO SOLO.....	105
4.12 - ESCALA DE EROSIVIDADE DA CHUVA E VALORES DE VULNE- RABILIDADE À EROSÃO	106
5.1 - CARACTERÍSTICAS DA IMAGEM E DA PAISAGEM IDENTIFICA – DAS DURANTE O TRABALHO DE CAMPO	121
5.2 - VALORES DE PRECIPITAÇÃO MÉDIA MENSAL E ANUAL, NÚME- RO DE DIAS COM CHUVA E INTENSIDADE PLUVIOMÉTRICA RA OS POSTOS ANALISADOS DURANTE 1968-1998	126
5.3 - ALTERAÇÕES REALIZADAS NOS DIFERENTES MAPAS TEMÁTI – COS.....	128
5.4 - VALORES DE ESTABILIDADE/VULNERABILIDADE PARA AS DIFERENTES LITOLOGIAS DA ÁREA	131
5.5 - VALORES DE ESTABILIDADE/VULNERABILIDADE PARA AS CLASSES MORFOMÉTRICAS ENCONTRADAS	132
5.6 - VALORES DE ESTABILIDADE/VULNERABILIDADE PARA AS	

CLASSES DE AMPLITUDE ALTIMÉTRICA	134
5.7 - VALORES DE ESTABILIDADE/VULNERABILIDADE PARA AS CLASSES DE AMPLITUDE INTERFLUVIAL UTILIZADAS	135
5.8 - VALORES DE ESTABILIDADE/VULNERABILIDADE PARA AS CLASSES E ASSOCIAÇÕES DE SOLOS	138
5.9 - VALORES DE ESTABILIDADE/VULNERABILIDADE PARA AS CLASSES DE VEGETAÇÃO E USO DO SOLO	140
5.10 -VALORES DE ESTABILIDADE/VULNERABILIDADE PARA A INTENSIDADE PLUVIOMÉTRICA	141

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

A população que habita a região nordeste do Brasil tem realizado migrações à procura de áreas mais promissoras ao seu desenvolvimento e ao da agricultura. Essa ocupação, muitas vezes desordenada, vem degradando o ambiente de tal forma que a recuperação é dificultada pela própria questão social. Famílias pobres, sem a possibilidade de deslocamento para áreas mais prósperas, acabam alterando o ambiente semi-árido, caracterizado pelas rigorosas condições climáticas que comandam a evolução da paisagem.

O clima, aliado aos tipos de litologia, relevo, solo e cobertura vegetal, provoca um processo natural de perda de solo que tem sido acelerado devido à ocupação humana em áreas consideradas vulneráveis sob o ponto de vista agrícola. Como a perda de solo, incrementada pela antropização, é a principal causa da queda da produtividade agrícola, torna-se necessário estabelecer planos de ocupação para evitar ou minimizar os efeitos do desgaste do solo. Torna-se necessário o desenvolvimento de medidas para a racionalização do espaço que procurem, além de definir os tipos de utilização recomendáveis para determinadas áreas, preservar ambientes mais suscetíveis à degradação. Os zoneamentos ecológicos-econômicos seriam, neste caso, as ferramentas necessárias para este tipo de estudo.

Considerando a importância estratégica dessa ferramenta para o desenvolvimento do país, em particular da Amazônia Legal, a Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República (SAE-PR), em convênio com o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), procurou desenvolver uma metodologia para o Zoneamento Ecológico Econômico (ZEE) daquela região, como instrumento de planejamento e ordenamento do território. Analisando o meio físico e biótico, Crepani et al. (1996) desenvolveram, baseados no conceito de Ecodinâmica de Tricart (1977), uma metodologia para a geração de cartas que dividem uma região em classes de maior ou menor vulnerabilidade aos processos de perda de solo utilizando para isso dados de Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Fitogeografia e Clima. Para o tratamento e cruzamento dessas informações é utilizado um sistema integrado composto por bancos de dados e sistema de informação

geográfica (SIG) que otimizam e permitem o acesso e consultas sobre o produto gerado. Becker e Egler (1997) procuraram detalhar os procedimentos para a análise do meio sócio-econômico avaliando os potenciais natural, humano, produtivo e institucional que, em conjunto com a carta de vulnerabilidade à perda de solo, fornecem informações necessárias para subsidiar a gestão do território.

De modo a avaliar a aplicabilidade da metodologia desenvolvida para as condições ambientais semi-áridas do nordeste brasileiro, foi proposto este estudo, tomando como área-piloto uma superfície de 1.690 Km² do sertão pernambucano, que abrange grande parte do município de Parnamirim. Para otimizar o procedimento de análise, o objetivo geral desse trabalho foi limitado para a geração da carta de vulnerabilidade à perda de solo, com o auxílio dos produtos de sensoriamento remoto, mapeamentos temáticos e análises em SIG.

Para a execução deste objetivo geral, os objetivos específicos foram os seguintes:

- ◆ Montagem de um banco de dados geográficos com informações temáticas sobre a área estudada;
- ◆ Atualização do mapa de vegetação e uso do solo;
- ◆ Caracterização da área com relação à vulnerabilidade à perda de solo através da manipulação das informações reunidas.

Para facilitar a análise, este documento foi dividido em seis grandes capítulos. O Capítulo 1 faz uma **introdução** do trabalho, apresentando as questões sociais, ambientais e a técnica de abordagem utilizada para alcançar os objetivos; o Capítulo 2 traz uma **revisão bibliográfica** que procura esclarecer alguns conceitos sobre os métodos de análise da paisagem, a metodologia utilizada para a geração da carta de vulnerabilidade à perda de solo e as técnicas de sensoriamento remoto e processamento de imagens digitais aplicadas ao semi-árido, incluindo noções gerais sobre sistemas de informação geográfica; o Capítulo 3 caracteriza a **área de estudo** em um contexto regional e local, apontando os principais aspectos do ambiente semi-árido; o Capítulo 4 apresenta a **metodologia** que descreve desde o processo de aquisição de materiais e montagem do banco de dados, até a

manipulação e análise dos mapas, necessárias para a avaliação ecodinâmica e geração do produto final; o Capítulo 5 enumera os **resultados** apresenta as **discussões** dos diferentes produtos gerados; e o Capítulo 6 avalia o produto e **conclui**, baseado nos objetivos, a aplicabilidade da metodologia utilizada em região semi-árida sugerindo algumas modificações para futuras pesquisas relacionadas ao tema.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O desenvolvimento dos produtos de sensoriamento remoto e suas análises em sistemas de informação geográfica fornecem subsídios para o estudo de diferentes ambientes (Semi-árido, Amazônia, Pantanal, Mata Atlântica, por exemplo). A compreensão dos processos que atuam para a formação das paisagens dentro desses ambientes, evidenciada basicamente pelo comportamento da vegetação e a utilização do solo, necessita desses produtos e análises para uma avaliação mais precisa. Este capítulo apresenta os métodos de análise da paisagem, o método a que se propõe este estudo, as técnicas de sensoriamento remoto, processamento digital de imagens e SIGs aplicadas no trabalho.

2.1 - Métodos de Análise da Paisagem

Partindo da idéia geral de que a paisagem se refere a um espaço do território que difere de outro próximo, sua definição pode ser complementada por estudos que se aprofundam no tema. Naveh e Lieberman (1983) envolvem em seus conceitos a ecologia da paisagem, tornando-a uma combinação entre a análise "horizontal" do geógrafo que examina as inter-relações espaciais de fenômenos naturais com a pesquisa "vertical" dos ecólogos que estuda a inter-relação funcional em um determinado local. Busca-se, neste caso, o estudo dos componentes da paisagem (Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação e Clima) em um espaço geográfico.

Para Zonneveld (1989) a ecologia da paisagem pode ser considerada como um sistema que descreve a hierarquia de organismos e sociedade para a Terra como um sistema total. Apesar das extensas e diferentes definições dos termos "*landscape*" e "*landscape ecology*" apresentados, por exemplo, por Naveh e Lieberman (1983) e Tricart e KiewietdeJonge (1992), a definição que mais se assemelha ao que será aplicado a este trabalho é que paisagem é uma região natural, caracterizada por uma associação de características (rochas, relevo, clima, vegetação e solos) e fisionomias, definição também utilizada pelo CSIRO (*Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization*). A diferença entre uma ou outra paisagem estaria relacionada aos diferentes processos que ocorrem para a sua formação e como estes atuam sob essas características.

No entanto, a intervenção humana tem alterado a paisagem, principalmente pelo efeito do mal uso dos avanços tecnológicos, científicos e econômicos. Avaliar o impacto que as populações tem causado em ambientes anteriormente em equilíbrio e planejar a ocupação, são razões pelas quais se procura encontrar a técnica mais adequada de se analisar o ambiente.

Pires Neto (1995) acredita que o ambiente possa ser observado de duas formas e aponta as abordagens geológico-geotécnica e a de paisagem. A abordagem geológico-geotécnica está relacionada à elaboração de cartas geotécnicas que visam a avaliação de obras de engenharia civil e planejamento urbano. Nesta abordagem, somente as características geológicas e os dados do meio físico (geologia e relevo, por exemplo) são considerados. Surge, então, a necessidade de se utilizar outra forma para avaliar o ambiente que considere não só o meio físico mas o ambiente de uma forma integrada. Para estes casos, Pires Neto (1995) recomenda a abordagem de paisagem. As pesquisas que utilizam esta abordagem, também conhecida como conceito de terreno, necessitam de uma equipe multidisciplinar para explicar as interações entre os componentes do meio físico e biótico.

Mabbutt (1968) distingue três sistemas de classificação de terreno: genético, paramétrico e de paisagem. O sistema genético é baseado na morfogênese e características genéticas do terreno; o paramétrico procura classificar cada um dos elementos do terreno para se ter uma visão sintética da paisagem; e o de paisagem envolve múltiplos aspectos, classificando o terreno pelas diferenças de padrões dos componentes considerados, visualizados através do arranjo espacial.

Florenzano (1986) apresenta uma revisão sobre os mapeamentos integrados mais encontrados. Um dos mais conhecidos é o utilizado pelo CSIRO, também conhecido como "*land system approach*", desenvolvido na Austrália com o objetivo de mapear extensas áreas para fins de planejamento agropecuário. Trata-se de um mapeamento pioneiro na adoção de uma metodologia própria para a abordagem de paisagem. O CSIRO também possui uma versão mais elaborada, onde há uma divisão da paisagem em escala crescente de dimensão, dividida em três níveis hierárquicos: "*site*", "*land unit*" e "*land system*", que podem ser visualizados a partir da Figura 2.1.

O mapeamento de "*land systems*" é baseado no princípio de que os padrões de relevo, solo e vegetação são muito relacionados e que um pode ser utilizado para explicar ou prever os outros (Gerrard, 1981). Para delimitá-los, o CSIRO dispõe de produtos de sensoriamento remoto (fotografias aéreas e/ou imagens orbitais) para a delimitação de unidades de paisagem. Cada unidade reflete a interação entre seus diferentes componentes (geologia, relevo, solo, vegetação, uso do solo) e apresenta a descrição de suas características. Os produtos gerados neste tipo de mapeamento varia em escala e pode chegar até a 1:1.000.000.

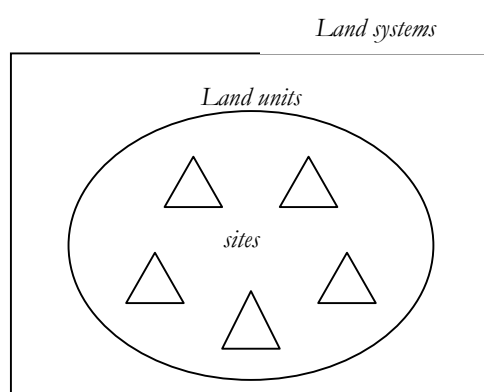


FIGURA 2.1 : Representação esquemática dos níveis hierárquicos do método CSIRO.

O método do CSIRO, no entanto, faz apenas uma descrição das unidades delimitadas. Tricart (1977), por sua vez, já avalia o caráter dinâmico das unidades de paisagem e as interações entre os diferentes componentes utilizados no trabalho, considerada uma abordagem de paisagem com caráter sistêmico, também utilizada por Zonneveld (1989). Por último, a abordagem paramétrica, Verstappen (1977) adota avaliações quantitativas (cálculos estatísticos) para classificar o terreno e estudar a interação entre os componentes.

Existem estudos que procuram métodos de se avaliar a paisagem integradamente e, dentre os que utilizam produtos de sensoriamento remoto e técnicas de SIGs em regiões semi-áridas, foram selecionados alguns trabalhos, já que o objetivo não será o de esgotar o assunto, sendo este bastante amplo.

Oliveira et al.(1988) procuraram delimitar unidades de paisagem para estudos de avaliação do potencial geo-ambiental onde, além das informações temáticas sobre a área, foram

extraídos dados específicos de solos e clima. Adotando uma análise de grupamentos e medidas de semelhança a área foi caracterizada seguindo uma classificação baseada em províncias, seção, sub-seção e geotipos onde, cada um destes últimos (classe definida para o mapeamento) foi individualmente descrito e alertado quanto às recomendações para uso agrícola.

Santos e Menino (1990), também interessados na utilização agrícola, delimitaram o que chamaram de "unidades fisiográficas" a partir de imagens orbitais que operam na faixa óptica e de microondas e fotografias aéreas, dentro de um município na Paraíba e as caracterizaram quanto ao relevo, solo, vegetação e uso para identificar áreas com diferentes potenciais agrícolas. Oliveira-Galvão (1994), porém, procurou realizar primeiramente uma caracterização geo-ambiental da área para avaliar os riscos de desertificação aos quais uma região do nordeste estaria sendo submetida. Nesta pesquisa, o estudo da vegetação, caracterizada por uma transição entre caatinga e cerrado, permitiu identificar áreas que devem ser manejadas, recuperadas e controladas sob o ponto de vista ocupacional e exploratório.

Durante a execução deste trabalho, seguindo o embasamento teórico, foi utilizada a abordagem de paisagem (Pires Neto, 1995) de uma forma sistêmica (Tricart, 1977), semelhante aos estudos de Zonneveld (1989) que pode ser confirmada a partir da descrição da metodologia para a geração da carta de vulnerabilidade (Crepani et al., 1996).

2.2 - Metodologia para a Geração da Carta de Vulnerabilidade à Perda de Solo

O zoneamento vem sendo considerado, desde 1933 por Sewell, como o controle deliberativo mais comum exercido sobre o uso do solo. Há aproximadamente cinco anos o governo brasileiro procurou desenvolver uma metodologia para possibilitar a gestão do território. Após algumas reuniões entre a Secretaria de Assuntos Estratégicos da Presidência da República, Institutos de Pesquisas e Universidades foi definido que, para alcançar este objetivo, seria necessária uma análise do meio físico e biótico para gerar uma carta de vulnerabilidade à perda de solo (Crepani et al., 1996) e uma outra análise da sócio-economia, que produz uma carta de potencialidade social (Becker e Egler, 1997).

A metodologia elaborada para a geração da carta de vulnerabilidade à perda de solo foi desenvolvida a partir do conceito de Ecodinâmica (Tricart, 1977), baseado na morfogênese (processo de modificação das formas de relevo) e pedogênese (processo que dá origem à formação dos solos), e da potencialidade para estudos integrados de imagens orbitais e sistemas de informação geográfica. As etapas para a elaboração de cartas de vulnerabilidade à perda de solo podem ser visualizadas pela Figura 2.2 e serão descritas a seguir, com as suas subdivisões quando necessário.

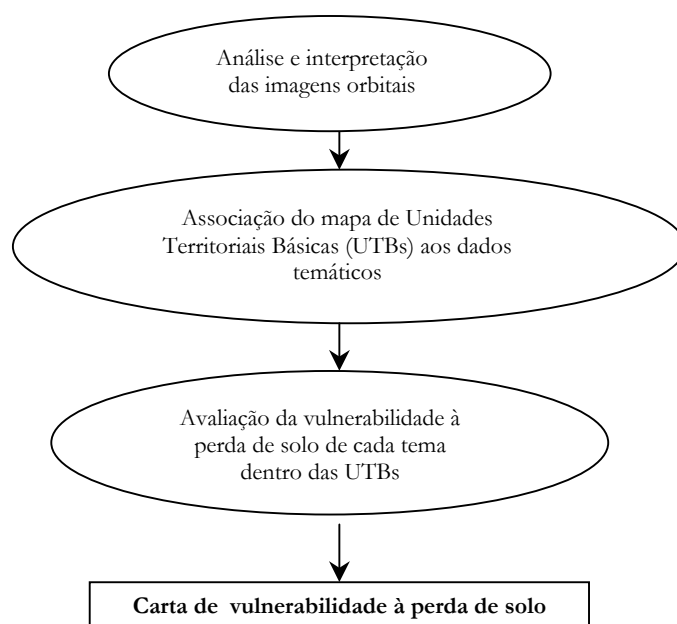


FIGURA 2.2 - Fluxograma da metodologia para a elaboração da carta de vulnerabilidade à perda de solo.

FONTE: Adaptada de Crepani et al. (1996)

2.2.1 - Análise e Interpretação das Imagens Orbitais

A imagem orbital é considerada a “âncora” da metodologia pois a partir dela é possível a extração das informações básicas e recentes da área de estudo, com a possibilidade de se utilizar todo o potencial do sensoriamento remoto e dos SIGs, aplicável em diferentes produtos disponíveis. As imagens orbitais vêm sendo os produtos mais utilizados nestes estudos e sobre estas, na composição mais adequada ao intérprete, desenvolve-se o trabalho de análise e interpretação que permite a confecção de um mapa contendo as Unidades Territoriais Básicas (UTBs).

A definição das UTBs sobre as imagens é feita a partir de critérios sistematizados de fotointerpretação que levam em consideração os elementos de textura, de relevo e

drenagem, definindo estruturas, formas, e os matizes de cores relacionados aos padrões de resposta espectral da vegetação, solo e água. Este processo permite a elaboração do mapa de UTBs, formado por unidades de paisagem natural (UPN) e polígonos de intervenção antrópica.

2.2.1.1 - Elaboração do Mapa de Unidades Territoriais Básicas (UTBs)

As UTBs são consideradas, segundo Becker e Egler (1997), as células elementares de informação e análise para o Zoneamento Ecológico-Econômico. Ou seja, uma unidade territorial básica é uma entidade geográfica que contém atributos ambientais que permitem diferenciá-la de suas vizinhas, ao mesmo tempo em que possui vínculos dinâmicos que a articulam a uma complexa rede integrada por outras unidades territoriais. Crepani et al. (1996) as dividem em unidades de paisagem natural (ou polígono de paisagem natural) e polígonos de intervenção antrópica.

2.2.1.1.1 – Unidades de Paisagem Natural (UPNs)

As Unidades de Paisagem Natural (UPNs) contêm uma porção do terreno onde se inscreve uma combinação de eventos e interações, cujo resultado é registrado e pode ser visto sob forma de imagem. A delimitação das UPNs pode ser comparada à etapa inicial dos geomorfológicos e dos métodos de mapeamento integrado da paisagem (Verstappen, 1977; Gerrard, 1981; Cooke e Doornkamp, 1990; Ross, 1992). Pode ser ainda considerada uma unidade de mapeamento do terreno, definida por Meijerink (1988) como formas que agrupam associações naturais de Geologia, Geomorfologia, morfometria e distribuição dos solos, geralmente derivadas de fotografias aéreas ou imagens de satélite, trabalho de campo e de mapas temáticos existentes.

Para se analisar uma unidade de paisagem natural 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 obtidas pela Geologia, Pedologia, Climatologia, Geomorfologia e Fitogeografia.

2.2.1.1.2 – Polígonos de Intervenção Antrópica (PIAs)

Os Polígonos de Intervenção Antrópica (PIAs) representam áreas onde a atuação humana modifica as condições naturais e podem localizar-se sobre uma única ou várias unidades de paisagem natural, dependendo exclusivamente de suas dimensões. Isto permite demonstrar a necessidade de se conhecer previamente as unidades de paisagem natural para orientar as atividades a serem desenvolvidas dentro do polígono de intervenção antrópica.

Os PIAs são delimitadas de acordo com os padrões identificados pelas variações de forma, tonalidade, cor, textura, sombra e pelos elementos texturais de relevo e drenagem (Veneziani e Anjos, 1982; Valério filho et al., 1981) encontrados nas imagens orbitais selecionadas. Estes polígonos, no entanto, representam apenas linhas fechadas e sem validade quando não estão sobre a imagem interpretada. Para caracterizá-los e individualizá-los tematicamente, deve-se associá-los aos dados temáticos.

2.2.2 - Associação do Mapa de UTBs aos Dados Temáticos

O mapa de UTBs, resultado da interpretação da imagem orbital, é associado aos dados preexistentes (mapas geológico, geomorfológico, de solos e de vegetação) para que cada unidade de paisagem seja caracterizada quanto à sua morfodinâmica. Esta caracterização das unidades de paisagem natural é feita segundo critérios desenvolvidos a partir dos princípios da Ecodinâmica de Tricart (1977), que levam em consideração os processos morfogenéticos e pedogenéticos. Com isso, pode-se dividir as categorias morfodinâmicas em:

- **Meios estáveis**
 - cobertura vegetal densa;
 - dissecação moderada;
 - ausência de manifestações vulcânicas.
- **Meios intermediários**
 - balanço entre as interferências morfogenéticas e pedogenéticas.
- **Meios fortemente instáveis**

- condições bioclimáticas agressivas, com ocorrência 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 vale sujeitos a inundações;
- geodinâmica interna intensa.

Os meios foram divididos de acordo com a relação morfogênese/pedogênese. Assim sendo, Crepani et al. (1996) convencionam esta relação, caracterizando as UTBs em estáveis, intermediárias e instáveis, com valores que variam de 1 a 3, conforme mostrado pela Tabela 2.1. Esta Tabela apresenta um intervalo de valores de estabilidade/instabilidade (ou vulnerabilidade) distribuídos entre as situações de predomínio dos processos pedogenéticos (valores próximos de 1,0), passando por situações intermediárias (valores ao redor de 2,0) e situações de predomínio dos processos de morfogênese (valores próximos de 3,0).

TABELA 2.1 : Valores Atribuídos às Unidades Estáveis, Instáveis e Intermediárias.

Unidade	Relação pedogênese / morfogênese	Valor
Estável	Prevalece a pedogênese	1,0
Intermediária	equilíbrio entre pedogênese e morfogênese	2,0
	Prevalece a morfogênese	3,0

FONTE: Crepani et al. (1996).

A cada tema associado à UTB existirá um valor de vulnerabilidade à perda de solo. Estes valores são estabelecidos a partir de estudos detalhados da vegetação, geologia, geomorfologia, pedologia e clima da região e foram estabelecidos seguindo os critérios apresentados pela Tabela 2.2. Estes critérios permitem a avaliação da vulnerabilidade à perda de solo para cada UTB.

TABELA 2.2: Características Avaliadas para Medir a Estabilidade/Instabilidade das UTBS.

Temas	Características
-Geologia (Ge)	- História da Evolução Geológica - Tipo de Rocha e Grau de Coesão (rochas pouco coesas facilitam processos modificadores das formas de relevo. Já as rochas bastante coesas facilitam processos de formação de solos).
-Geomorfologia (G)	- Amplitude altimétrica - Grau de dissecação - Declividade
-Pedologia (P)	- Maturidade dos Solos
-Fitogeografia (F)	- Densidade da Cobertura Vegetal
- Clima (C)	- Intensidade Pluviométrica (Pluviosidade anual/ Duração do Período Chuvoso)

FONTE: Modificada de Crepani et al. (1996).

2.2.3 - Avaliação da Vulnerabilidade à Perda de Solo de Cada Tema Dentro das UTBs

Para avaliar cada unidade de paisagem e chegar a uma caracterização sobre a sua vulnerabilidade, é realizada uma média aritmética entre os valores já definidos de cada um dos temas:

$$\text{Vulnerabilidade} = (Ge + G + P + F + C) / 5$$

onde:

"Ge" representa o valor atribuído ao tema Geologia; "G" representa o valor atribuído à Geomorfologia; "P" representa o valor atribuído ao tema Pedologia; "F" representa o valor atribuído ao tema Fitogeografia e "C" representa o valor atribuído ao tema Clima.

Deste modo é possível obter o valor médio de vulnerabilidade e um fluxograma explicativo pode ser visualizado na Figura 2.3 que apresenta valores hipotéticos para cada tema e a média entre os valores, fornecendo uma UTB com um valor final de vulnerabilidade.

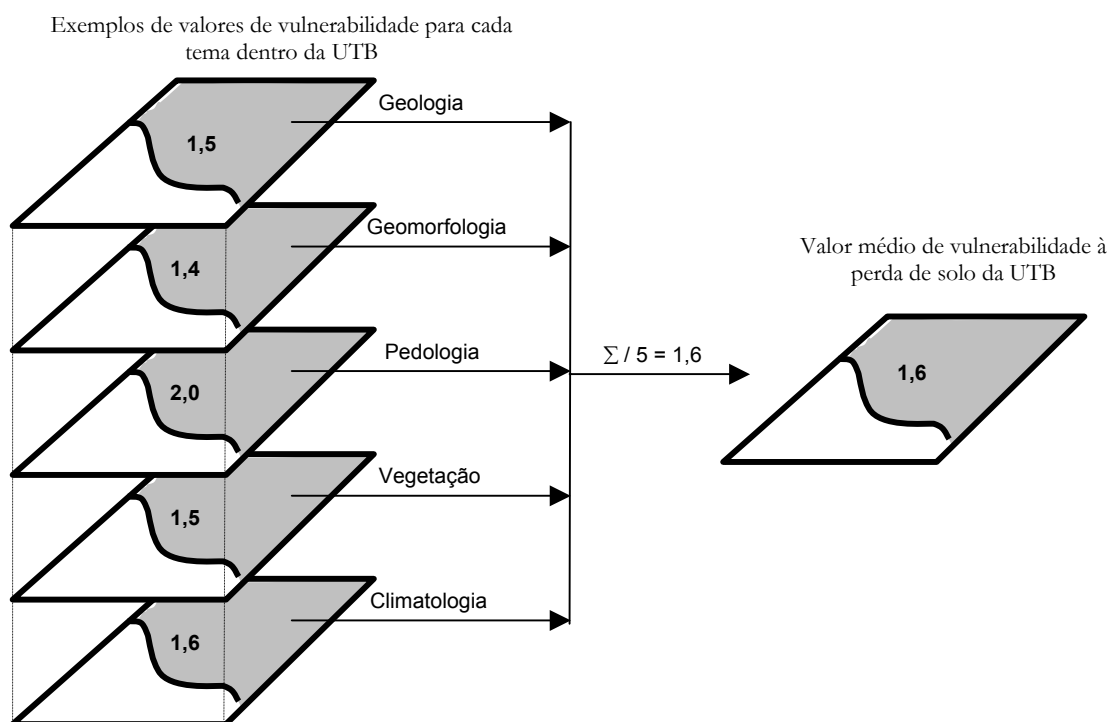


FIGURA 2.3 : Modelo esquemático do cálculo da vulnerabilidade à perda de solo para cada UTB.

FONTE: Sousa (1999, p.37).

O número obtido com a média calculada procura caracterizar cada uma das UTBs dentro de uma escala de estabilidade/vulnerabilidade com 21 valores estabelecidos empirica e relativamente na metodologia para a geração de cartas de vulnerabilidade à perda de solo. Esta representação é apresentada pela Tabela 2.3.

TABELA 2.3 : Representação da Vulnerabilidade e/ou Estabilidade das UTBS.

UNIDADE DE PAISAGEM	MÉDIA		GRAU DE VULNERABILIDADE	GRAU DE SATURAÇÃO				
				VERM	VERDE	AZUL	CORES	
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		MODERADAM.	255	255	0	
U7		2,4		VULNERÁVEL	204	255	0	
U8		2,3			153	255	0	
U9		2,2			102	255	0	
U10		2,1		MEDIANAM.	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		MODERADAM.	0	200	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	

FONTE: Crepani et al. (1996).

Para a representação cartográfica da estabilidade, ou vulnerabilidade, das unidades de paisagem natural foram selecionadas 21 cores (Tabela 2.3) obtidas a partir da combinação das três cores aditivas primárias (Azul, Verde e Vermelho) de modo que se associasse a cada classe de vulnerabilidade sempre a mesma cor, obedecendo ao critério de que ao valor de maior estabilidade (1,0) se associa a cor azul, ao valor de estabilidade intermediária (2,0) se associa 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 a 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 a medida em que o valor da vulnerabilidade se aproxima de 3,0.

Na escolha das cores procurou-se obedecer 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 tranquilidade.

2.3 - Sensoriamento Remoto em Região Semi-Árida

O sensoriamento remoto é uma técnica que permite analisar diferentes alvos a partir da energia eletromagnética emitida ou refletida por eles, captada por diferentes sensores que operam em diferentes comprimentos de onda (faixas espectrais) e em diferentes plataformas (Novo, 1992; Lillesand e Kiefer, 1994). O comportamento espectral relaciona a energia refletida, absorvida e transmitida por um determinado objeto e varia de acordo com o alvo analisado. A Figura 2.4 apresenta, de uma maneira simplificada, o comportamento espectral de diferentes alvos com ênfase às respostas captadas em diferentes faixas do espectro eletromagnético.

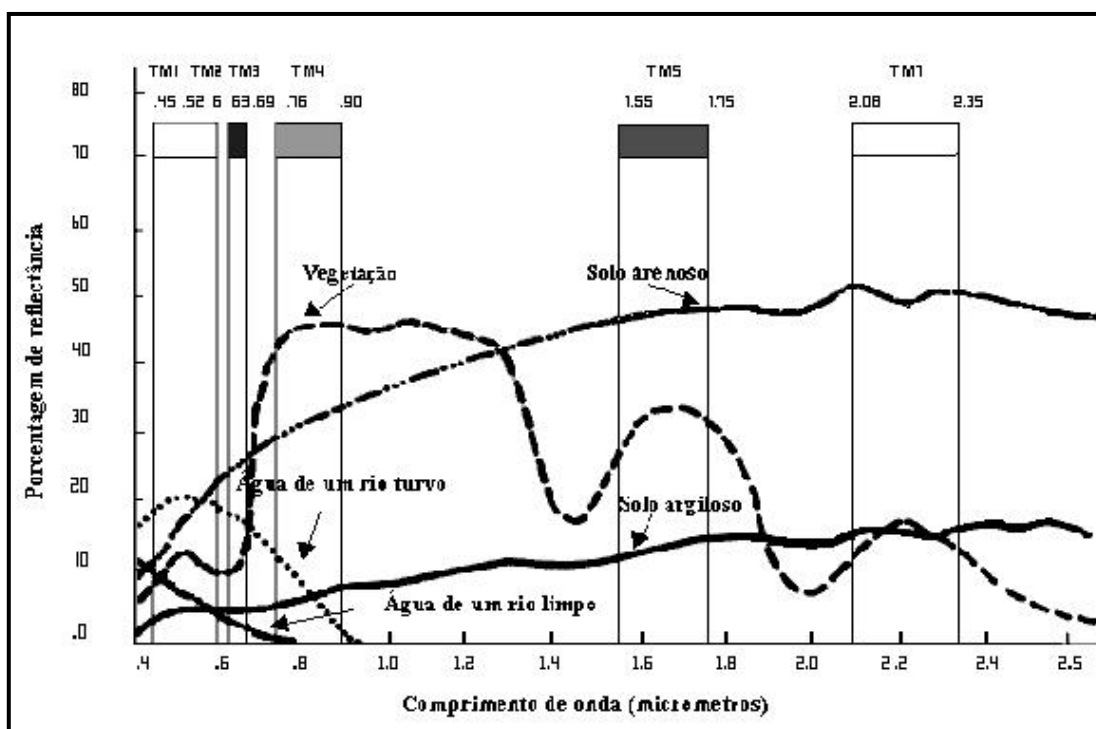


FIGURA 2.4 : Comportamento espectral dos principais alvos com indicação das faixas espectrais captadas pelo sensor TM/Landsat.

FONTE: Adaptada de Lillesand e Kiefer (1994).

Os produtos fornecidos por sensoriamento remoto podem ser imagens orbitais, fotografias aéreas, dados de variáveis climáticas e ambientais, com várias aplicações. Para interpretar as esses produtos é necessário avaliar as faixas espectrais captadas pelo sensor e ter em mente a detecção, identificação, medição e solução de problemas (Pinto e Valério Filho, 1996), além dos elementos de fotointerpretação (tonalidade, tamanho, forma, textura, padrão, altura, sombra, localização e vizinhança).

Verstraete e Pinty (1991) acreditam que as regiões semi-áridas e áridas são muito dinâmicas e somente podem ser monitoradas sistematicamente e regularmente através de plataformas de satélites de sensoriamento remoto devido às suas peculiaridades. As peculiaridades estão relacionadas à cobertura vegetal, cuja componente sombra é bastante relevante, características do solo pedregoso ou até mesmo a presença de afloramentos rochosos que modificam a resposta espectral e individualizam o semi-árido quando interpretado. Estas características podem ser interpretadas, definidas ou analisadas profundamente com relação ao seu comportamento espectral.

Os principais alvos estudados em comportamento espectral são: vegetação, solo e água. No entanto, a geologia e o relevo também podem ser interpretados quando se analisa uma imagem orbital.

No caso da geologia, para o semi-árido, são utilizados os mesmos parâmetros das outras regiões. Deve-se proceder à fotointerpretação, já que o comportamento espectral das rochas não pode ser avaliado por sensores óticos, a não ser que estejam expostas. Assim, a textura, a drenagem e o relevo fornecem informações sobre zonas homólogas e explicam fenômenos geológicos a partir dos processos indutivo e dedutivo de análise (Veneziani e Anjos, 1982).

O mesmo acontece com as formas de relevo que apesar de serem potencializadas quando se utiliza diferentes sensores remotos devido a visão sinóptica e a possibilidade de análise dos processos dinâmicos de formação da paisagem (Valério Filho et al., 1981; Pinto e Valério Filho, 1996), não apresentam distinção quanto à sua análise em regiões semi-áridas ou não. Deste modo, a interpretação de imagens orbitais, objetivando estudos do modelado geral do terreno, tem se mostrado versátil identificando uma diversidade de aspectos

geomorfológicos (Novo e Nascimento, 1977). Sausen e Novo (1981) apresentam uma visão geral da aplicação de diferentes produtos do sensoriamento remoto em trabalhos geomorfológicos com noções de escalas de mapeamentos e tipos de sensores.

Parâmetros importantes na geomorfologia como densidade de drenagem, textura topográfica e declividade; podem ser observados em imagens de satélite. Novo e Santos (1977) utilizaram dados MSS/Landsat e encontraram uma alta correlação entre a textura fotográfica das imagens e as condições topográficas de uma área. Através do índice de rugosidade, esses parâmetros permitiram o zoneamento de uma região em termos de variações topográficas e indicaram áreas topograficamente favoráveis à implantação de projetos. Ou seja, como critério de fotointerpretação, o relevo é considerado o mais importante.

Para o comportamento espectral dos solos, de maneira geral, os principais fatores que afetam a resposta espectral são: matéria orgânica, umidade, granulometria, concentração de óxidos de ferro, mineralogia da argila e material de origem. A variação de cada um desses parâmetros interfere na resposta espectral, aumentando ou diminuindo a reflectância.

No semi-árido, os solos possuem, em geral, pouca concentração de matéria orgânica, argila, óxidos de ferro e água que, associada à pedregosidade (Sette e Andrade, 1955; Lepsch, 1976; Ab'Sáber, 1974) ocasionam uma alta reflectância. A reflectância de solos de regiões semi-áridas pode também ser influenciado pelo espaçamento das espécies vegetais e é semelhante ao solos com presença de culturas (Pinker e Karnieli, 1995).

Existem ainda, diferenças espectrais entre solos de regiões áridas e semi-áridas. Segundo Matheson e Ringrose (1994), a região árida apresenta solos mais arenosos e a vegetação é esparsa, ocasionando uma alta reflectância. Nas regiões semi-áridas o solo já possui uma maior concentração de matéria orgânica e as espécies estão mais agrupadas, diminuindo a reflectância. O'Neill (1994) também constatou a presença de uma crosta de algas sob solos arenosos de regiões semi-áridas, influenciando sua resposta espectral quando comparadas aos solos expostos.

O comportamento espectral da vegetação é o parâmetro que melhor permite a diferenciação entre maior ou menor cobertura vegetal. A assinatura espectral da vegetação

é definida, na região do visível, pela concentração de pigmentos fotossintetizantes (clorofila e carotenóides), na região do infra-vermelho próximo, pela estrutura interna da folha (presença de lacunas no tecido das folhas - parênquima) e, no infra-vermelho médio pela quantidade de água presente na folha (Gates et al., 1965; Kumar, 1972; Ponzoni e Disperati, 1995).

Como peculiaridade, a caatinga se comporta diferentemente em uma mesma época seca quando, após a senescência, a concentração de clorofila diminui e a reflectância aumenta nas faixas do verde e do vermelho devido aos pigmentos auxiliares, e o período de esclerificação, onde a folha aumenta a opacidade, diminui a reflectância. (Kazmierczak, 1994). Outros componentes da vegetação, como galhos, também influenciam a resposta espectral devido à sombra por estes provocada na época seca, quando as árvores perdem suas folhas, diminuindo a reflectância e alterando a assinatura espectral de outros alvos (Tueller, 1987). Na região do infra-vermelho, segundo Kazmierczak (1994), os mesófilos com parênquimas lacunosos das plantas da caatinga, com baixo teor de água, provocam uma redução da reflectância, ao contrário das folhas com mesófilos compactos, túrgidos de água.

Para a detecção de características estruturais da caatinga percebe-se a necessidade de se utilizar dados da estação seca pois o desenvolvimento de biomassa verde não está em função do tipo de vegetação e sim em função da disponibilidade de água, ocasionada pela irregularidade espacial das chuvas, o que leva a confusões entre as classes de vegetação em dados de outros períodos (Valeriano et al., 1988; Kazmierczak, 1994; Sá, 1991). Este fato ocorre principalmente quando é utilizada a informação do infra-vermelho próximo, segundo Maldonado (1999).

Uma outra maneira de se distinguir classes de caatinga é analisando índices de vegetação pois indicam a densidade de biomassa fotossinteticamente ativa tentando superar os efeitos indesejáveis do substrato e das demais estruturas. Kazmierczak (1994), por exemplo, procurou determinar mudanças fenológicas da caatinga se baseando em índice de vegetação derivado de satélites meteorológicos, considerando pertinente para análises em um nível regional.

Na tentativa de se utilizar o método de classificações em imagens digitais na discriminação de classes de caatinga, Valeriano et al. (1988), perceberam que os dados TM/Landsat não permitiram uma discriminação detalhada porém, acreditam que o desenvolvimento de classificadores específicos à região e com este propósito poderiam resolver tal problema.

Para a análise de dados de sensoriamento remoto visando obter informações sobre o uso do solo, os elementos de interpretação continuam sendo muito utilizados. A tonalidade indica basicamente a quantidade de exposição do solo e o estágio e vigor das culturas, por exemplo. A textura permite indicar a composição das copas de espécies vegetais. A forma e dimensão podem auxiliar na identificação de aspectos agrícolas em pequena escala, como a diferenciação entre área agrícola e reflorestadas. A sombra permite definir culturas mais altas das mais baixas e, o sítio topográfico indica as possíveis culturas implantadas bem como a sua distribuição (Santos et al., 1981). Pode-se encontrar em regiões semi-áridas, além de culturas, pecuária intensiva e extensiva. Esta última foi estudada por Pickup e Chewings (1988), a partir de análises espectrais para estimar a distribuição do pastoreio e padrões de movimento do gado em uma região árida da Austrália.

Com relação ao comportamento espectral das culturas irrigadas pode-se perceber uma maior resposta espectral na região do visível e infra-vermelho devido à quantidade de biomassa e concentração de água. Em períodos secos, a diferenciação de culturas irrigadas da vegetação natural circunvizinha é bastante clara (Pinto et al., 1989a). Um dos aspectos mais importantes para a interpretação do uso do solo é a informação contextual que associa os parâmetros de interpretação e permite uma análise mais completa da área.

Utilizando composições coloridas, Pinto et al. (1989b), visaram identificar glebas de áreas irrigadas e não irrigadas e consideraram para isso, o comportamento espectral dos alvos dominantes na cena de estudo (cultura irrigada, solo exposto, caatinga) essenciais para diferenciar as áreas irrigadas das não irrigadas. Com isso, pode-se também perceber o estágio fenológico da cultura de acordo com a maior ou menor interferência do solo na resposta espectral.

Para a análise do comportamento espectral da água, o último alvo comumente estudado em sensoriamento remoto, deve-se saber que sua resposta espectral está condicionada pelas

propriedades de absorção e espalhamento de componentes em suspensão e dissolvidos. Trata-se então, da interpretação do comportamento espectral da água e dos seus constituintes (Novo e Braga, 1991). Cada um destes atua em uma determinada faixa espectral, ocasionando maior ou menor reflectância devido à sua concentração. Em regiões semi-áridas a análise do alvo “água” não se altera mas sim, o objetivo do estudo. Anderson e Horne (1975), por exemplo, estudando reservatórios de uma região semi-árida, avaliaram a concentração de algas e correlacionaram com a situação de cada reservatório.

Todas essas informações são necessárias para a interpretação de imagens em papel ou para avaliar os resultados dos processamentos realizados sobre imagens digitais. Será apresentado, a seguir, as técnicas utilizadas neste trabalho.

2.4 - Processamento Digital de Imagens Orbitais

O processamento digital de imagens inclui todas as técnicas voltadas para a análise, por computadores, dos dados multidimensionais, adquiridos por diversos tipos de sensores. Ele é aplicado de acordo com o alvo de interesse e o objetivo a ser alcançado.

O termo processamento digital de imagens envolve a análise e a manipulação de imagens por computador. Envolve um conjunto de ferramentas que visam a identificação e extração de informações realizando transformações necessárias para o realce das características de interesse (Richards, 1986; Crósta, 1993; Lillesand e Kiefer, 1994; Fonseca, 1996). Pode-se separar os processamentos em quatro grandes etapas, conforme mostrado na Figura 2.5 e descrita a seguir.

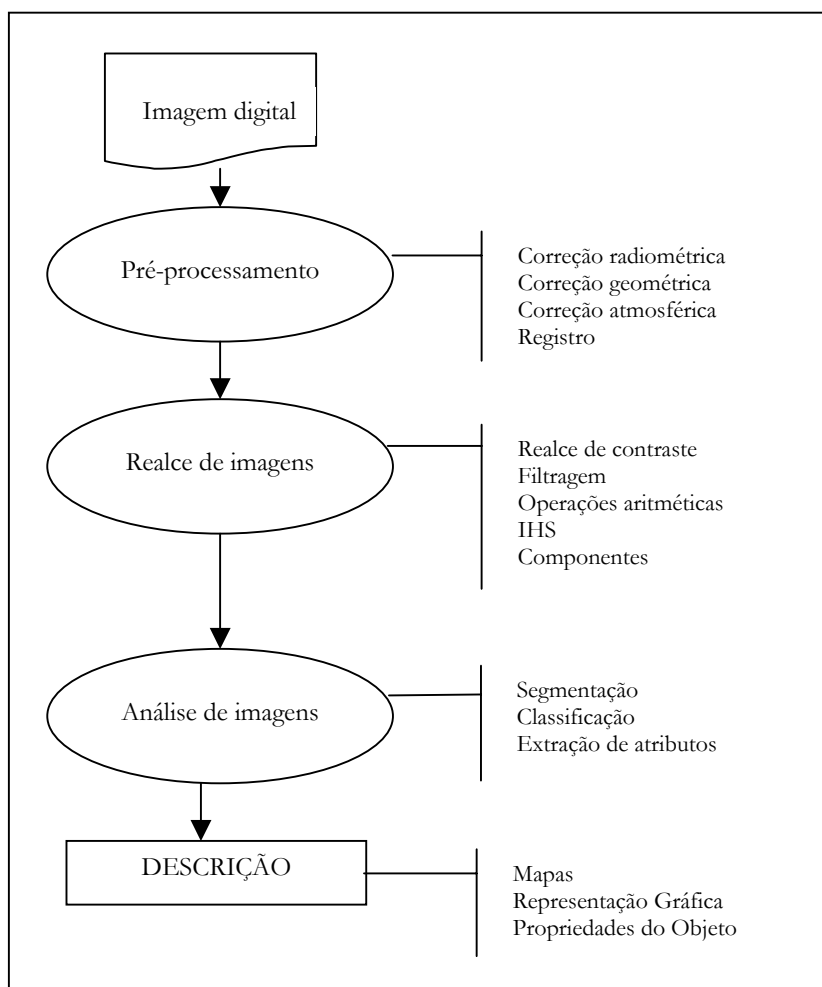


FIGURA 2.5 – Etapas de processamento digital.

FONTE: modificada de INPE (1999a).

2.4.1 – Pré-Processamento

Trata-se de um conjunto de técnicas que permitem a transformação de dados digitais brutos em dados corrigidos com qualidade adequada para os posteriores processamentos digitais (Richards, 1986; Lillesand e Kiefer, 1984; Fonseca, 1996). Neste trabalho, como pré-processamento, foi realizada a técnica de correção geométrica.

A correção geométrica trata da remoção dos erros sistemáticos (rotação da terra e instabilidade da plataforma) presentes nas imagens e pode ser compreendida em três grandes etapas que envolvem **transformação geométrica**, também denominada mapeamento direto; o mapeamento inverso, que inverte a transformação geométrica usada

no mapeamento direto; e a reamostragem, que interpola os níveis de cinza da imagem original (INPE, 1999a). A transformação geométrica pode ser executada através de três modelos distintos: o modelo de correções independentes, o modelo fotogramétrico e o **modelo polinomial**. O modelo polinomial é também conhecido como **registro de imagens**.

O registro de uma imagem compreende uma transformação geométrica que relaciona coordenadas de imagem (linha, coluna) com coordenadas de um sistema de referência (D'Alge, 1999). Ou seja, é uma operação que faz com que uma imagem se ajuste, ou se sobreponha perfeitamente a outra, de modo que cada par de pontos obtidos das imagens assim sobrepostas corresponda ao mesmo ponto do objeto originalmente imageado (INPE, 1999a). A Figura 2.6 apresenta um esquema da etapa de registro imagem-imagem.

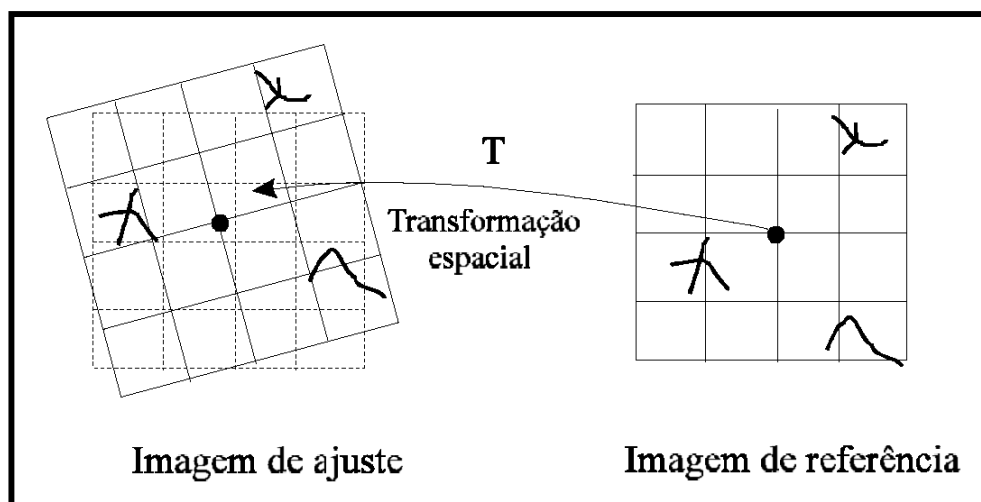


FIGURA. 2.6 : Esquema do registro imagem-imagem.

FONTE: INPE (1999a).

O registro apenas utiliza transformações geométricas simples (usualmente polinomiais de 1º e 2º graus) para estabelecer um mapeamento entre coordenadas de imagem e coordenadas geográficas. A determinação dos parâmetros da transformação polinomial selecionada é feita através da resolução de um sistema de equações. Para que esse sistema de equações possa ser resolvido, as coordenadas dos pontos de controle devem ser

conhecidas tanto na imagem de ajuste (imagem a ser registrada) como no sistema de referência.

2.4.2 – Realce de Imagens

A finalidade da aplicação de técnicas de realce é melhorar a visualização dos elementos que compõem a cena (Richards, 1986; Lilessand e Kiefer, 1984; Fonseca, 1996). A técnica adotada neste trabalho foi a de aumento de contraste que envolve a manipulação do histograma.

O histograma é uma ferramenta básica para realizar realce e análise de imagens pois revela a distribuição dos níveis de cinza desta e os apresenta na forma de um gráfico que fornece o número de *pixel* da imagem para cada nível de cinza. A manipulação do histograma permite obter informações instantâneas para a análise. O realce por contraste é conhecido como uma operação “pontual” que transforma o nível de cinza *pixel a pixel*, e baseia-se no mapeamento das variações dentro do intervalo de nível de cinza da imagem original $[0, NC-1]$ para outro intervalo desejado $[0, M-1]$ onde M é uma função de mapeamento.

Para exemplificar esta transformação, a Figura 2.7 apresenta três imagens e seus respectivos histogramas, evidenciando a variação nas tonalidades de cinza e as alterações nos histogramas. A imagem A possui um histograma com freqüências altas próximas ao zero, indicando que possuirá mais pixels escuros, ao contrário da imagem B, onde a freqüência é maior próxima ao 256, onde estão os pixels mais claros e por último, a imagem C possui uma melhor distribuição de freqüência de *pixels* do mais escuro para o mais claro, com um histograma mais uniformemente distribuído.

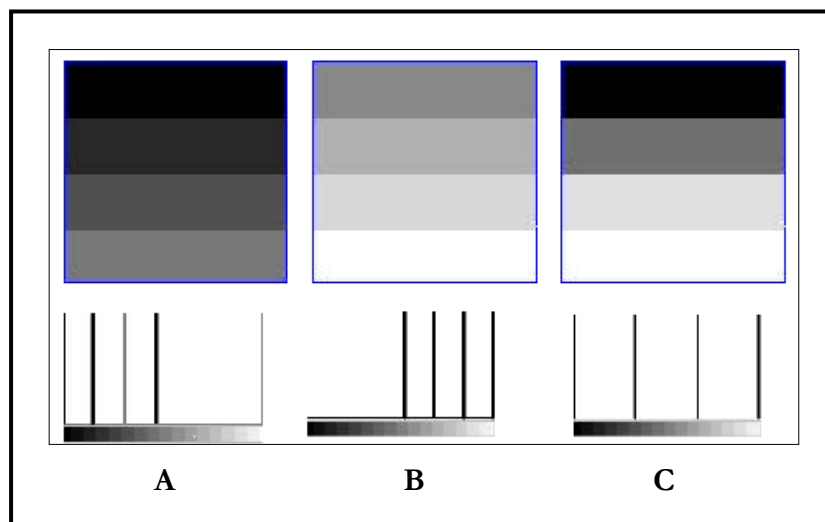


FIGURA. 2.7 :Variação de contraste e alteração no histograma.

FONTE: INPE (1999a).

2.5 - Sistema de Informação Geográfica (SIG)

A informação geográfica representa um dado, com uma localização, expressa pelas coordenadas em um espaço geográfico e atributos descritivos (representados em um banco de dados convencional). O geoprocessamento, que se baseia em técnicas matemáticas e computacionais para o tratamento da informação geográfica, se utiliza dos Sistemas de Informação Geográfica (SIGs) (Câmara e Medeiros, 1996; INPE, 1999b). O SIG pode ser considerado um conjunto manual ou computacional de procedimentos utilizados para armazenar e manipular dados georreferenciados (Aronoff, 1989), sendo elaborado justamente para dados onde a localização geográfica é imprescindível às análises.

2.5.1 - Objetivos e Arquitetura dos SIGs

Os principais objetivos, quando se utiliza um SIG, são (Burrough, 1987; INPE, 1999b):

- a) integrar e inserir, em uma única base de dados, informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados censitários e de cadastro urbano e rural, imagens de satélite, redes e modelos numéricos de terreno;
- b) oferecer mecanismos para combinar as várias informações, através de algoritmos de manipulação e análise, bem como para consultar, recuperar, visualizar e plotar o conteúdo da base de dados geo-referenciados.

Para realizar tais tarefas, os SIGs possuem componentes que se relacionam de forma hierárquica, apresentado pela Figura 2.8.

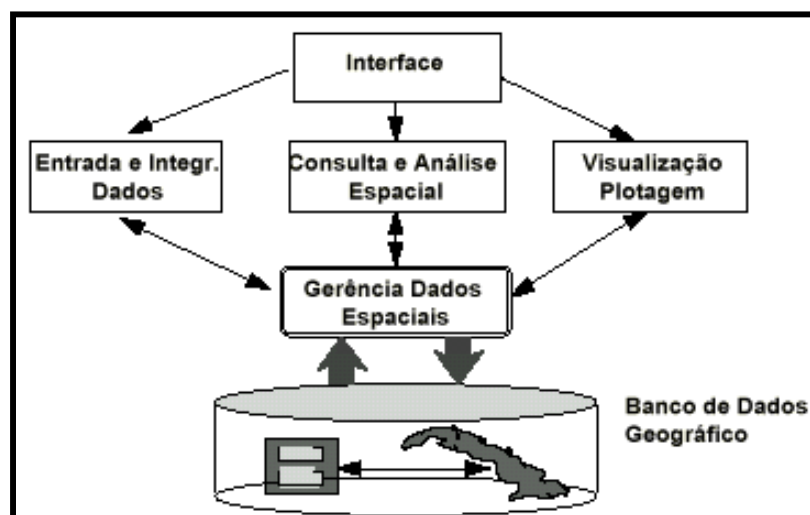


FIGURA 2.8 : Arquitetura de um Sistema de Informação Geográfica.

FONTE: INPE (1999a).

A interface, software caracterizado como um SIG, define como o sistema é operado e controlado. As fases de entrada, integração, consulta, análise espacial, visualização e plotagem estão relacionadas aos processamentos de dados espaciais e seus atributos. O sistema de gerência de banco de dados geográficos oferece, por sua vez, o armazenamento e recuperação dos dados espaciais e seus atributos. Cada uma das etapas ocorre em diferentes níveis de interação com o usuário.

2.5.2 – Representação e Formatos de Dados Tratados em SIG

O dado geográfico possui dois formatos principais de representação no SIG: a matricial e a vetorial. A matricial representa uma matriz cujos elementos são unidades poligonais regulares do espaço e o vetorial é descrita utilizando pontos, linhas e polígonos (Câmara et al., 1996). Sabendo que os SIGs lidam com a informação geográfica e que um dado geográfico se relaciona com os demais, pode-se dizer que existem duas grandes classes de representação de dados:

- **Geo-campo** - representa a distribuição espacial de uma variável que possui valores em todos os pontos pertencentes a uma região geográfica, por exemplo, temático, numérico, imagem (INPE, 1999b).
- **Geo-objeto** - elemento único que possui atributos não espaciais e está associado a múltiplas localizações geográficas. A localização pretende ser exata e o objeto é distinguível de seu entorno como, por exemplo, mapa de cadastro rural (INPE, 1999b).

Deste modo, os dados geográficos se encaixam no grupo de geo-campos e geo-objetos podendo ser divididos, segundo sua representação, topologia e formato em:

- ◆ **Mapas temáticos:** São dados do tipo geo-campo que descrevem a distribuição espacial de uma grandeza geográfica expressa de forma qualitativa como, por exemplo, mapas de pedologia, aptidão agrícola. Eles admitem tanto representação matricial quanto vetorial.
- ◆ **Mapas cadastrais:** São mapas onde cada um dos seus elementos é um objeto geográfico (geo-objeto), que possui atributos e pode estar associado a representações gráficas diferentes em mapas e escalas distintas. Hara (1998) acredita que o mapa cadastral é dividido em duas partes: a parte gráfica (mapas descritivos vetorialmente em forma de arcos e nós) armazenada em forma de arquivos; e a parte descritiva (atributos) armazenada em um banco de dados. Um bom exemplo seria um mapa de UTBs, formado por polígonos com características cadastrais, onde a cada uma das unidades é anexado um atributo descritivo como classe de solo.
- ◆ **Redes:** São dados onde cada objeto geográfico (cabo telefônico, transformador de rede elétrica, cano de água) possui uma localização geográfica exata e está sempre associado a atributos descritivos presentes no banco de dados. Em ambiente computacional, as redes são consideradas atributos não gráficos e são armazenados em um banco de dados.
- ◆ **Imagens:** Representam formas de captura indireta de informação espacial onde cada elemento da imagem (*pixel*) possui um valor proporcional à energia eletromagnética

refletida ou emitida pela área da superfície terrestre correspondente. Computacionalmente, as imagens de sensoriamento remoto são armazenadas em representação matricial e são consideradas geo-campos.

- ◆ **Modelo Numérico do terreno (MNT):** Trata-se de um modelo matemático que reproduz uma superfície real a partir de algoritmos e de um conjunto de pontos ou amostras (x, y) em um referencial qualquer, com atributos denotados de z, que descrevem a variação contínua da superfície. Com o conjunto de amostras pontuais pode-se construir dois tipos de representações, geradas a partir de interpoladores:
 - a) *grades regulares (ou retangular):* matriz de elementos com espaçamento fixo, onde é associado o valor estimado da grandeza na posição geográfica de cada ponto da grade.
 - b) *grades triangulares (TIN – Triangular Irregular Network):* estruturas topológicas vetoriais do tipo arco-nó, que formam um conjunto de recortes irregulares no espaço.

Para simplificar o entendimento dos tipos de dados, suas representações e formatos dentro do SIG, foi elaborada uma tabela com estas definições (Tabela 2.4).

TABELA 2.4 – Características dos Dados Tratados em SIGs.

TIPO DE DADO	REPRESENTAÇÃO	TOPOLOGIA	FORMATO COMPUTACIONAL
TEMÁTICO	geo-campo	Polígono	Matricial
CADASTRAL	geo-objeto	Ponto, linha, polígono	Vetorial
REDES	geo-objeto	Pontos e linhas	Vetorial
IMAGENS	geo-campo	Matriz	Matricial
NUMÉRICO (MNT)	geo-objeto	Pontos e linhas	Vetorial

FONTE: Adaptada de INPE (1999b).

2.5.3 – Álgebra de Mapas

O conceito de álgebra de mapas ou álgebra de campos seria uma extensão da álgebra tradicional, onde as variáveis manipuladas são campos geográficos (Berry, 1993). As operações sobre geo-campos são classificadas, segundo Tomlin (1990), como: pontuais; zonais; e de vizinhança. Suas representações podem ser visualizadas pela Figura 2.9 e serão descritas sumariamente.

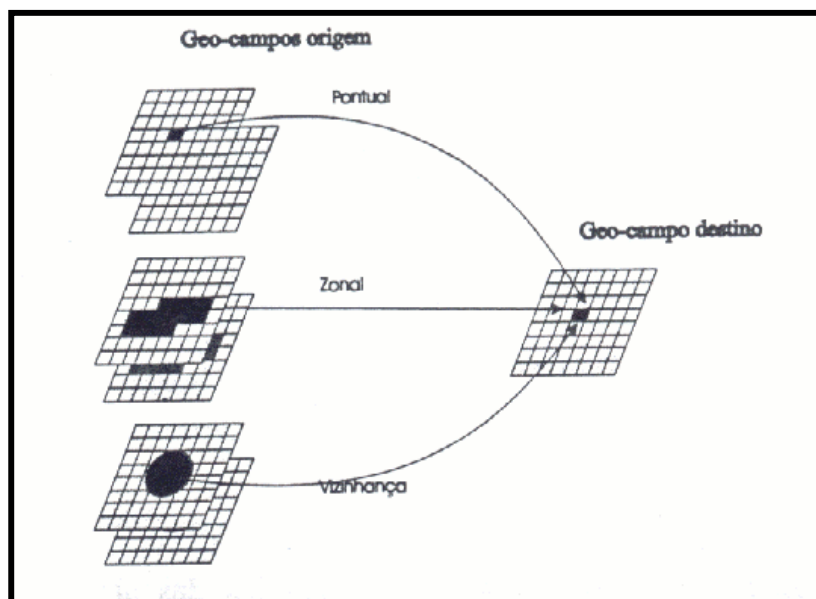


FIGURA 2.9 : Operações geográficas entre geo-campos.

FONTE: Barbosa (1997, p.53).

2.5.3.1 – Operações Pontuais

São operações onde o valor resultante em cada posição geográfica do geo-campo destino depende somente dos valores na mesma posição geográfica dos geo-campos origem. Estas operações são melhor explicadas na Tabela 2.5.

TABELA 2.5 : Operações Pontuais mais Utilizadas.

OPERAÇÕES	DESCRIÇÃO
Soma Subtração Divisão Multiplicação	- Gera um geo-campo destino onde o valor resultante em cada posição geográfica é a soma, a subtração, a divisão ou a multiplicação do valor na posição geográfica correspondente no geo-campo origem ou dos valores de dois atributos associados à posição geográfica correspondente nos geo-campos origem. Os geo-campos devem ser numéricos.
Média	- Gera um geo-campo destino onde o valor resultante em cada posição geográfica é a média aritmética dos valores dos atributos na mesma posição geográfica dos geo-campos origem. Esta operação só é aplicada sobre geo-campos numéricos.
Máximo/mínimo	- Gera um geo-campo destino onde o valor resultante em cada posição geográfica é o maior valor ou o menor valor do atributo na mesma posição geográfica dos geo-campos origem. Essa transformação só é aplicável em geo-campos numéricos.
Funções trigonométricas	- Gera um geo-campo destino onde o valor resultante em cada posição geográfica é o resultado da aplicação de uma função trigonométrica sobre o valor do atributo na mesma posição geográfica do geo-campo origem. Esta operação é aplicada somente sobre geo-campos numéricos.
Booleana	- Gera um geo-campo destino onde o valor resultante em cada posição geográfica é o resultado da aplicação de um operador da lógica booleana (AND, OR, NOT, XOR) sobre os valores dos atributos na mesma posição geográfica dos geo-campos origem. Esta operação é aplicada sobre geo-campos temáticos.
Fatiamento	- Divide a faixa de valores de um geo-campo origem em certo número de intervalos de valores e gera um geo-campo destino. É utilizada para transformar um geo-campo numérico em um geo-campo temático.
Reclassificação	- Agrega temas distintos de um geo-campo temático, seguindo regras definidas pelo usuário.
Ponderação	- Transforma um geo-campo temático em um geo-campo numérico. Este operador pode ser utilizado para integrar dados temáticos para manipulação posterior, como é o caso da metodologia ZEE.

FONTE: Adaptada de Burrough (1987); Berry (1993); Tomlin (1990); Câmara (1995).

2.5.3.2 – Operações de Vizinhança

Esse tipo de operação atua sobre um geo-campo origem e uma máscara que delimita a vizinhança. Durante o processamento a máscara se desloca sobre o geo-campo origem, e a cada passo de deslocamento aplica-se uma operação de vizinhança sobre os valores do atributo presente no geo-campo origem e delimitados pela máscara. As principais operações podem ser visualizadas na Tabela 2.6.

TABELA 2.6 – Operações de Vizinhança mais Utilizadas.

OPERAÇÕES	DESCRIÇÃO
Mínoria	- Gera um geo-campo destino onde o valor em cada posição geográfica é igual ao valor de menor frequência entre os valores do atributo na vizinhança daquela posição no geo-campo origem. É aplicada sobre geo-campos numéricos.
Declividade	- Gera um geo-campo destino onde o valor em cada posição geográfica é a declividade, máxima inclinação de um plano tangente à superfície no ponto, calculada a partir de um geo-campo origem contendo valores de altimetria.
Intervalo	- Gera um geo-campo destino onde o valor em cada posição geográfica é igual ao resultado de um intervalo de atributos do geo-campo origem.
Filtragem	- Utilizada sobre geo-campos numéricos para realçar determinadas feições lineares, direcionais, de bordas ou padrões de textura.
Diversidade	- Gera um geo-campo destino onde o valor resultante em cada posição geográfica é igual à diversidade de valores, número de valores diferentes do atributo, na vizinhança daquela posição no geo-campo origem. Geralmente esta operação é aplicada sobre um geo-campo temático.

FONTE: Adaptada de Burrough (1987); Berry (1993); Tomlin (1990); Câmara (1995).

2.5.3.3 – Operações Zonais

As operações de transformações zonais ou por região operam sobre um geo-campo origem e um conjunto de regiões delimitadas por polígonos na forma matricial ou vetorial. Neste caso, as regiões são estáticas, ou seja, não se deslocam sobre a região geográfica de estudo, como as operações de vizinhança. A Tabela 2.7 apresenta as operações zonais mais comuns.

TABELA 2.7 : Operações Zonais mais Utilizadas.

OPERAÇÕES	DESCRIÇÃO
Máximo zonal Mínimo zonal	- Gera um geo-campo destino onde o valor resultante em todas as posições geográficas que compõem uma região é igual ao maior valor ou ao menor valor do atributo encontrado na mesma região sobre o geo-campo origem.
Maioria zonal	- Gera um geo-campo destino onde o valor em todas as posições geográficas dentro de uma região é igual ao valor de maior frequência encontrado na mesma região sobre o geo-campo origem.
Intervalo	- Gera um geo-campo destino onde o valor resultante em todas as posições geográficas que compõem uma região é igual à média aritmética dos valores do atributo nas mesmas posições geográficas no geo-campo origem.
Diversidade zonal	- Gera um geo-campo destino onde o valor resultante em todas as posições geográficas que compõem uma região é igual a diversidade de valores da região (número de valores diferentes do atributo) no geo-campo origem.
Estatística zonal	- Produz uma estatística dos valores para cada região. O resultado é um dado tabular, indicando, por exemplo para cada região, os valores máximo, médio, mínimo, variância, desvio-padrão e diversidade.

FONTE: Adaptada de Burrough (1987); Berry (1993); Tomlin (1990); Câmara (1995).

Para se aplicar estas operações, o SIG SPRING (Sistema para **PR**ocessamento de **IN**formações **Geo**-referenciadas) possui, entre outras características, a possibilidade de

transformar e manipular dados geográficos, realizando operações algébricas entre mapas. Isso é possível quando se utiliza da Linguagem LEGAL (**L**inguagem **E**spacial para **G**eoprocessamento **AL**gébrico) de programação do SPRING.

2.5.4 - O SIG SPRING

O SPRING é um banco de dados geográfico de segunda geração, para ambientes UNIX e Windows, que foi desenvolvido pelo INPE. É baseado num modelo de dados orientado a objetos, do qual são derivadas sua interface de menus e a linguagem espacial LEGAL (Câmara e Medeiros, 1996; INPE, 1999b). Um SIG de segunda geração é considerado aquele concebido para uso em ambientes cliente-servidor, acoplado a gerenciadores de bancos de dados geo-relacionais¹, integrando um ambiente de dados não-gráficos ao sistema, com pacotes adicionais para processamento de imagens (INPE, 1999b). A integração é realizada dentro de um banco de dados e as manipulações podem estar relacionadas com linguagens de programação específicas, como o Programa LEGAL. Como forma de facilitar o entendimento da estrutura do SPRING, serão descritos os tópicos: banco de dados e programação em LEGAL.

2.5.4.1 - Banco de Dados do SPRING

Um banco de dados geográficos é composto por conjuntos de geo-campos, conjuntos de geo-objetos e conjuntos de objetos não espaciais (Medeiros, 1999). Não existe restrição sobre a escala de trabalho e nem sobre a continuidade espacial dos planos de informação que compõem o Banco de Dados Geográficos (BDG).

No SPRING, o BDG armazena geo-campos e geo-objetos que podem ser manipulados a partir de uma ou mais entidades conhecidas como **projeto**. Neste projeto, existem diferentes representações, denominadas **categorias**. As categorias podem ser: imagem, numérico, temático, cadastral, objeto e não-espacial. As categorias imagem, numérico e temático armazenam geo-campos e, as categorias objeto, cadastral e não-espacial, geo-objetos .

¹ **Geo-relacional** é um modelo de gerenciar o banco de dados de um SIG que se baseia na diferenciação, em diversas categorias, dos diferentes tipos de dados que serão tratados (Erthal, 1988).

Em uma categoria de dados de um projeto, dados distintos são guardados em **planos de informações** (PIs) diferentes.

2.5.4.2 – Programa LEGAL

Os programas desenvolvidos em LEGAL são elaborados com finalidades específicas que visem a manipulação espacial e permitam a modelagem de dados. Ele é constituído de três partes (NETGIS, 1997):

- Declarações: parte onde são definidas e listadas as variáveis de trabalho. Cada variável é descrita detalhadamente, ou seja, possui um nome (PI) que está associado a uma categoria do banco de dados.
- Instanciações: nesta parte são declarados os PIs que serão utilizados e os nomes dos PIs que serão criados.
- Operação: fase onde são descritas as operações de álgebra de mapas que serão realizadas.

Para cada parte do programa em LEGAL, existem características inerentes a qualquer linguagem de programação e, sendo assim, pode ser utilizado para inúmeras aplicações que variam de acordo com o objetivo do trabalho (NETGIS, 1997; INPE, 1999c).

CAPÍTULO 3

ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está inserida na Zona Tropical Semi-Árida. Esta Zona ocupa cerca de um milhão de quilômetros quadrados e abriga cerca de 18 % da população brasileira. A paisagem que não é utilizada para atividades agropastoris comuns nesta região, é caracterizada como cálida, espinhosa e seca, geralmente salinizada ou pedregosa e costuma-se defini-la como caatinga que, em linguagem Tupi, significa "mata branca" (EMBRAPA, 96).

O termo "caatinga", porém, possui diferentes significados. Considerando o significado ecológico-regional, a caatinga designa o ambiente ecológico que corresponde ao Trópico Semi-árido ou Sertão Nordestino. Fitogeograficamente, a caatinga determina, em um sentido amplo, uma classe ou grupo de formações vegetais. Já em um sentido restrito, é utilizado somente para um tipo de formação dentro do ambiente semi-árido (Carvalho, 1986a). Durante este trabalho, no entanto, o termo caatinga será utilizado para caracterizar a vegetação natural da área, no sentido restrito.

Existe uma heterogeneidade de paisagens nesta região que é conseqüência das variações na geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso do solo e clima. Devido a isso, serão apresentadas as características regionais e locais da Geologia, Geomorfologia, Pedologia, cobertura vegetal, uso do solo e climatologia, após situar a área em sua posição geográfica.

3.1 – Localização Geográfica

A área de estudo encontra-se dentro do Estado de Pernambuco e é definida pelas coordenadas geográficas de 8°00'00" a 8°27'00" de latitude sul e de 39°36'00" a 39°54'30" de longitude oeste (Figura 3.1). Corresponde a uma parte da folha Parnamirim (SC 24-V-B-II) na escala 1:100.000, produzida pelo Serviço Geográfico do Exército em 1968.

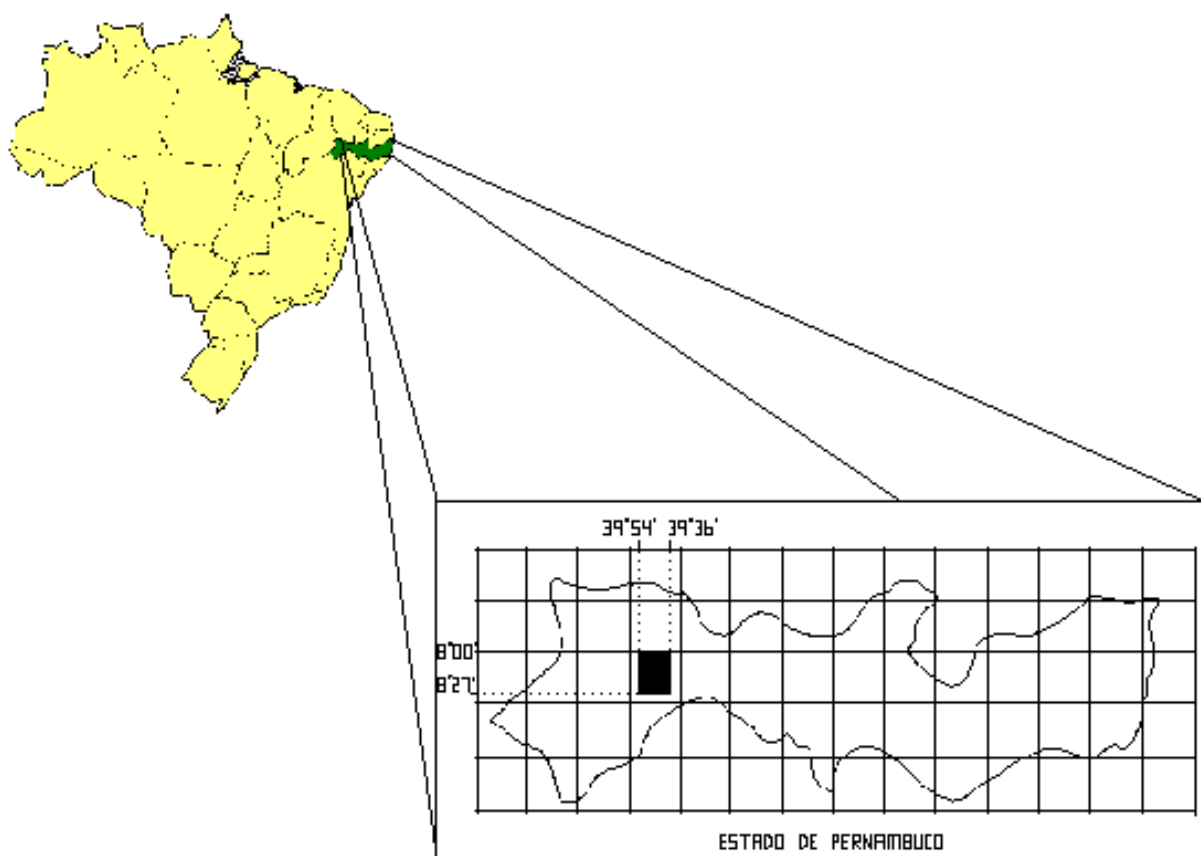


FIGURA 3.1 - Localização da área de estudo.

Para a definição desta área baseou-se nos seguintes aspectos:

- Testar a metodologia em uma região com condições de semi-aridez acentuada;
- Analisar uma área onde é crescente a necessidade de implantação de projetos de irrigação;
- Complementar e/ou facilitar os estudos de desertificação.

Para auxiliar na localização da área, é apresentada a Figura 3.2, que exhibe a malha viária e a rede de drenagem.

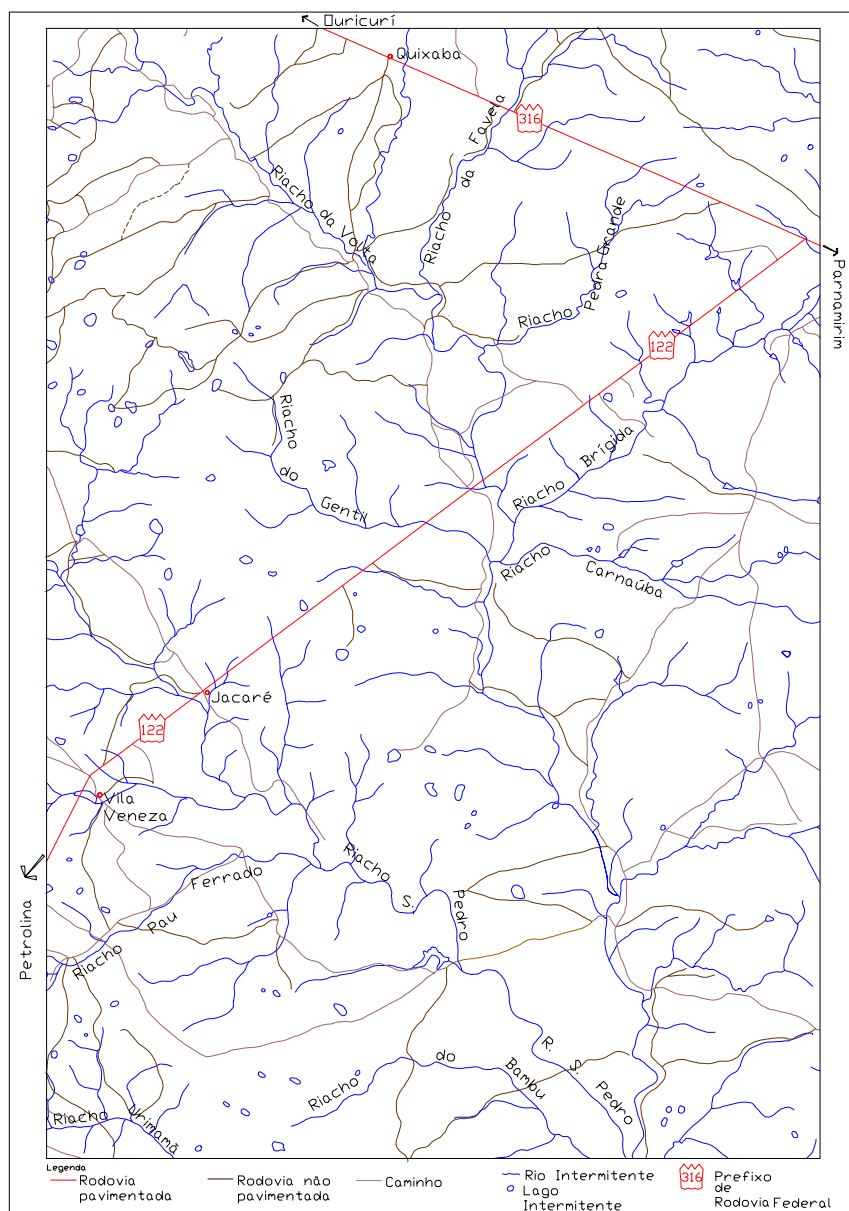


FIGURA 3.2 – Malha viária e rede de drenagem da área de estudo.

FONTE: Brasil (1968).

Para o acesso à área, pode-se utilizar as rodovias federais que se encontram com um razoável estado de conservação. A BR 122 corta a área de estudo no sentido sudoeste-nordeste unindo as cidades de Parnamirim à Petrolina e a BR 316 liga a cidade de Parnamirim à Ouricuri. Existe uma grande quantidade de estradas de terra e caminhos

unindo as pequenas propriedades às rodovias federais, em diferentes estados de conservação.

Com relação à drenagem, os rios demonstram as influências das condições climáticas e morfo-estruturais apresentadas pelo embasamento cristalino. Devido a este tipo de terreno, existe uma grande densidade de rios e riachos intermitentes ou com o escoamento temporário, pois as rochas possuem baixa permeabilidade e baixa porosidade, não acumulando as águas das chuvas, irregulares e em pouca quantidade. Os principais riachos encontrados na área são: Brígida, São Pedro, Pau Ferrado, Caraíbas, Carnaúba, do Gentil e da Aroeira. A jusante do Rio Brígida foi perenizada (perenização induzida pela instalação de represas à montante) para favorecer a ocupação e a instalação de propriedades com fins agropecuários.

3.2 – Geologia

3.2.1 – Contexto Regional

A Plataforma Brasileira é dividida em três grande unidades: Escudo das Guianas, Escudo Brasil-Central e Escudo Atlântico, que por sua vez, são subdivididos em sete províncias diferenciadas por suas características geológicas e evolutivas (Almeida ,1969). Uma das Províncias do Escudo Atlântico é a da Borborema que cobre grande parte do Nordeste e onde são encontradas bacias sedimentares e embasamento cristalino Este embasamento cristalino representa a zona mais interna do desenvolvimento geológico Pré-Cambriano da região nordeste, considerada o Domínio Central por Brito Neves (1983), caracterizada pela presença dos Lineamentos de Patos e Pernambuco.

O embasamento cristalino é constituído de rochas metamórficas, metassedimentares e ígneas pertencentes a complexos pré-Cambrianos. Este tipo de embasamento, onde ocorre a presença de rochas cristalinas do tipo granito-gnaisses, migmatitos e xistos é considerada a paisagem mais típica do sertão nordestino (Leinz e Amaral, 1969; Ab'Saber, 1974; Projeto RADAMBRASIL, 1983).

3.2.2 – Contexto Local

A área de estudo está assentada sobre o embasamento cristalino, dividida em duas partes iguais pelo Lineamento de Patos. Ao norte e ao sul do Lineamento são encontrados complexos gnáissicos migmatíticos, datados do Arqueano, indivisos, incluindo intercalações e restos de quartzitos, calcários cálcio-silicáticos, rochas básicas e áreas granulitizadas.

O DNPM (1980) divide a área em dois grandes grupos: Complexo Gnáissico-Migmatítico (ao norte do Lineamento) e Complexo Migmatítico-granitóide (ao sul do Lineamento) ambos formados no pré Cambriano. O Projeto RADAMBRASIL (1983) dá nomes aos Complexos (Monteiro – ao norte e Presidente Juscelino – ao Sul) que possuem as mesmas características litológicas. Os Complexos Presidente Juscelino e Monteiro caracterizam geologicamente a área de estudo e foram formados no Pré-Cambriano inferior e médio, respectivamente. O granito existente na área data do Proterozóico superior/Cambro Ordoviciano (Brito Neves, 1983).

O complexo Monteiro é constituído por um grande número gnaisses e zonas migmatíticas enquanto o Complexo Presidente Juscelino é caracterizado por núcleos de rochas homogêneas com foliações pouco desenvolvidas, representadas por migmatitos e gnaisses de composições diversificadas, sendo difícil a separação entre eles.

Apesar de terem sido encontradas diferentes classificações para caracterizar a área, a litologia não varia de um autor para outro e como este parâmetro é utilizado para avaliar as características das rochas frente aos processos de intemperismo, as características gerais das rochas encontradas na área de estudo, segundo Leinz e Amaral (1969) e Penteadó (1974), são descritas na Tabela 3.1.

TABELA 3.1 – Descrição das Características Gerais das Rochas Encontradas na Área de Estudo.

TIPO DE ROCHA	CARACTERÍSTICAS
Granito	Trata-se da rocha magmática mais comum que ocorre juntamente com gnaisses no embasamento cristalino. Está localizado na crosta superior da superfície terrestre, caracterizado pelos elementos silício (Si) e alumínio (Al) que constitui o substrato da crosta sílica que forma os blocos continentais. A cor varia de vermelha a cinza clara e está relacionada à cor do feldspato, mineral mais freqüente.
Gnaisse	São rochas metamórficas que podem se formar a partir de rochas ígneas ou sedimentares. O gnaisse proveniente do metamorfismo de sedimentos é chamado paragnaisse e o proveniente das rochas ígneas é designado ortognaisse. Ambos são muito comuns no embasamento cristalino brasileiro. Variam grandemente em aparência, composição mineral e estrutura, sendo que a variedade mais comum é o granito-gnaisse. São resistentes e geralmente formam cadeias de montanhas e elevações.
Migmatito	São gnaisses granitóides onde o metamorfismo foi acompanhado de fusão parcial com acréscimos de feldspatos alcalinos. Apresenta características ora magmáticas, ora metamórficas.
Xisto	Corresponde ao mais avançado grau de metamorfismo da argila. Possui uma estrutura de foliação que consiste em planos delgados levemente curvos de separação.
Aluvião	Corresponde aos depósitos detríticos inconsolidados, transportados pelos rios e compostos por areias, seixos de diversos tamanhos e argilas.
Quartzo de veio	É um mineral bastante comum, com dureza elevada e é encontrado em grande quantidade espalhado sobre a superfície do terreno, resultado da intemperização do granito e dos veios de quartzo.

FONTE: Leinz e Amaral (1969); Guerra (1969) e Penteadó (1974).



FIGURA. 3.3 – Exemplo da concentração de veios de quartzo encontrados na área de estudo (linhas claras na fotografia).

Paton, (1978) cita a presença de veios de quartzo em uma região da Austrália com características semi-áridas e áridas e apresenta um esquema que serve para explicar a pavimentação da superfície por detritos de quartzo, apresentado pela Figura 3.4.

As características climáticas do semi-árido (pluviosidade elevada concentrada em períodos curtos) associadas com as características litológicas do embasamento cristalino (abundância de fragmentos de minerais resistentes ao intemperismo, como o quartzo) são responsáveis pela pedregosidade dos solos, uma vez que todo produto do intemperismo de minerais mais facilmente intemperizáveis, como o feldspato e minerais máficos, que formariam as partículas mais finas do solo é carregado por ocasião das intensas chuvas, aumentando a concentração de fragmentos resistentes nos solos pouco profundos.

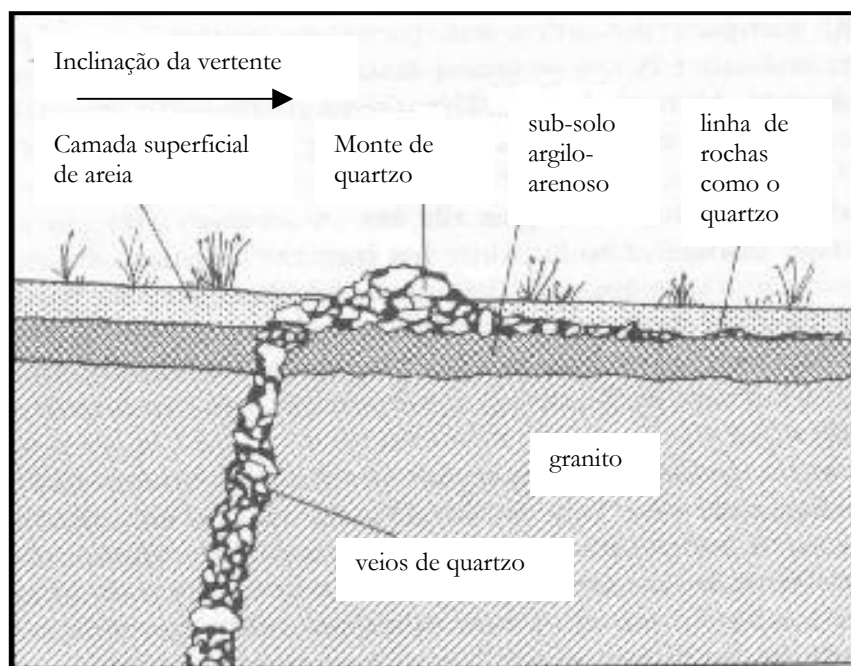


FIGURA. 3.4 – Visão esquemática dos veios de quartzos e da formação do pavimento detrítico.

FONTE: Adaptada de Paton (1978, p. 60).

3.3 – Geomorfologia

3.3.1 – Contexto Regional

A formação da paisagem nordestina pode ser explicada pelos ciclos de denudação e deposição desenvolvidos sob a ação de fenômenos de recuo das escarpas e pedimentação. As feições topográficas do nordeste foram formadas na sua maior parte durante o Cenozóico e a morfologia da região pode ser considerada sob dois aspectos: morfoclimática ou morfoestrutural (Mabessone, 1978). O aspecto morfoclimático determina a influência do clima nas formas de relevo em nível regional (Ab'Saber, 1996; Ross, 1996). Já o aspecto morfoestrutural relaciona as formas de relevo atuais aos processos endógenos² (Ross, 1994).

As áreas planas do interior semi-árido são interpretadas como sendo um grande pediplano, a "superfície sertaneja". Sob tal superfície erguem-se montanhas isoladas, serras e chapadas oriundas de rochas mais resistentes ou um simples relevo residual (Mabessone, 1978; Passos e Bigarella, 1998). As serras de semi-árido, segundo Mendes (1992), são áreas com altitude superiores a 600 e inferiores a 1000 metros.

As montanhas isoladas apresentam formas bem escarpadas, separadas da planície por uma transição abrupta com um topo agudo ou pouco arredondado ("*inselbergs*³"). As serras seriam um conjunto de *inselbergs*, ainda não separados em unidades individuais, constituídas de rochas resistentes ou formando divisores entre bacias fluviais. Elas também poderiam ser resultado de levantamentos posteriores, apresentando-se como cristas ou maciços rejuvenescidos (Mabessone, 1978).

O geomorfologia de uma região pode ser analisada de diversas formas e Ross (1992 e 1998) propõe uma ordem taxonômica para o relevo se baseando na sua natureza estrutural ou escultural o que possibilita a cartografia em categorias distintas. A ordem é dividida em táxons e variam de um a seis. No primeiro táxon são consideradas as unidades morfoestruturais, no segundo, as unidades morfoesculturais, no terceiro são representadas

² **Processos endógenos** são forças tectônicas que atuam sobre as rochas, dando origem aos diferentes tipos de relevo (Penteado, 1974; Porto, 1996).

³ **Inselbergs** são relevos residuais dos processos de pediplanação. Refletem a influência da estrutura e litologia no seu processo de formação (Penteado, 1974).

as unidades morfológicas ou padrões de formas semelhantes, no quarto, ocorre uma individualização do relevo e sua descrição. No quinto táxon são representados elementos de cada uma das formas de relevo identificadas e individualizadas em cada conjunto de padrões de formas e, no sexto táxon, elementos e formas menores produzidas pelos processos atuais ou geradas pela ação antrópica. A apresentação desta classificação é necessária para explicar a metodologia utilizada para este tema.

3.3.2 – Contexto Local

Adotando o terceiro táxon, perceptível na escala de trabalho, com o nível de detalhe abordado e descrita por Ross (1994, 1996), a área de estudo está situada dentro da Província Borborema, na unidade do Pediplano Sertanejo, com unidades geomorfológicas diferenciadas pelos diversos processos morfogenéticos, e conseqüentemente nas feições do modelado. Barbosa et al. (1983) já a situa como pertencente ao Domínio dos Maciços Remobilizados da região do Planalto da Borborema e Unidade Pediplano Central. Souza et al. (1994) definem como um conjunto estrutural de maciços falhados e dobrados em rochas do embasamento cristalino, com formas conservadas que exibem traços evidentes das superfícies pediplanadas, cujo estado de preservação é devido à semi-aridez que perdurou ao longo do Cenozóico Superior

Predominam as superfícies aplainadas com baixa declividade, amplitude altimétrica e dissecação do relevo caracterizadas pela presença de cristas e colinas. Também se encontram grandes áreas representando os terrenos aluvionares, onde os processos de acumulação são mais intensos. A caracterização de cada forma de relevo pode ser observada na Tabela 3.2.

TABELA 3.2 – Formas de Relevo Encontradas na Área de Estudo.

PADRÃO DE FORMA DE RELEVO	FORMAS DE RELEVO	SIGLAS	CARACTERÍSTICAS
AGRADACIONAIS	Planície Fluvial	Apf	Área próxima aos rios, sujeita ao processo de inundação
DENUDACIONAIS	Superfície Plana	Dp	Superfície de baixo relevo interrompida, ocasionalmente, por elevações residuais (inselbergs)
	Formas com topos aguçados	Da	Relevo residual com topo em forma de crista
	Formas com topos convexos	Dc	Relevo residual em topo em forma arredondada, colinosa

FONTE: Adaptada de Projeto RADAMBRASIL (1983); Ross (1996; 1998); Passos e Bigarella (1998).

3.4 - Pedologia

3.4.1 – Contexto Regional

O processo de formação de solos é resultante da ação do clima, relevo, seres vivos, material de origem e tempo (Lepsh, 1976; Bertoni e Lombardi Neto, 1985). Para estudá-lo é necessária a identificação dos perfis que se dividem em horizontes (A, B e C) definidos de acordo com suas propriedades.

Muitas limitações naturais de utilização dos diferentes tipo de solos estão relacionadas às suas propriedades físicas, químicas e bióticas. Tais limitações, no entanto, são potencializadas no semi-árido, quando se leva em conta o clima que ocasiona altas temperaturas e escassez de água (Cavedon, 1986). A falta de umidade também pode propiciar a existência de solos pouco desenvolvidos, rasos ou pouco profundos, pobres em matéria orgânica, cascalentos ou pedregosos (Oliveira et al., 1992).

No embasamento cristalino, as rochas apresentam enorme variação em pequenas distâncias, o que influi sobre a natureza dos solos. Como essas variações também determinam a topografia (as rochas mais resistentes ficam no alto dos morros), a distribuição dos solos traz um conjunto completo de informações sobre geologia, relevo e drenagem. Devido a isso, nas partes mais altas, onde o relevo varia de montanhoso a suavemente ondulado, são encontrados solos rasos, praticamente se assentando sobre as rochas (litossolos). Nas partes de relevo intermediário, predominam os solos denominados

Bruno não-cálcicos, que são medianamente rasos e apresentam com freqüência, uma camada de pedras e cascalhos à superfície. Nos locais mais baixos, por sua vez, são encontrados os solos argilosos que racham na época seca (vertissolos), solos salinos (solonetz) e solos aluviais diversos (Lepsch, 1976).

Levando em consideração a geologia do nordeste, pode-se dizer que a profundidade dos solos está relacionada à litologia e que esta influi na capacidade de infiltração, escoamento superficial e drenagem natural (vide Tabela 3.3). Além da geologia, o relevo e a cobertura da vegetação influem sobre as características dos solos. São parâmetros que não devem ser avaliados isoladamente quando se estuda a formação e perda do solo. Assim como Paton (1978) leva em conta a geologia, o relevo e a vegetação para analisar os processos de formação e perda de solo, Moura et al. (1994) utilizam o clima como outro parâmetro importante para a região semi-árida.

TABELA 3.3: Variação de Algumas Características dos Solos Nordestinos de Acordo Com a Formação Geológica.

CARACTERÍSTICAS	Bacia Sedimentar	Escudo Cristalino
Profundidade	Profundos (2 a 6m)	Rasos (~0.60m)
Capacidade de infiltração	Alta	Baixa
Escorrimento superficial	Baixo	Alto
Drenagem natural	Boa	Reduzida

FONTE: Adaptada de Suassuna (1994).

Essas informações fornecem subsídios para estudos sobre os solos e avaliando a vegetação, Ramos (1980), em um estudo sobre erodibilidade dos solos litólicos em pastagens nativas da caatinga, concluiu que a caatinga em seus diferentes estratos fornece uma proteção praticamente absoluta ao solo. Tenório (1970) chega a recomendar a utilização de gramíneas para a conservação dos solos no sertão. No entanto a existência de diferentes tipologias vegetais é condicionada pela profundidade do solo que pode ou não favorecer o desenvolvimento de vegetação mais densa. Apesar da vegetação minimizar o efeito das gotas de chuva que atingem o solo provocando a erosão, o homem continua sendo um dos fatores controladores deste processo (Guerra e Botelho, 1998).

3.4.2 – Contexto Local

Na área de estudo são encontrados diferentes tipos de solo mapeados pela EMBRAPA

(1997) e suas características, principalmente para a área de estudo, são apresentadas na Tabela 3.4. As principais características encontradas nesta tabela procuram relacionar cada tipo de solo às características da região e fornecem recomendações para sua utilização.

TABELA 3.4 – Principais Características e Formas de Utilização dos Solos Encontrados na Área de Estudo.

TIPO DE SOLO	PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS	UTILIZAÇÃO
Latossolo	São solos que possuem alto grau de intemperismo, indicando se tratar de solos bem desenvolvidos; profundidade efetiva individualizada pela diferença de cor entre os horizontes A e B; boa permeabilidade e porosidade, facilitando a drenagem interna. A drenagem satisfatória, bem como o baixo gradiente textural, são propriedades que restringem a ação dos processos erosivos nestes solos e, aliado à permeabilidade, favorecem o desenvolvimento dos vegetais. Esse tipo de solo ocorre, geralmente, em superfícies com topografia plana e suave ondulada.	A maioria dos latossolos possuem baixa fertilidade devido aos reduzidos teores de bases trocáveis, micronutrientes e fósforo. Porém, as boas condições topográficas e as favoráveis características físicas dos solos, fazem com que no semi-árido, estes solos possuem potencial elevado para utilização agrícola e tornando-os viáveis para irrigação.
Podzólico	São solos caracterizados pela existência do horizonte B textural. Este horizonte geralmente contém filmes de argila envolvendo superfícies das unidades estruturais chamados de "cerosidade". Além desta característica, o horizonte B é argiloso e sua estrutura é moderadamente desenvolvida. O horizonte A possui uma textura arenosa e/ou média e estrutura fraca a moderadamente desenvolvida. Essa diferença textural entre os dois horizontes ocasiona riscos maiores à susceptibilidade à erosão que pode ser intensificada em áreas com a topografia mais acidentada. Porém, estes solos são característicos de área com relevo suave ondulado e ondulado	Devido à diversidade de características, os podzólicos variam quanto à fertilidade. Na região semi-árida, ocorrem solos eutróficos em maior proporção que os distróficos. Estes últimos, contudo, podem responder satisfatoriamente à aplicação de corretivos e fertilizantes. Outra limitação bastante comum, encontrada na região é a alta pedregosidade natural o que dificulta o emprego de máquinas agrícolas para cultivo ou para a própria correção destes solos. Têm sido utilizados para diferentes cultivos, destacando-se os de subsistência - milho e feijão. No entanto, a exploração menos intensiva dos podzólicos, sobretudo os eutróficos, está relacionada às condições climáticas.
Cambissolos	São solos pouco evoluídos, cujos processos genéticos não se aprofundaram suficientemente para produzir um horizonte B com estrutura, cor e outras propriedades que o diferencie de outras classes de solos. Possuem textura geralmente argilosa e são considerados solos profundos a medianamente profundos. Geralmente possuem altas concentrações de minerais primários e no Nordeste são predominantemente eutróficos com alto potencial para utilização agrícola. Parte deles, porém, possui uma faixa concrecionária e/ou pedregosa o que dificulta a implantação de cultivos, principalmente se utilizadas máquinas. Distribuem-se em áreas com topografia plana e suave ondulada. De uma maneira geral, os cambissolos distribuem-se pelo Nordeste, em associação com outros solos em áreas movimentadas, condicionadas pelo relevo local, pelo material de origem e pelo clima.	Pelo fato de comprometer muito pouco o ecossistema da caatinga, estes solos possuem grande vocação para culturas nobres e, devido à sua grande expressão, poderiam transformar o nordeste num produtor de alimentos ao invés da posição atual de importador.

TABELA 3.4 - Continuação...

Bruno não-cálcico	Possuem uma ocorrência significativa no semi-árido e, por isso, são conhecidos como “Vermelhos do Sertão” e estão, geralmente associados aos solos litólicos, solonetz solodizado e planossolos. Apresentam horizonte A fraco ou moderado, pouco espesso em textura predominantemente média, com estrutura maciça ou em blocos. O horizonte B é textural, não hidromórfico, com argila de atividade alta. São considerados solos rasos a pouco profundos. Caracterizam-se por forte susceptibilidade à erosão, encontrando-se, na maioria das vezes, com boa parte do horizonte A já removida, deixando exposta uma cobertura de pedras, constituída por calhaus e matacões de quartzo rolados, desarestados ou semi-desarestados, espalhados pela superfície do solos, denominada “pavimento desértico” que é uma característica comum destes solos.	Sua utilização é restrita devido ao clima, à pedregosidade e à pouca profundidade. Os principais usos encontrados no semi-árido são algodão mocó, pecuária extensiva e culturas de subsistência.
Planossolos	São solos que apresentam uma transição abrupta do horizonte A para o B, que é textural. Possuem profundidade variável e são mal drenados internamente. O horizonte A é geralmente fraco e de textura arenosa enquanto o horizonte B textural possui estrutura do tipo prismática, moderada a fortemente desenvolvida, sendo pouco permeável e causando encharcamentos superficiais nas épocas chuvosas. Em épocas secas, o solo tende a se tornar ressecado e pode apresentar fendas entre os elementos texturais. Ocorrem em relevos plano e suave ondulado, formados a partir de diferentes tipos de material de origem (gnaisse, xistos, migmatitos e granitos, por exemplo). Devido ao seu alto teor de sódio trocável e outras propriedades deficientes, os planossolos não devem ser irrigados sem um estudo de viabilidade muito profundo e nunca sem drenagem.	Localizado comumente ao longo de rios e açudes, estes solos tendem à salinização devido à alta evaporação no clima semi-árido. Contudo, têm sido aproveitados com pecuária extensiva e, em menos escala, com lavouras de milho, feijão, sisal, palma forrageira e outras.
Solonetz solodizado	São solos halomórficos com horizonte B solonético (nátrico), que é uma variação do horizonte B textural, cujas propriedades estão ligadas a uma saturação com sódio trocável superior a 15%. O horizonte A é fracamente desenvolvido e pouco espesso, com textura mais comum média ou arenosa e estrutura maciça ou fraca em blocos subangulares, granular. O horizonte B textural possui textura média ou argilosa com coloração variada. São solos rasos ou pouco profundos com uma drenagem imperfeita, ácidos na parte superficial e alcalinos nos horizontes subjacentes. São encontrados em relevo plano e suave ondulados (terraços, colúvios, por exemplo).	Pouco utilizados para a agricultura, o solonetz possui muitos fatores limitantes, principalmente a elevada saturação com sódio. Pastagens extensivas, pequenos cultivos de palma forrageira e algodão mocó são os usos mais frequentes.

Continua...

TABELA 3.4 - Conclusão

Regossolos	São solos que podem variar de arenosos a cascalhentos. Possuem espessura variada porém, predominam os medianamente profundos a profundos. São bem drenados a excessivamente drenados. Ocupam regiões com relevo plano e suave ondulado, originários de saprólitos de granito, granitóides, gnaisses, diatexistos e granodioritos do Pré-Cambriano.	São solos muito utilizados para a agricultura devido à reserva de nutrientes e à textura arenosa que facilita a cultura não mecanizada. São comumente cultivados, neste tipo de solos, mandioca, milho, feijão, algodão herbáceo, palma forrageira, sisal e pastagens. A vocação natural é o uso com pequena agricultura, não sendo recomendáveis utilizações intensivas com aplicação de alta tecnologia e insumos em grandes propriedades.
Vertissolos	Conhecidos como "massapê", os vertissolos são solos minerais, não hidromórficos e caracterizados pela presença de argilas do grupo das esmectitas, com a propriedade de se expandirem quando úmidas e se contraírem, quando secas. São encontrados em relevo predominantemente plano e suave ondulado. O teor relativamente alto de argila e sua grande atividade conferem ao material desses solos elevada plasticidade e pegajosidade, quando molhados, e consistência extremamente dura, quando seco, fato que possui sérias implicações com relação à sua utilização. Ou seja, apesar de possuir elevado potencial agrícola relacionado ao alto potencial nutritivo derivado da argila, estes solos possuem uma permeabilidade lenta, o que exige uma tração muito grande para o seu preparo. A rotação de culturas e a redução da mecanização, neste caso é bastante indicada.	No semi-árido têm sido utilizados para culturas de algodão com pecuária extensiva em meio à vegetação natural, feijão, milho e arroz.
Solos aluviais	São desenvolvidos apenas nas planícies aluvionais, em depósitos recentes de origem fluvial ou lacustre com a peculiaridade da ausência de horizonte diagnóstico de subsuperfície.	Possuem grande potencialidade agrícola pela proximidade às áreas de várzea. Na região semi-árida do nordeste este tipo de solo oferece melhor condição de umidade e são os mais importantes para a região para o cultivo de culturas irrigadas ou de sequeiro.
Solos litólicos	São solos pouco desenvolvidos, rasos ou muito rasos, apresentando alta pedregosidade e/ou rochiosidade à superfície. Possuem forte drenagem e, devido a sua reduzida espessura e ao relevo são comumente muito suscetíveis à erosão.	Sua grande limitação para utilização está relacionada à pequena espessura, o que dificulta a penetração do sistema radicular das plantas. São indicados para reservas naturais, reflorestamento e pastagens. Essa limitação é acentuada no semi-árido devido à escassez de água.

FONTE: Adaptada de Projeto RADAMBRASIL (1983); Cavedon (1986); Oliveira et al. (1992).

3.5 – Vegetação

3.5.1 – Contexto Regional

Caatinga tem sido um termo genérico para designar um complexo de vegetação decídua e xerófila constituída de vegetais lenhosos e mais ou menos rica em cactáceas e bromeliáceas. As principais características da caatinga, segundo Egler (1951); Joly (1970); Ferri (1985); Rizzini (1976), são:

- complexo vegetacional onde predominam arvoretas e arbustos decíduos na seca.;
- a deciduidade da maior parte das espécies da caatinga é uma adaptação para evitar a transpiração excessiva;
- resposta rápida da vegetação após o aumento da umidade ou chuva, deixando-a com o aspecto verde viçoso;
- freqüência de ocorrência de árvores e arbustos com grande quantidade de espinhos (diversas famílias botânicas);
- as árvores esparsas raramente ultrapassam 10 a 12 metros;
- árvores geralmente baixas e delgadas, com intensa ramificação;
- troncos retilíneos, com folhagem delicada e cascas finas e lisas;
- apresentam órgãos subterrâneos tuberizados (armazenam água);
- abundância de cactáceas colunares que possuem como característica principal o fato de acumularem água no caule grosso e carnosos;
- na maior parte do ano quase não existem gramíneas no solo e, este fato não se deve à existência de queimadas (raras nesta região);
- existe baixa concentração de cipós e, em geral, poucos epífitos;
- enorme variação das formas de vida pois, uma mesma espécie pode apresentar diferentes fisionomias;

Além dessas características, as espécies vegetais desenvolveram adaptações específicas de resistência à seca. Algumas espécies toleram a perda d'água e o aquecimento ao máximo; outras fecham os estômatos rapidamente quando a seca se agrava devido à queda da umidade relativa do ar; existem espécies adaptadas para viver em áreas mais planas, próximas aos rios ou lençóis freáticos; muitas espécies reservam água em tecidos das folhas,

caules e raízes; outras podem eliminar, enrolar ou modificar a orientação das folhas em relação à luz solar para evitar a rápida perda d'água (Porto, 1986).

Essas espécies, que sobrevivem a extremos rigores climáticos e conseguem se desenvolver em ambientes áridos, são definidas como xerófitas. Ou seja, o xerofitismo é a propriedade que a planta tem de resistir à seca, em qualquer grau, em qualquer ambiente. Com todas essas adaptações e particularidades, existe uma dificuldade em se classificar a caatinga e Sá (1991), acredita que este fato esteja relacionado à sua extrema heterogeneidade fisionômica e composicional.

Egler (1951) divide a caatinga pernambucana em caatinga seca e agrupada; caatinga seca e esparsa; caatinga arbustiva densa; caatinga das serras e caatinga do chapadão de Moxotó. Esse sistema de classificação da vegetação além das características fisionômicas, também apresenta um enfoque ecológico-geográfico. Joly (1970) divide a caatinga em agreste, tabuleiro, carrasco e sertão. O agreste e o tabuleiro são formações litorâneas onde a caatinga é mais úmida e há o aparecimento de palmeiras e árvores frondosas. Já o carrasco representa a caatinga mais agressiva e, juntamente com o sertão, situa-se no interior do nordeste, já caracterizado pela seca mais intensa. Eiten (1983) classifica a vegetação da caatinga em oito termos internacionais para a comparação com vegetações não brasileiras: caatinga florestal; caatinga de arvoredo; caatinga arbóreo-arbustiva fechada; caatinga arbóreo-arbustiva aberta; caatinga arbustiva fechada; caatinga arbustiva aberta; caatinga savânica; caatinga savânica lageada. O Projeto RADAMBRASIL (1983) e Sá (1991), por sua vez, classificam a caatinga brasileira como “estepe”. Trata-se de uma tentativa de uniformização fitogeográfica do espaço intertropical. A classificação, a partir desta nova denominação, porém, indica áreas com maior ou menor densidade de cobertura e varia de estepe arbórea densa à estepe arbustiva aberta.

O IBGE (1992) apresenta, porém, a mais recente classificação oficial da complexa vegetação da caatinga, definindo as seguintes classes: savana-estépica, savana-estépica florestada, savana-estépica parque e savana-estépica gramíneo-lenhosa. A diferença entre as classes está baseada na ocorrência de algumas famílias e as características fisionômicas de cada formação vegetal. Nesta classificação, a caatinga é considerada “savana estépica” por

designar uma vegetação tropical de características estépicas próximo a Zona Holártica⁴ Africana. Esta classificação foi adotada para este trabalho pois, além de ser mais recente publicada, é a que melhor reflete a qualidade da vegetação associada à paisagem descrita durante a caracterização da área.

As classificações procuram separar as espécies arbóreas das espécies arbustivas e herbáceas segundo suas características. Para estudar a dinâmica e estrutura da caatinga de Pernambuco, Carvalho (1986a) realizou um estudo florístico para definir diferentes classes de caatinga com o auxílio de dados orbitais. Rodal (1992), no entanto, já trabalhou com a análise da fitossociologia da vegetação em áreas de caatinga, numa tentativa de se obter informações necessárias para a preservação da vegetação, planejamento de ocupação e recuperação de áreas degradadas. Já Reis e Lima (1970) relacionam, como forma de auxiliar estudos do clima, o aparecimento de determinadas espécies na "zona do sertão" e sua aplicação econômica. A identificação das espécies também se torna necessária nesta região, onde o nome vulgar é mais conhecido e possui diferentes terminologias. O trabalho de Sá e Fotius (1984) servem, neste sentido, para consultar, dentro de uma listagem, as principais espécies arbóreas, arbustivas e herbáceas que ocorrem na caatinga e sua utilização, podendo ser analisada quanto à distribuição e contribuição de cada espécie.

3.5.2 – Contexto Local

Dentro da área estão representados alguns poucos tipos de caatinga e foram mapeadas pelo IBAMA (1992): caatinga arbóreo densa, arbóreo arbustiva aberta e arbóreo arbustiva fechada. Segundo o IBGE (1992), as classes de vegetação, adotadas nesta metodologia, são apresentadas na Tabela 3.5.

⁴ **Holártica** se refere à Zona caracterizada por famílias vegetais endêmicas que abrange o Norte da África, Ásia e Europa (IBGE, 1992).

TABELA 3.5 – Características das Tipologias Vegetais Encontradas na Área de Estudo.

TIPOLOGIA VEGETAL	CARACTERÍSTICAS
Savana-estépica florestada	Vegetação com maior concentração de plantas do estrato arbóreo, com troncos grossos e porte médio, com espinhos e/ou acúleos, bastantes galhos que perdem as suas folhas ou possuem, em geral, decidualidade foliar total durante a época mais rigorosa. O estrato arbustivo é geralmente aberto e o estrato herbáceo pode ser escasso ou não existir.
Savana-estépica arborizada	Vegetação com as mesmas características da savana estépica florestada com indivíduos de menor porte com maior espaçamento entre eles. O estrato arbustivo abundante pode apresentar clareiras e o estrato herbáceo possui abundância de espécies semi-lenhosas como bromeliáceas e cactáceas.
Savana-estépica parque	Os indivíduos arbóreos são bastante espaçados com uma pseudo-ordenação de plantas lenhosas raquíticas sobre denso tapete herbáceo-arbustivo. O uso excessivo da pecuária tem modificado a composição florística produzindo aumento de espécies arbustivas e herbáceas pouco nutritivas e semi-lenhosas, como malváceas e bromeliáceas, como a macambira.

Fonte: Adaptada de IBGE (1992).

As principais espécies encontradas em cada classe de vegetação podem ser observadas na Tabela 3.6.

TABELA 3.6 - Principais Famílias e Espécies Vegetais Encontradas na Área de Estudo.

ESTRATO	FAMÍLIA	GÊNERO E ESPÉCIE	NOME VULGAR
ARBÓREO	Anacardiaceae	<i>Schinopsis brasiliensis</i>	Baraúna
		<i>Spondis tuberosa</i>	Imbuzeiro
	Apocynaceae	<i>Aspidosperma pirifolium</i>	Pereiro
	Bignoniaceae	<i>Tatebunia spongiosa</i>	Sete cascas
	Cactaceae	<i>Cereus jamacaru</i>	Mandacaru
		<i>Cereus squamosus</i>	Facheiro
	Caesalpiniaceae	<i>Cassia excelsa</i>	Canafístula
	Euphorbiaceae	<i>Cnidoscolus phyllacanthus</i>	Favela de cachorro
Mimosaceae	<i>Anadenanthera macrocaipa</i>	Angico	
Rhamnaceae	<i>Zizyphus joazeiro</i>	Juazeiro	
ARBUSTIVO	Boraginaceae	<i>Cordia leucocephala</i>	Moleque-duro
	Cactaceae	<i>Pilosocereus gounelli</i>	Xique-xique
	Erythroxylaceae	<i>Erythroxylum mummularia</i>	Rompe-gibão
	Euphorbiaceae	<i>Cnidoscolus babianus</i>	Favela de galinha
		<i>Croton sonderianus</i>	Marmeleiro
		<i>Croton sp.</i>	Quebra-faca
		<i>Jatropha pobliana</i>	Pinhão bravo
		<i>Manihot pseudoflaziovii</i>	Maniçoba
	Caesalpiniaceae	<i>Caesalpinia pyramidalis</i>	Catingueira
	Mimosaceae	<i>Calliandra depauperata</i>	Carqueja
		<i>Mimosa hostilis</i>	Jurema preta
Verbanaceae	<i>Lippia microphylla</i>	Alecrim	
HERBÁCEO	Bromeliaceae	<i>Neoglaziovia variegata</i>	Caroá
		<i>Bromelia laciniosa</i>	Macambira
	Cactaceae	<i>Melocactus babiensis</i>	Coroa de frade
		<i>Opuntia inamoena</i>	Quipá
	Commelinaceae	<i>Commelia nudiflora</i>	Andaca
	Gramineae	<i>Panicum trichoides</i>	Capim mimoso
	Malvaceae	<i>Herissantia crispa</i>	Malva de lavar prato
	Selaginellaceae	<i>Selaginella convoluta</i>	Jericó
Tiliaceae	<i>Corchorus sp</i>	Favinha	

FONTE: Adaptada de Sá e Fotius (1984).

3.6 – USO DO SOLO

3.6.1 – Contexto Regional

A economia da região semi-árida ou Trópico Semi-Árido (TSA) brasileiro é caracterizada pela agricultura de baixa produtividade e pecuária extensiva. A produção se restringe ao algodão e pecuária, além das culturas de subsistência (feijão, milho, mandioca, palma, etc) (Sá, 1994). Os solos onde estão instaladas as propriedades agrícolas são em sua maioria ricos em elementos nutritivos para as plantas mas muito deles apresentam sérias limitações para a agricultura, como o regime incerto e escasso de chuvas. As áreas com relevo baixo e plano podem também apresentar problemas ligados ao excesso de sais (salinização). Estas limitações no entanto podem ser corrigidas com práticas adequadas de irrigação e drenagem (Lepsch, 1976; Bertoni e Lombardo, 1985, Cavedon, 1986).

Outro fator que limita a ocupação humana e a produtividade é a erosão e a perda de solo. Os agricultores tendem, dentro da sua propriedade, utilizar áreas para o cultivo, até estas se esgotarem e, assim, ocupar outras áreas, sem a adoção de técnicas que preservem o solo como rotação de culturas, irrigação, etc. Leprun (1981) acredita que a ausência de mecanização agrícola é o fator que mais tem dificultado o avanço dos processos erosivos. Se o agricultor não se mantiver informado sobre as técnicas de conservação do solo, a erosão tende a se tornar irreversível.

3.6.2 – Contexto Local

A utilização do solo na área estudada tem sido voltada à atividade agropecuária de subsistência. São observados diferentes tipos de utilização, descritos na Tabela 3.7. As características foram definidas com base em informações de legendas temáticas e outras baseadas em informações coletadas em campo.

TABELA 3.7 – Características das Classes de Uso do Solo Encontradas na Área de Estudo.

TIPOLOGIA VEGETAL	CARACTERÍSTICAS
Solo exposto	Esta classe está associada a diferentes fenômenos como, por exemplo, a presença de afloramentos rochosos, solos pedregosos, culturas recentes e abandono de terras. Os afloramentos rochosos e os solos pedregosos inviabilizam a utilização do solo, que é abandonado ou serve para o pastoreio de ovinocultura e pecuária extensiva. As culturas recentes, caracterizadas pelo recém-plantio, também possuem grande exposição do solo e por isso estão dentro desta classe. O abandono de terras evidencia um fenômeno comum no semi-árido brasileiro que é o abandono de terras que pode ser causado pelo uso agrícola itinerante ou pela perda e lenta recuperação da produtividade do solo. Em geral, estas áreas sofreram degradação física (compactação) da estrutura do solo, ocasionadas pela lavoura e a degradação química, evidenciada pela perda do conteúdo de matéria orgânica ou até salinização.
Pastagem	Foram observadas dois tipos de pastagem na área: intensiva e extensiva. A pastagem intensiva está relacionada às áreas destinadas ao cultivo de capim <i>buffel</i> (<i>Cenchrus ciliaris</i>), originário da África e que se adaptam às condições climáticas e de pastoreio do semi-árido. São encontrados em grandes propriedades, cercadas, em regiões mais afastadas dos leitos dos rios e geralmente com práticas de manejo do gado. A pastagem extensiva é caracterizada pela falta de cercamento dos animais, realizada em grandes áreas de forma “comunitária”, onde os bovinos e caprinos são mal distribuídos e em pequeno número, concentrando-se próximos à água. Este tipo de pastagem, porém, não permite uma clara delimitação, como a intensiva e por isso não foi identificada e caracterizada neste trabalho.
Culturas anuais	Trata-se do cultivo de milho, cebola, feijão, hortaliças, entre outras, que estão situadas principalmente ao longo da planície aluvial, onde o solo é mais favorável ao desenvolvimento da agricultura. Nas áreas mais afastadas é encontrado, basicamente, o cultivo de palma forrageira, utilizada para alimentação bovina e caprina. As técnicas de irrigação por gotejamento ou abastecidas por sistemas, em regiões mais afastadas dos rios, também são aplicadas.
Caatinga antropizada	São áreas onde a vegetação natural foi eliminada para atividades agrícolas, pecuárias, ocupação humana, instalação de açudes que, após sua utilização foram abandonadas. A partir daí, a vegetação nativa tenta se restabelecer, passando por estágios suscecionais característicos que permitem caracterizá-la como antropizada.

3.7 – Clima

3.7.1 – Contexto Regional

Devido aos diferentes critérios utilizados para se avaliar dados de regiões secas, semi-áridas e sub-úmidas, ocorre uma dificuldade em definir e diferenciar precisamente cada uma delas. Ab'Sáber (1974) distingue o semi-árido brasileiro apresentando-o como uma exceção em relação aos climas zonais peculiares às faixas de latitude similares. É considerado, portanto, como um clima azonal de expressão regional.

O clima semi-árido é caracterizado pela insuficiência, irregularidade temporal e espacial das precipitações, temperaturas elevadas e fortes taxas de evaporação (Ab'Sáber, 1974; Nimer, 1979 a,b; Ayoade, 1986; Souza et al., 1994). Este clima é controlado, segundo Ayoade

(1986), pela influência das massas de ar marítimas e, segundo Nimer (1979b), pelo fato de que a região nordeste é o ponto final de diversos sistemas de correntes atmosféricas.

As principais massas de ar que influenciam o nordeste (Figura 3.5) , segundo Sussuana (1994), são a Equatorial Atlântica (Ea), Equatorial Continental (Ec), a Polar (P), a Tépida Atlântica (Ta) e a Tépida Calaariana (Tk). A Ta e a Tk possuem características distintas em suas propriedades físicas estruturais. A Ta tem propriedades marinhas (morna e úmida) e a Tk, propriedades desérticas (morna e seca). É este ar de origem desértica que determina a aridez no Nordeste. Ambas influenciam a formação da Frente Polar Atlântica (FPA), ao se encontrar com a P, originária da região periglacial antártica, e da Convergência Inter-Tropical (CIT), ao se encontrarem com a Ea, formada no Atlântico Norte.

A FPA se bifurca em duas trajetórias: a continental interior e a costeira. Quando se encontra com a Ta, a frente costeira a resfria acarretando os aguaceiros tempestuosos da costa nordestina no outono e inverno. Este efeito se acentua quando encontra a Tk, refrescando-a, fazendo elevar-se e desencadeando a instabilidade condicional (chuvas que ocorrem devido a alguma condição atípica do ambiente e não porque normalmente ocorreriam). Assim se explica a zona úmida existente na faixa costeira nordestina.

A Ec possui sua origem na Amazônia e apresenta características marinhas (quente e úmida) porque recebe o vapor d'água emanado pela floresta. No verão se expande e afeta a porção ocidental do nordeste, evitando, por exemplo, que exista semi-árido no Maranhão. Porém, em anos de grande energia, a Ec pode ocasionar chuvas em todo o país, exceto na costa oriental do nordeste, onde se mantém a Tk e a Ta.

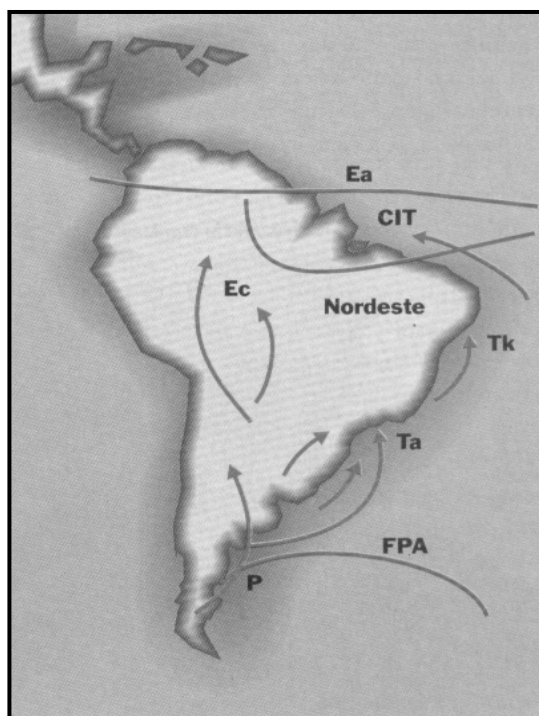


FIGURA 3.5 - Representação das massas de ar que atuam sob o nordeste brasileiro.

FONTE: Sussuana (1994).

A ação das massas de ar, a evapotranspiração e as altas temperaturas da região nordeste, por sua vez, caracterizam o clima do Nordeste com um período chuvoso curto, geralmente, de 4 a 5 meses mas, os eventos pluviais (responsáveis pelo surgimento de rios) ocorrem poucas vezes dentro deste período (Aouad, 1986). Deve-se ressaltar que o que caracteriza a seca não é o total de chuvas e sim a sua distribuição irregular. A palavra “seca”, segundo Aldaz (1971), descreve um complexo fenômeno “sócio-agro-meteorológico” que afeta a região nordeste em intervalos variadamente espaçados e tem sido bastante anunciada devido ao misticismo⁵ em torno da palavra.

No entanto, o relevo também é responsável pela distribuição dos ventos e formação do clima quando induz, por exemplo, o efeito orográfico ou "chuvas de relevo" (Suassuna, 1994). Estas chuvas são provocadas pelos ventos úmidos que se resfriam pela altitude e se precipitam diferenciando as serras em úmidas e secas. As serras úmidas são consideradas verdadeiros “oásis”, segundo Mendes (1992) quando comparadas à caatinga caducifolia e seca circundante. Nestas áreas, as chuvas são abundantes e a ocorrência de fontes perenes

⁵ O misticismo da palavra “seca” está relacionado ao impacto social que esta causa aos brasileiros, diferente do que o quase-sinônimo “drought” provoca nos ingleses e que representa, basicamente, uma situação sem chuva (Aldaz, 1971).

de água é freqüente, com clima mais ameno, temperaturas mais baixas, umidade relativa maior, nebulosidade maior e insolação menor do que as áreas de baixa altitude.

A evapotranspiração, fenômeno de transferência de água e de calor para a atmosfera, é um importante parâmetro para se relacionar a dinâmica da atmosfera ou o clima do Nordeste já que, nestas regiões, a taxa de evapotranspiração é alta, causando adaptações do solo e da cobertura vegetal (Silva, 1977). As temperaturas na região nordeste são elevadas, a umidade relativa do ar é baixa e as precipitações pluviométricas são inferiores à evapotranspiração potencial caracterizando um acentuado déficit hídrico. O tipo de clima é essencialmente tropical quente semi-árido com 6 a 11 meses secos, passando a mediterrâneo sub-úmido com 4 a 5 meses secos na faixa oriental (Suassuna, 1994).

O ambiente da caatinga está situado em uma zona intertropical, marcado por uma homogeneidade térmica e por uma heterogeneidade pluviométrica observada pela variabilidade intra-anual das chuvas. Azevedo (1974) chega a propor estudos com uma série histórica menor que um mês para se determinar com maior precisão o período chuvoso na região nordeste.

3.7.2 – Contexto Local

As condições climáticas da área de estudo são de transição entre semi-aridez média e acentuada. A precipitação média anual varia entre 400 e 800mm, com um curto trimestre chuvoso em janeiro-fevereiro-março e o trimestre mais seco em julho-agosto-setembro (Aldaz, 1971; Carvalho, 1986b; Souza et al., 1994). Este fato pode ser observado a partir do Diagrama Ombrotérmico (Figura 3.6) elaborado a partir de dados de precipitação de diversos postos espalhados na área de estudo e dados de temperatura mensais, do posto de Petrolina (PE).

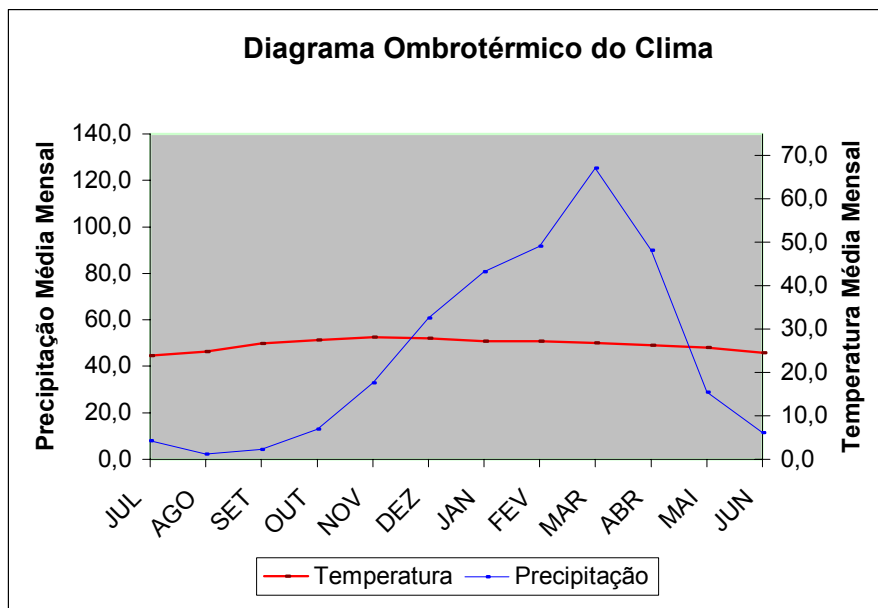


FIGURA. 3.6 - Diagrama ombrotérmico do clima região que abrange a área de estudo.

Segundo Projeto RADAMBRASIL (1983), a área de estudo está localizada em uma região onde predomina o clima do tipo Bsw'h'. Esta classificação foi elaborada por Koppen e relaciona a temperatura e a precipitação pluvial às características sazonais (Ayoade, 1986). O "B", por exemplo, caracteriza o tipo climático seco onde a evapotranspiração potencial média anual é maior do que a precipitação média anual. Não existe excedente de água e, por isso, nenhum rio permanente origina-se nestas áreas. As demais letras estão relacionadas à distância sazonal da precipitação, características de temperatura e indicam, basicamente, que o clima é quente, com temperatura média anual maior que 18°C.

CAPÍTULO 4

METODOLOGIA

Para a realização deste trabalho foram cumpridas as etapas que podem ser visualizadas na Figura 4.1, que apresenta o fluxograma metodológico, dividido em cinco grandes fases:

- ◆ **Fase I - Aquisição de dados:** compreende o processo de seleção de material bibliográfico e temático.
- ◆ **Fase II – Banco de dados geo-referenciado:** descreve a elaboração do modelo conceitual do SPRING, bem como a entrada e preparação dos dados.
- ◆ **Fase III – Manipulação e análise dos dados:** enumera e descreve as técnicas utilizadas para processar e avaliar os diferentes tipos de dados.
- ◆ **Fase IV - Análise Ecodinâmica:** compreende todas as análises para o tratamento dos limites, definição dos valores e operações algébricas entre mapas.
- ◆ **Fase V – Mapa de vulnerabilidade natural à perda de solo:** apresenta o produto gerado após a execução da fase IV e suas características.

Seguindo regras básicas de teoria de sistemas, o fluxograma apresenta etapas divididas entre decisões, processos, documentos, banco de dados e produtos. Cada etapa é caracterizada por um tipo de símbolo, onde o losango representa uma decisão a ser tomada, o círculo representa um processo realizado, o retângulo representa um produto obtido, o cilindro indica um armazenamento de dados e, os documentos são representados por formas semelhantes a arquivos.

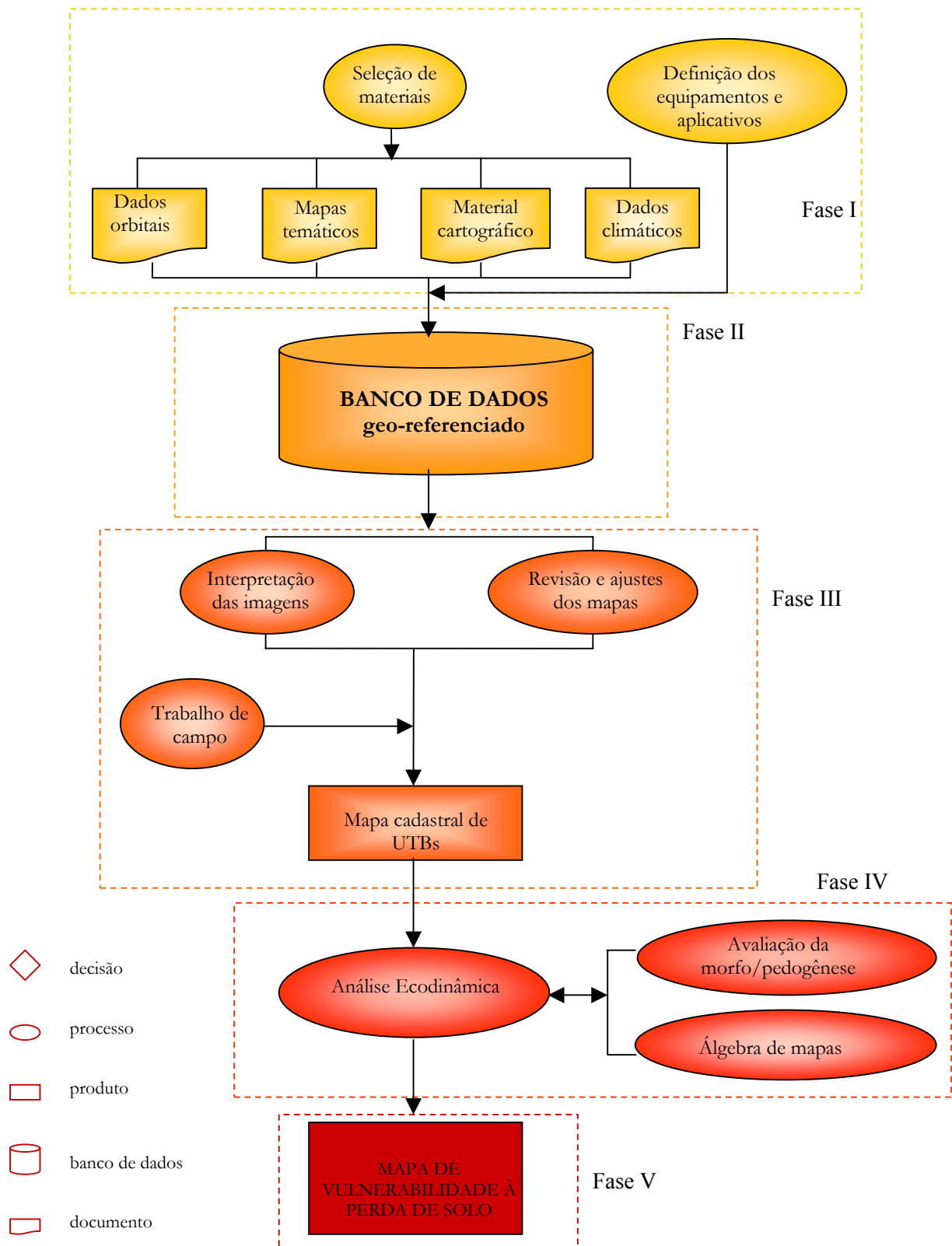


FIGURA 4.1 : Fluxograma metodológico.

4.1 – Fase I: Aquisição de Dados

Nesta fase será descrito o processo de seleção de materiais, de equipamentos e aplicativos. Envolve dos diferentes tipos de dados, de diferentes fontes assim como aplicativos e equipamentos diversos para etapas específicas de trabalho.

4.1.1 - Seleção de Materiais

Os materiais empregados foram: dados orbitais, dados temáticos, material cartográfico e dados climáticos. Esta divisão está relacionada aos diferentes formatos encontrados e tratamentos realizados. Os formatos dos materiais, dentro das escalas encontradas, bem como as informações utilizadas estão descritas na Tabela 4.1.

TABELA 4.1 : Descrição dos Materiais Utilizados.

TIPO DE MATERIAL	FORMATO	ESCALA	INFORMAÇÕES UTILIZADAS
Imagens	Digital Papel	* 1:100.000	- Descrição e identificação de características da paisagem
Material cartográfico	Papel	1:100.000	- Características geográficas (coordenadas, projeção, etc); - Informações sobre topografia, localidades, estradas e rede de drenagem.
Dados Climáticos	Digital	**	- Postos pluviométricos com dados de precipitação - Posto meteorológico com dados de temperatura
Mapas temáticos	Papel	1:100.000	- Classes de vegetação e solos
		1:500.000	- Classes de Geologia
		1:1.000.000	- Classes de Geomorfologia

* - as imagens em formato digital podem ser analisadas em diferentes escalas.

** - trata-se de arquivos no formato texto (.txt) não sendo definidos por escala.

Para facilitar a compreensão, serão descritos os diferentes materiais e como foi realizado o processo de seleção das diferentes fontes.

4.1.1.1 – Dados Orbitais

Os dados orbitais foram adquiridos levando em conta a imagem TM/Landsat órbita/ponto 217/66 quadrante B com correção geométrica de nível 4 e estão exibidos na Tabela 4.2.

TABELA 4.2 – Características dos Dados Orbitais Utilizados no Trabalho.

Imagem* Órbita/ponto	Data	Formato	% de cobertura de nuvens	Bandas
217/66B	22/11/84	Digital	0	1, 2, 3, 4, 5 e 7
217/66B	22/10/96	Digital	20	1, 2, 3, 4, 5 e 7
217/66B	22/10/96	Papel	20	3, 4 e 5
217/66B	9/12/96	Digital	20	1, 2, 3, 4, 5 e 7
217/66B	9/12/96	Papel	20	3, 4 e 5

* Todas as imagens foram fornecidas pelo INPE de Cachoeira Paulista, obtidas através do Atendimento ao Usuário (ATUS) em São José dos Campos.

As imagens foram selecionadas em formato digital e em papel fotográfico, com menor porcentagem de nuvens e em diferentes datas. Esta multitemporalidade permite a extração das unidades de paisagem natural de uma maneira mais precisa pois a ocupação humana, como padrão identificável nas imagens, dificulta a delimitação exata das formas de relevo. Foram realizados processamentos para melhorar a qualidade visual que, juntamente com as imagens em papel, foram bastante úteis no processo de interpretação da paisagem, devido à informação contextual, que leva em consideração o entorno da classe analisada.

Para as manipulações, a imagem 217/66B de 22/10/96 foi a escolhida por ser mais recente e com menor cobertura de nuvens dentro da área de estudo. A imagem de 9/12/96, apesar de ter a mesma porcentagem de cobertura, possuía uma alta concentração de nuvens dentro da região de interesse, o que não permitia a caracterização correta dos diferentes polígonos.

4.1.1.2 – Dados Temáticos

Os dados temáticos de geologia, vegetação, geomorfologia, solos e clima foram obtidos em diferentes entidades ou ainda, consultados a partir de um acervo encontrado em bibliotecas. Eles foram selecionados para que a área pudesse ser caracterizada quanto ao meio físico, fornecendo informações diretas sobre os diferentes temas. Esta seleção esteve baseada na data do mapeamento e na escala mais próxima a do trabalho e os mapas utilizados são:

- Mapa Geológico, escala 1:1.000.000 (Projeto RADAMBRASIL 1983);
- Mapa Geomorfológico, escala 1: 1.000.000 (Projeto RADAMBRASIL, 1983);

- Zoneamento Agroecológico do Estado do Pernambuco – levantamento de reconhecimento de baixa intensidade de solos, escala 1: 100.000 (EMBRAPA, 1997);
- Mapa de Vegetação, escala 1: 100.000 (IBAMA, 1992);

4.1.1.3 – Material Cartográfico

Como material cartográfico, foi utilizada a seguinte carta topográfica:

Folha: Parnamirim (PE) – MIR 1762

SC-24-V-B-II

Projeção: UTM/Mercator

Coordenadas: Latitude sul 8° 00' 00" a 8° 30' 00"

Longitude oeste 39° 30'00" a 40°00'00"

Escala: 1: 100.000

Fonte: Serviço Geográfico do Exército (1968)

Além das informações sobre a topografia, a carta topográfica também foi utilizada para situar a área de estudo dentro do espaço geográfico. Este material se torna importante pois todo o trabalho está baseado na montagem de um banco de dados geo-referenciado e geo-relacional.

4.1.1.4 – Dados Climáticos

Estes dados foram fornecidos por estações pluviométricas e meteorológicas e são representados por pontos com informações sobre: a precipitação, temperatura, número de dias com chuva e série histórica com dados coletados. São dados numéricos necessários para caracterizar o comportamento do clima na área de estudo e podem ser divididos em:

- Dados de Pluviosidade Mensal (DNEE, 1996; ANEEL, 1999).
- Dados de Temperatura (CPTEC, 1999).

4.1.2 - Definição dos Equipamentos e Aplicativos

Os equipamentos, aplicativos e suas utilidades para o trabalho foram as seguintes:

- Estação de trabalho para o processamento dos dados.

- PC (*Personal computer*) para o processamento dos dados;
- Mesa digitalizadora Van Gogh A0 para a digitalização de informações;
- GPS GARMIM II Plus, para posicionamento geográfico dos pontos amostrais do trabalho de campo.
- Software SGI/SITIM (Engespaço, 1988);
- Software SPRING 2.04 (UNIX), SPRING 3.0, 3.3 (Windows) e seus módulos Impima (leitura de imagens) e Scarta (confeção de cartas);
- Banco de dados ACCESS;
- Editores diversos de textos, planilhas e figuras para edição do documento.

4.2 – Fase II: Banco de Dados Georreferenciado

Nesta fase serão descritos os passos utilizados para a criação do banco de dados georreferenciado. Envolve as etapas de criação do modelo conceitual e de entrada dos dados, necessários para a execução das fases seguintes.

4.2.1 - Criação do Modelo Conceitual

O SIG utilizado é o SPRING por se tratar de um sistema que atende as necessidades do trabalho que são, basicamente, a de operar como um banco de dados, administrar tantos dados vetoriais como matriciais e possuir uma linguagem facilmente programável pelo usuário. Ele é baseado em um modelo de banco de dados orientado a objetos, do qual são derivadas suas interfaces de menus e a linguagem espacial LEGAL. Ao introduzir qualquer tipo de informação no SPRING é necessário criar o modelo de dados do banco de dados gerado para o trabalho e que será ativado, definindo suas categorias (numérico, temático, imagem, rede, cadastral ou objeto). Com isso o projeto terá uma área física de trabalho ao qual deve ser fornecido um nome, projeção e retângulo envolvente. O projeto deste trabalho foi definido com as seguintes características:

Projeção: UTM/Hayford/Córrego Alegre

Meridiano central: Long oeste 39° 00' 00"

Retângulo envolvente com coordenadas planas:

X1= 398973.854

X2=434870.010

Y1= 9064902.926

Y2= 9116566.756

Escala: 1:100.000

Um projeto possui um conjunto de Planos de Informação (PIs) com o mesmo sistema de coordenadas e projeção, formando um conjunto de objetos que possuem características básicas comuns. Para facilitar a leitura do texto, o modelo de dados, projeto, categorias e planos de informação utilizados no trabalho estão exibidos na Tabela 4.3.

TABELA 4.3 - Descrição do Modelo de Dados Utilizado neste Trabalho.

PROJETO	CATEGORIA	MODELO DE DADOS	PLANOS DE INFORMAÇÃO
QUIPÁ	IMAGENS	Imagem	b3_96; b4_96; b5_96; segs15_a45; imgmnt_gretpcq; imgmnt_gretvmp; imgg_tri; imgmnt -ms; imgmnt_gretmp; img_climagmpq;
	MNT	Numérico	Ptos_cn; gret_vmp; gret_mp; gradeamplitude; soloponderado; geolponderada; amplponderada; interfl_ponderada; veuso_pond; morfografia_pond; clima_ponderado; geomorfo_ponderado; gradegeologiapond; gradegeompond; gradesolopond; gradeclimapond; gradevegepond; gradevulnerabilidade
	BASE_ CARTOGRAFICA	Temático	Rios; estradas; pontos_campo; pcampo_foto
	VEGETACAO	Temático	Veg_original; veg_final; uso
	PEDOLOGIA	Temático	Solos_orig; solos_final
	GEOLOGIA	Temático	Geol_orig; geol_final
	MAPA_ CADASTRAL	Cadastral	UTBs.
	GEOMORFOLOGIA	Temático	Geom_orig; morfografia; dimensao_interfl; amplit_fatiada
	GEOMORFOLOGIA CADASTRAL	Cadastral	Unidades_geomorfo.
	CLIMATOLOGIA	Numérico	Postos_pluviom; gradeclim_mpq; clima:tindelaunay; clima_tinqslq.
	TEMATICOS	Temático	Mapa_amplitude; segmento; teste_vuln; clima_fatiado; utbs_fatias.
	REFLECTANCIA	Temático	B3_R; b4_R; b5_R; NDVIteste.
VULNERABILIDADE	Temático	utbs_fatias; geol_fatias; geom_fatias; solos_fatias; vege_fatias; clima_fatias	

4.2.2 – Entrada de Dados

Para cada tipo de dado foi executada uma operação para inseri-lo ao SIG SPRING e esta etapa procura descrever este processo bem como a esquematização dos tratamentos iniciais necessários para as manipulações posteriores.

4.2.2.1 – Dados Orbitais

A Figura 4.2 apresenta um fluxograma que explica a entrada de dados orbitais dentro do SIG SPRING. Ele procura descrever a importação, como fase de entrada, e o registro, como fase inicial de tratamento do dado orbital.

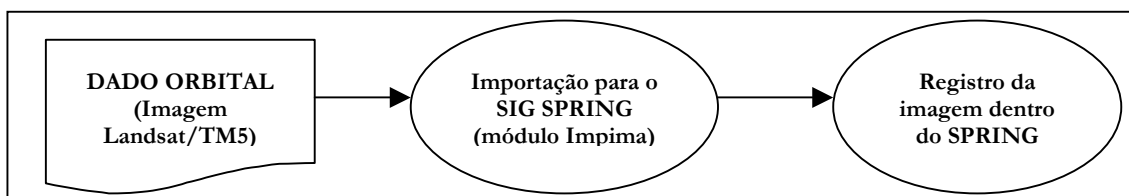


FIGURA 4.2 :Fluxograma da entrada de dados orbitais (imagem Landsat/TM5).

O módulo **Impima** permite a descodificação da imagem orbital para o formato GRIB e sua leitura pelo SIG SPRING. Para iniciar as manipulações, foi realizado um **registro** com a utilização da mesa digitalizadora e mouse com um polinômio de segunda ordem para a transformação geográfica sob a imagem 217/66B de 22/10/96.

4.2.2.2 – Dados Temáticos

A entrada de dados temáticos seguiu o fluxograma apresentado pela Figura 4.3. Todas as fases foram realizadas na Edição Vetorial do SPRING e são diferenciadas aqui pela utilização da mesa digitalizadora e mouse.

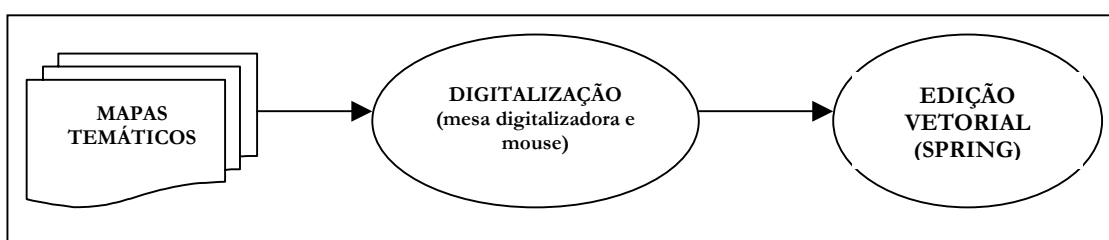


FIGURA 4.3 : Fluxograma de entrada de dados temáticos.

Foi realizada a **digitalização** dos dados para transformá-los em arquivos vetoriais. Procedeu-se à **edição vetorial** que procura corrigir erros adquiridos durante o processo de

digitalização, realizando operações para ajustar nós, juntar, quebrar, concatenar e eliminar linhas, entre outras. A fase de edição foi finalizada após o ajuste, poligonalização, verificação dos polígonos e edição de classes temáticas, que procura atribuir classes a cada um dos polígonos definidos.

4.2.2.3 – Material Cartográfico

Do material cartográfico foram extraídas informações sobre a topografia, através das curvas de nível e pontos cotados, além das localidades, estradas e drenagem. Devido ao fato das informações temáticas (estradas, drenagem, etc.) não terem sido diretamente utilizadas neste trabalho, serão apresentadas pela Figura 4.4 apenas etapas para a entrada das curvas de nível e pontos cotados, considerados dados numéricos.

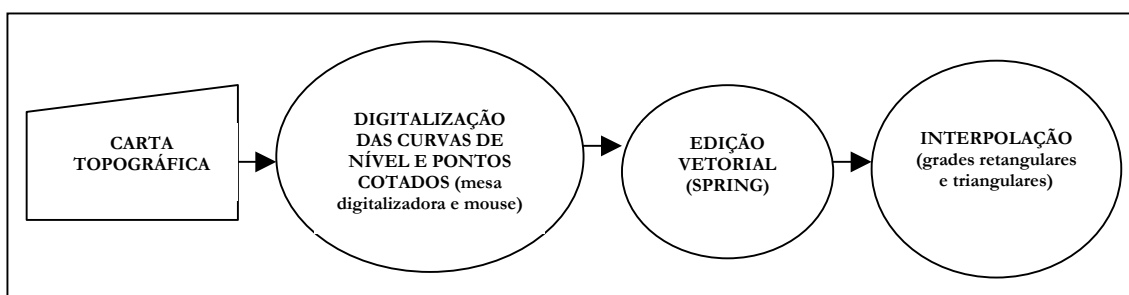


FIGURA 4.4 : Fluxograma de entrada de dados provenientes do material cartográfico.

Utilizando a mesa digitalizadora e o mouse, as curvas de nível e os pontos cotados foram digitalizados e procedeu-se à **edição vetorial** dos dados. As linhas e os pontos possuem valores de x, y e z, que indicam a altura da cota e sua localização geográfica. Deste modo, a edição vetorial procura ajustar os nós das linhas e verificar o valor atribuído a cada uma, obtendo um mapa numérico que representa a grandeza que varia continuamente no espaço, também conhecido como Modelos Numéricos de Terreno (MNT). Foram geradas grades regulares e triangulares.

No SPRING a grade regular foi gerada a partir de amostras (pontos e linhas) e utilizados os seguintes interpoladores: **vizinho mais próximo, média simples, média ponderada, média ponderada por quadrante e média ponderada por cota e por quadrante**. Para a geração de uma nova grade regular a partir de outra grade retangular podem ser utilizados

os interpoladores **linear e bicúbico**. Para a geração de grade retangular a partir de um TIN encontra-se disponível o interpolador **linear** (SPRING, 2000).

4.2.2.4 – Dados de Precipitação Pluviométrica

Os dados climáticos foram fornecidos em formato texto, indicando valores de precipitação ao longo de uma série histórica. Estes arquivos, separados por postos pluviométricos, são **refinados** em editores de planilhas (Excel®) onde são resumidos a pontos com informação numérica. É realizada a **importação** desses pontos, em formato *ascii*, para o SIG SPRING e realizado todo um trabalho de **edição vetorial**, para o ajuste e verificação dos pontos. Com isso podem ser geradas grades retangulares e triangulares com diferentes **interpoladores** que possam representar a variável clima. Um esquema das etapas pode ser visualizado na Figura 4.5.

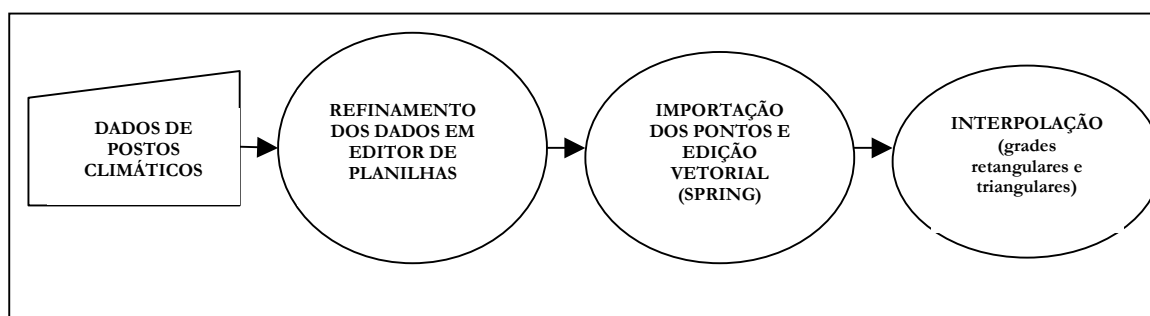


FIGURA 4.5 : Fluxograma de entrada de dados climáticos.

4.3 - Fase III: Manipulação e Análise dos Dados

Serão descritas, neste item, as etapas de interpretação das imagens complementadas com o trabalho de campo, além do tratamento dos mapas temáticos e numéricos e geração do mapa cadastral de UTBs.

4.3.1 - Interpretação das Imagens

Inclui a aplicação de técnicas de realce e posterior identificação das unidades de paisagem, descritas na metodologia de Crepani et al. (1996).

4.3.1.1 - Aplicação de Técnicas de Realce

A interpretação visual das imagens orbitais, dentro do SPRING, foi possível somente após a aplicação de técnicas de realce que melhorassem a qualidade sob os critérios subjetivos do olho humano e é utilizada como um etapa de pré-processamento para reconhecimento de padrões (NETGIS, 1997). Com isso, foram aplicadas diferentes técnicas e obtidos diferentes efeitos sobre a imagem, apresentados pela Tabela 4.4.

TABELA 4.4 : Técnicas de Realce Aplicadas às Imagens Orbitais.

TÉCNICA	EFEITO
Contraste	Permite uma melhor discriminação dos alvos, realçando um ou outro componente da paisagem de acordo com a operação utilizada para a manipulação do histograma, que pode ser linear, mínimo e máximo, raiz quadrada, logarítmica entre outras.
Filtragem	Facilita a identificação de alvos específicos onde as operações podem ser lineares ou não e variam de acordo com o tipo de filtro adotado e do objetivo proposto.
NDVI	Através de uma imagem que indica o valor de reflectância ao invés dos níveis de cinza, é possível, após uma razão entre bandas, obter informações sobre a vegetação fotossinteticamente ativa.
Modelo Linear de Mistura de pixel	Gera imagens com proporção de sombra, vegetação e solo que auxiliam na determinação e delimitação das componentes utilizadas. Bastante útil para a discriminação de vegetação mais densa ou com estrato arbóreo mais desenvolvido.

A fase de interpretação da imagem foi concluída após a verificação, *in situ*, das paisagens encontradas na área de estudo. Trata-se da etapa de trabalho de campo que facilitou a delimitação das unidades de paisagem natural e os polígonos de ação antrópica.

4.3.1.2 - Delimitação das Unidades de Paisagem Natural e Polígonos de Intervenção Antrópica

Tanto as unidades de paisagem natural (UPN) quanto os polígonos de intervenção antrópica (PIA) foram extraídos a partir da interpretação da imagem 217/66B datadas de 22/11/84 e 9/12/96. A composição colorida adotada foi a 4R5G3B onde a vegetação aparece em vermelho. Este procedimento foi executado dentro do SPRING e é conhecido como "interpretação na tela". No entanto, todas as imagens em papel serviram para a análise da informação contextual.

A interpretação na tela consiste em desenhar sobre a imagem digital os polígonos que são alvo do trabalho, ou seja, criar um arquivo vetorial que represente unidades de paisagem. Trata-se da **edição vetorial** dos dados.

4.3.3 – Revisão e Ajustes dos Mapas

Esta etapa descreve a preparação do mapa dentro do SIG e os ajustes realizados para que haja compatibilidade entre as escalas do trabalho e do mapa selecionado. Os mapas temáticos foram ajustados e os mapas numéricos, manipulados seguindo uma metodologia diferenciada e descrita a seguir.

4.3.3.1 - Mapa de Geologia

O mapa de Geologia produzido pelo RADAMBRASIL (1983), na escala 1:1.000.000, foi digitalizado através da mesa digitalizadora e *mouse* e editado pelo comando Edição Vetorial. A este mapa foram incorporadas informações que puderam ser identificadas na imagem orbital, como as áreas onde ocorrem rochas granitóides. A escala utilizada pelo RADAMBRASIL não possibilitava a precisa delimitação dessas rochas, mapeadas pela imagem orbital com maior facilidade e na escala de trabalho. Como produto, o mapa geológico apresentou as seguintes classes: **aluvião, rochas granitóides e complexo gnaisse-xisto-migmatito**.

4.3.3.2 - Mapa de Geomorfologia

O mapa de geomorfologia procurou descrever o modelado do terreno, fornecendo informações sobre suas formas (**morfografia**), a sua variação altimétrica (**amplitude altimétrica**) e a intensidade de dissecação (**dimensão interfluvial**).

A **morfografia** foi definida a partir da rugosidade topográfica apresentada pela imagem orbital. Os polígonos representavam **superfícies aplainadas, planícies fluviais, relevo dissecado em cristas e relevo dissecado em colinas**. Estas classes foram delimitadas com o auxílio de Florenzano (1999) baseadas em informações do RADAMBRASIL (1983) pelo método de interpretação visual na tela, possível no SPRING dentro do comando Temáticos – Edição Vetorial.

O mapa da morfografia foi útil para que, dentro de cada unidade mapeada fossem incorporadas informações sobre os outros índices morfométricos. Isto foi possível com a criação de um PI cadastral de unidades geomorfológicas onde, com o auxílio de um programa LEGAL de atualização e de espacialização, os dados sobre os outros índices morfométricos podem ser agrupados em um mesmo polígono.

A **amplitude altimétrica** foi calculada, tendo como dado de entrada as isolinhas e pontos cotados extraídos da carta topográfica. Foram geradas grades retangulares e triangulares a partir das quais, produzidas imagens em níveis de cinza que permitiram avaliar o resultado da interpolação quando apresentavam uma gradação suave e compatível com as informações numéricas. A imagem orbital permite visualizar as formas de relevo e a imagem em níveis de cinza, gerada a partir da grade, deve representar as mesmas formas numericamente. O comando MNT – Geração de Grade e MNT – Imagem permitiram as análises. A partir da escolha da grade são realizados programas em LEGAL para atualizar e espacializar o atributo amplitude na tabela de unidades geomorfológicas, através do seguinte operador de faixa zonal (cujo formado de apresentação, em letras menores e com sombreamento cinza, é adotado a todos os programas LEGAL descritos neste trabalho, ao longo deste Capítulo):

```
{
//Programa para atualizar o atributo AMPLITUDE

//Declaração das variáveis
Objeto      regiões          (“UNIDADES_GEOMORFOLOGICAS”);
Cadastral   mapacadastral   (“GEOMORFOLOGIA_CADASTRAL”);
Digital     entradaGrade    (“MNT”);

//Instanciação
entradaGrade      =Recupere      (Nome = “gret_mp”);
mapacadastral     =Recupere      (Nome=“unidades_geomorfo”);

//Atribuições
regiões. “AMPLITUDE”= Atualize (entradaGrade, regioes OnMap mapacadastral,
FaixaZ);
}

{
//Programa para espacializar o atributo AMPLITUDE

//Declaração das variáveis
Objeto      regiões          (“UNIDADES_GEOMORFOLOGICAS”);
Cadastral   mapacadastral   (“GEOMORFOLOGIA_CADASTRAL”);
Digital     saidaAmplitudeGrade (“MNT”);
```

```

//Instanciação
mapacadastral          =Recupere      (Nome = “unidades_geomorfo”);
saidaAmplitudegrade   =Novo          (Nome=”gradeamplitude”, ResX
= 30, ResY =30, Escala – 100.000, Mini = 0, Max = 248,64;

//Atribuições
saidaAmplitudegrade   = .Espacialize ( regioes . “AMPLITUDE OnMap
mapacadastral);
}

```

A **dimensão interfluvial** foi calculada seguindo orientações de Florenzano (1999) e para cada uma das unidades geomorfológicas definidas durante a elaboração do mapa de morfografia. O cálculo poder ser visualizado pela Figura 4.6 e foi executado da seguinte forma:

- 1) Calcula-se a distância entre um vale e outro, dentro da unidade geomorfológica, três ou cinco vezes;
- 2) Escolhe-se um valor maior (M1), um intermediário (M2) e um menor (M3) que represente essa distância;
- 3) Calcula-se a média entre os três valores escolhidos;
- 4) Elaborar-se um mapa temático que apresente valores de dimensão interfluvial média para cada uma das unidades geomorfológicas.

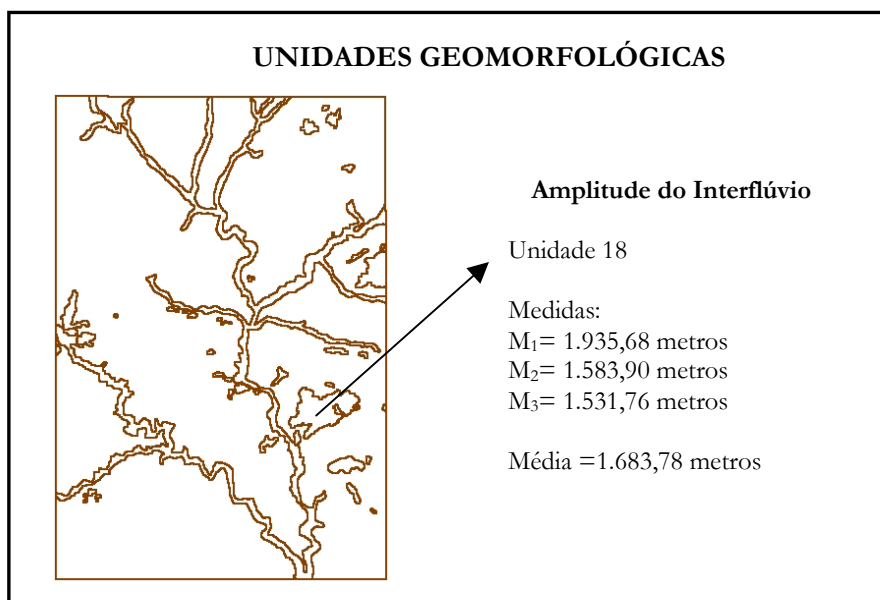


FIGURA 4.6 : Exemplo do cálculo da dimensão interfluvial para uma unidade geomorfológica.

4.3.3.3 - Mapa de Solos

O mapa de levantamento de reconhecimento de baixa intensidade de solos (EMBRAPA, 1997) foi digitalizado através da mesa digitalizadora e *mouse*, dentro do comando Temático – Edição Vetorial. A este mapa foram incorporadas áreas onde ocorrem afloramentos rochosos, perceptíveis na imagem orbital através da resposta espectral das rochas expostas e também extraídos de acordo com a escala de trabalho.

4.3.3.4 - Mapa de Cobertura Vegetal e Uso do Solo

O mapa de cobertura vegetal e uso do solo foi obtido através da interpretação da imagem orbital, baseando-se no mapa de vegetação e uso do solo (IBAMA, 1992). Este dado foi digitalizado manualmente, através da mesa digitalizadora e *mouse*, onde as classes encontradas de vegetação foram ajustadas às informações sobre o uso do solo encontradas nas imagens orbitais. Esta operação foi realizada a partir do comando Temáticos - Edição Vetorial.

4.3.3.5 - Mapa de Intensidade Pluviométrica

Os dados pluviométricos foram obtidos em formato texto (DNAEE, 1997; ANEEL, 1999), divididos em postos, escolhidos por possuírem uma série histórica ininterrupta. Os postos situados fora da área também foram considerados pelo fato do clima representar uma variável contínua, onde a interpolação contribui para a análise geral dos dados. A Figura 4.7 apresenta a área de estudo e os postos selecionados.

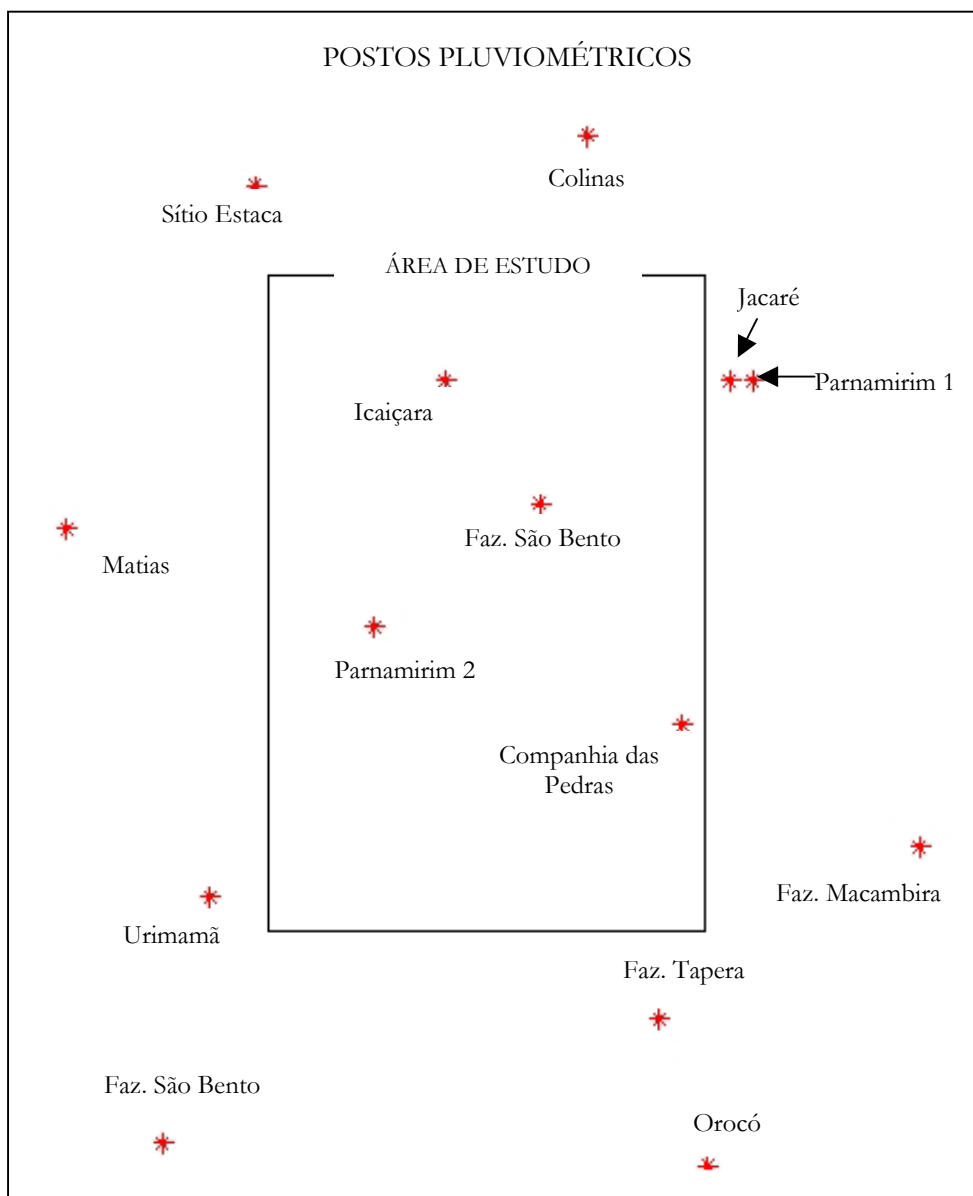


FIGURA 4.7 – Distribuição dos postos pluviométricos escolhidos para análise.

Definidos os postos, partiu-se para o tratamento dos dados em um editor de planilhas. Os dados de clima foram importados ao EXCEL® no formato bruto e então analisados. Foram realizadas as seguintes operações:

- 1) Adoção de uma série histórica comum a todos os postos selecionados;
- 2) Para os postos que possuíam algum mês “sem observação” ou “não coletado” foi realizada uma média, ao longo dos anos coletados e então preenchida a lacuna;

- 3) Cálculo de valores médios de precipitação mensal e número de dias com chuva em cada ano.
- 4) Obtenção, em cada posto, da precipitação média anual e do número de dias com chuva;
- 5) Cálculo da intensidade pluviométrica, a partir da equação:

$$\text{Intensidade pluviométrica} = \frac{\text{Precipitação média anual}}{\text{Número de dias com chuva} / 30}$$

Com o parâmetro “intensidade pluviométrica” calculado, foi gerado um arquivo *ascii* e realizada sua importação para o SPRING. Este tipo de arquivo contém as seguintes informações:

```

SAMPLE
INFO
  Amostras de Modelagem Numérica
  Arquivo ASCII gerado pelo Sistema SPRING
  Projeto: clima2 - Plano de informação: postos1
  Categoria: CLIMATOLOGIA - Modelo: DIGITALMODEL
DATUM   Hayford/CorregoA, 6378388.000000, 0.003367, -138.699997, 164.399994,
34.400002
PROJECTION   UTM/Hayford/CorregoA, 1, 0.000000, -0.680678, 0.000000,
0.000000
BOX          o 40 3 59.95, s 8 36 59.96, o 39 26 0.10, s 7 49 59.91
UNITS Geográficas
SCALE       100000.000000
INFO_END
POINT3D
o 39 54 59.83 s 7 57 0.00 z 363.500000
o 39 40 59.83 s 7 55 0.00 z 512.200012
o 39 36 59.83 s 8 19 0.00 z 545.599976
o 39 26 59.83 s 8 24 0.00 z 587.400024
o 39 46 59.83 s 8 5 0.00 z 363.200012
o 39 49 59.83 s 8 15 0.00 z 468.500000
o 39 35 59.83 s 8 37 0.00 z 540.900024
o 39 33 59.83 s 8 5 0.00 z 358.100006
o 39 34 59.83 s 8 5 0.00 z 468.000000
o 39 42 59.83 s 8 10 0.00 z 369.399994
o 39 56 59.83 s 8 26 0.00 z 509.399994
o 39 37 59.83 s 8 31 0.00 z 395.200012
o 39 58 59.83 s 8 36 0.00 z 432.700012
o 40 2 59.83 s 8 11 0.00 z 164.600006
END
END

```

A importação propiciou a elaboração direta de um mapa numérico, com os dados dos postos espacializados e incorporação ao banco de dados. Foram geradas diferentes grades para a escolha. Devido ao fato de não ter sido obtido nenhum outro mapa climático ou informação que pudesse auxiliar no processo de avaliação das grades, a escolha do melhor interpolador se baseou na gradação observada nas imagens em níveis de cinza. Estas imagens, geradas a partir da grade, apresentam variações que indicam valores altos e baixos do parâmetro analisado. Neste caso, as imagens que apresentavam uma gradação suave nos níveis de cinza foram escolhidas pois acredita-se que esta variável ocorra de forma contínua e não com quebras marcantes. As operações para a geração de grades foram possíveis a partir do comando MNT – Geração de Grade e Geração de imagem.

Todas as manipulações realizadas em mapas numéricos foram baseadas na interpretação das imagens. Para os mapas temáticos, uma outra etapa teve que ser executada: o trabalho de campo.

4.3.4 – Trabalho de Campo

Corresponde à fase de reconhecimento da área na tentativa de compreender os processos responsáveis pela formação da paisagem assim como, identificar pontos considerados duvidosos quando analisada a imagem orbital. Foram gastos 10 dias para visitar, fotografar e reconhecer a área de estudo. Em cada ponto, foi utilizada uma ficha de campo (Figura 4.8) onde foram anotadas as características geológicas, geomorfológicas, pedológicas e de uso e cobertura vegetal do ponto visitado.

Ficha de Campo	
Ponto no. ____	
Data:	_____
Localização:	_____
Lat.	_____ Long. _____
Máquina INPE – Filme	____ Poses ____
Máquina pessoal – Filme	____ Poses ____
Descrição da área:	
Relevo:	_____
Cobertura vegetal:	_____
Solo:	_____
Geologia	_____
Uso/Ocupação:	_____
Outras observações:	_____

FIGURA 4.8 : Modelo da ficha utilizada durante o trabalho de campo.

A rota adotada durante o trabalho se baseou na existência de caminhos e estradas que viabilizassem a locomoção e o deslocamento de uma área para outra. Foram registrados 222 pontos com o auxílio do GPS (*Global Position System*). No entanto, apenas 103 foram devidamente descritos e fotografados

4.3.5 – Geração do Mapa Cadastral

O mapa cadastral de UTBs foi gerado após a interpretação da imagem, fornecendo a identificação das PIAs que, juntamente com os ajustes dos mapas, possibilitaram a delimitação das UPNs. Este tipo de mapa permite identificar polígonos como objetos geográficos e atribuir a cada um, atributos diversos.

Para a geração de um mapa cadastral, foram realizadas as seguintes etapas, dentro do SPRING:

- 1) Gerou-se um PI de categoria Cadastral que continha as UTBs devidamente editadas;
- 2) Criou-se uma categoria Objeto responsável por agrupar os atributos;

- 3) Transformou-se cada uma das UTBs em objetos, com nome e rótulos que as diferenciavam (UPN ou PIA);
- 4) Obteve-se um total de objetos definidos a partir dos quais foram realizadas as álgebras entre mapas para se obter o produto desejado.
- 5) É elaborada uma tabela com os diferentes atributos definidos para as UTBs. Estes atributos estão descritos na Tabela 4.5.

TABELA 4.5: Atributos das UTBs.

ATRIBUTOS	SIGNIFICADO
ID	Identificador gerado pelo SPRING
NOME	Nome estabelecido pelo usuário, no caso, PIA ou UPN
AREA	Área de cada objeto mapeado
PERÍMETRO	Perímetro de cada objeto mapeado
GEOL_CLS	Classe de geologia
GEOL_VUL	Valores de estabilidade/vulnerabilidade para a geologia
AMPL_CLS	Classes de amplitude altimétrica
AMPL_VUL	Valores de estabilidade/vulnerabilidade para a amplitude altimétrica
INTERF_CLS	Classes de amplitude interfluvial
INTERF_VUL	Valores de estabilidade/vulnerabilidade para a amplitude interfluvial
MORFO_CLS	Classes de morfografia
MORFO_VUL	Valores de estabilidade/vulnerabilidade para a morfografia
GEOM_VUL	Valores de estabilidade/vulnerabilidade para o tema geomorfologia
SOLO_CLS	Classes de solos
SOLO_VUL	Valores de estabilidade/vulnerabilidade para os solos
VEGE_CLS	Classes de vegetação
VEGE_VUL	Valores de estabilidade/vulnerabilidade para a vegetação e uso do solo
I_PL_VUL	Valores de estabilidade./vulnerabilidade para a intensidade pluviométrica
MED_VUL	Valor de estabilidade/vulnerabilidade à perda de solo para todas as UTBs

O modelo geo-relacional utilizado para cada objeto envolve uma coleção de tabelas que representam dados e relacionamentos entre estes. As tabelas possuem um nome, seguido colunas que representam atributos e linhas que contém valores para cada atributo. A partir deste modelo definido, podem ser realizadas consultas sobre cada uma das UTBs e um exemplo deste processo pode ser visto na Figura 4.9.

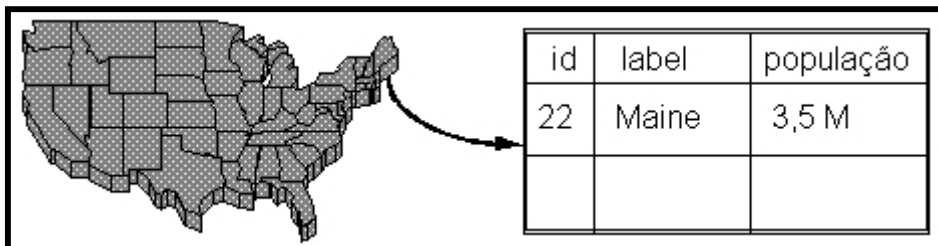


FIGURA 4.9 : Exemplo de um banco de dados relacional com consultas sobre os objetos.

FONTE: INPE (1999b).

4.4 – Fase IV: Análise Ecodinâmica

Esta fase trata dos critérios utilizados para estabelecer valores de vulnerabilidade à perda de solo para cada um dos temas e apresenta os indicadores utilizados neste processo. A análise procura destacar decisivamente os processos que influem no desenvolvimento da morfogênese e/ou pedogênese de uma forma abrangente, para posteriormente poder relacionar à área de estudo, de uma forma local.

4.4.1 – Avaliação da Morfogênese/pedogênese

A definição dos valores de estabilidade ou vulnerabilidade aos processos de perda de solo está condicionada a uma análise das características de cada tema considerado na área de estudo. Todos os parâmetros utilizados para estabelecer estes valores estão baseados na metodologia desenvolvida por Crepani et al. (1996) que possui, como referência, o trabalho desenvolvido por Tricart (1977) e pressupõe relações entre os componentes da paisagem que auxiliam os processos de pedogênese e/ou morfogênese.

Devido a isso, serão explicadas as formas de atribuição de valores de vulnerabilidade e estabilidade para as diferentes classes de cada um dos temas, de uma forma generalizada, apresentando as tabelas que podem ser utilizadas em qualquer região brasileira. O tipo de análise e os valores adotados para as classes temáticas encontradas na área de estudo serão apresentados nos resultados deste trabalho.

4.4.1.1 - Litologia

Para a morfodinâmica, o grau de coesão das rochas é a informação básica utilizada para a definição de valores que representem maior estabilidade ou vulnerabilidade. Nas rochas mais coesas prevalecem os processos de intemperismo e formação de solos (pedogênese) e nas rochas menos coesas prevalecem os processos erosivos, modificadores das formas de relevo (morfogênese).

A coesão das rochas depende do processo de formação (ígneas, metamórficas, sedimentares) que está intimamente relacionado à composição química. Dentre as rochas encontradas na área de estudo o granito é considerado o mais resistente, seguido pelo migmatito, gnaiss, xisto e por fim, os sedimentos inconsolidados encontrados em áreas de aluvião. De uma forma geral, o valor de estabilidade e vulnerabilidade das rochas pode ser observada na Tabela 4.6.

TABELA 4.6 – Valores de Vulnerabilidade e Estabilidade de Diferentes Litologias.

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

FONTE: Crepani et al. (1996).

4.4.1.2 - Geomorfologia

Para estabelecer valores dentro da escala de vulnerabilidade, a geomorfologia se baseia, segundo Crepani et al. (1996), na análise dos seguintes índices morfométricos do terreno: amplitude interfluvial, amplitude altimétrica e declividade. O parâmetro declividade não foi utilizado para a análise do relevo devido à necessidade de se obter informações sobre a inclinação das vertentes e estudo das formas individuais do relevo, dificultadas neste trabalho onde, na escala de trabalho, é possível apenas perceber diferentes intensidades de dissecação do relevo ou rugosidade topográfica, chamado de terceiro táxon por Ross (1992). Para suprir a falta deste parâmetro, a característica das formas de relevo (morfografia) foi adotada onde, relevos planos a suavemente ondulados possuem valores variando entre 1,0 a 1,6. Os valores para as formas caracterizadas por relevo dissecado em colinas variam de 1,7 a 2,3 e para relevos fortemente ondulados a escarpados, dissecados em cristas, ravinhas e pontões, variam entre 2,4 a 3,0. Para as planícies e terraços de origem fluvial, marinha ou lacustre atribui-se o valor 1,0 e para as planícies e áreas sujeitas a inundação, o valor 3,0 pois possuem intensa morfodinâmica.

Com relação à amplitude interfluvial, quanto maior for a distância entre um vale e outro, menor será o valor atribuído, chegando próximo a 1,0. As áreas onde a distância for menor, maior será a intensidade de dissecação, acelerando processos modificadores do relevo, obtendo valores próximos a 3,0. A Tabela 4.7 apresenta os intervalos para este parâmetro e os valores de estabilidade/vulnerabilidade.

TABELA 4.7 : Valores de Vulnerabilidade para a Amplitude Interfluvial.

AMPLITUDE INTERFLUVIAL (m)	VALOR DE VUL/EST	AMPLITUDE INTERFLUVIAL (m)	VALOR DE VULN/EST	AMPLITUDE INTERFLUVIAL (m)	VALOR DE VULN/EST
>5000	1,0	3250 - 3500	1,7	1500 - 1750	2,4
4750 - 5000	1,1	3000 - 3250	1,8	1250 - 1500	2,5
4500 - 4750	1,2	2750 - 3000	1,9	1000 - 1250	2,6
4250 - 4500	1,3	2500 - 2750	2,0	750 - 1000	2,7
4000 - 4250	1,4	2250 - 2500	2,1	500 - 750	2,8
3750 - 4000	1,5	2000 - 2250	2,2	250 - 500	2,9
3500 - 3750	1,6	1750 - 2000	2,3	<250	3,0

FONTE: Crepani et al. (1996).

Para a amplitude altimétrica, obtida pela diferença entre a cota mínima e a máxima encontrada nos dados de altimetria das cartas topográficas, os maiores valores estão associados aos processos de morfogênese, recebendo valores mais próximos a 3,0. Já os valores menores indicam maior estabilidade da unidade de paisagem analisada e recebem valores próximos a 1,0, como demonstrado pela Tabela 4.8.

TABELA 4.8 : Valores de Vulnerabilidade para a Amplitude Altimétrica.

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

FONTE: Crepani et al. (1996).

Em escalas maiores ou iguais a 1:100.00, Crepani et al. (1996), ainda recomenda a utilização da **matriz dos índices morfométricos** (Tabela 4.9) que fornece informações sobre a amplitude altimétrica e dimensão interfluvial. Os primeiros dígitos maiores, à esquerda, representam a amplitude altimétrica, enquanto os da direita, a dimensão interfluvial. Os dígitos menores, abaixo, representam os valores para cada classe, variando de acordo com o intervalo de cada parâmetro. Pode-se perceber as situações onde tais parâmetros indicam maior estabilidade (em azul) e maior instabilidade (em vermelho), sendo que os outros valores se distribuem ao longo da tabela.

TABELA 4.9 : Matriz dos Índices Morfométricos.

		DIMENSÃO INTERFLUVIAL				
		MUITO GRANDE >5000m	GRANDE 2000 a 5000m	MÉDIA 750 a 2000m	PEQUENA 250 m 750 m	MUITO PEQUENA < 250m
AMPLITUDE ALTIMÉTRICA	MUITO BAIXA (1) (< 20m)	1 1 1,0.....1,0	1 2 1,0.....1,5	1 3 1,0.....2,0	1 4 1,0.....2,5	1 5 1,0.....3,0
	BAIXA (2) (20 a 40m)	2 1 1,5.....1,0	2 2 1,5.....1,5	2 3 1,5.....2,0	2 4 1,5.....2,5	2 5 1,5.....3,0
	MÉDIA (3) (40 a 100m)	3 1 2,0.....1,0	3 2 2,0.....1,5	3 3 2,0.....2,0	3 4 2,0.....2,5	3 5 2,0.....3,0
	ALTA (4) (100 a 200m)	4 1 2,5.....1,0	4 2 2,5.....1,5	4 3 2,5.....2,0	4 4 2,5.....2,5	4 5 2,5.....3,0
	MUITO ALTA (5) (> 200m)	5 1 3,0.....1,0	5 2 3,0.....1,5	5 3 3,0.....2,0	5 4 3,0.....2,5	5 5 3,0.....3,0

FONTE: Adaptada de Projeto RADAMBRASIL (1982); Ross (1996); Crepani et al. (1996).

Os números em cores, na Tabela 4.5 representam valores considerados estáveis (em azul), moderadamente estáveis (azul claro), medianamente vulneráveis (em verde), moderadamente vulneráveis (em amarelo) e vulneráveis (em vermelho) para a amplitude altimétrica e a dimensão interfluvial. Deve ser lembrado, no entanto, que para a Geomorfologia, a média entre todos parâmetros analisados é o que caracteriza a unidade em estável ou instável.

4.4.1.3 - Solos

A principal característica considerada para a análise dos solos é o seu grau de maturidade do solo, ou seja, o quão antigo é o solo pois, quanto mais maduro, maior a profundidade e menor é a perda de solo. Os solos mais estáveis (com valores iguais a 1,0) seriam os latossolos por suas características: bem desenvolvidos, grande profundidade e porosidade. Os podzólicos seriam considerados solos intermediários (valor igual a 2,0) pois são menos estáveis, menos intemperizados e possuem o horizonte B com acumulação de argila. Os

solos vulneráveis (valor igual a 3,0) são representados por solos mais recentes (solos jovens) e pouco desenvolvidos, como os litólicos. A Tabela 4.10 apresenta as classes de solos e os valores adotados para cada tipo.

TABELA 4.10 – Valores de Estabilidade e Vulnerabilidade para Tipos de Solo.

CLASSE DE SOLO	VULN./ ESTAB.
Latossolos:Amarelo Latossolo Vermelho-Amarelo Latossolo Vermelho-Escuro Latossolo Roxo Latossolo Bruno Latossolo Húmico Latossolo Bruno-Húmico	1,0
Podzólico Amarelo Podzólico Vermelho-Amarelo Podzólico Vermelho-Escuro Terra Roxa Estruturada Bruno Não-Cálcico Brunizém Brunizém Avermelhado Planossolo	2,0
Cambissolos	2,5
Solos Litólicos Solos Aluviais Regossolo Areia Quartzosa Vertissolo Solos Orgânicos Solos Hidromórficos Glei Húmico Glei Pouco Húmico Plintossolo Laterita Hidromórfica Solos Concrecionários Lateríticos Rendzinas Afloramento Rochoso	3,0

FONTE: Crepani et al. (1996).

No entanto podem ocorrer associações de solos de acordo com o tipo de detalhe do mapa de solo encontrado. Neste caso, é realizada uma ponderação em função das classes de solos que ocorrem em primeiro, segundo e terceiro lugares, sendo associadas as proporções de ocorrência de 60%, 30% e 10%, respectivamente. Com exemplo, pode-se citar o caso de uma associação que acontece na área de estudo que é a de planossolo com brunos não-cálcico e solo litólico. Para se avaliar a vulnerabilidade e estabilidade desta associação deve-se calcular $0,60 \times 2,0 + 0,30 \times 2,0 + 0,10 \times 3,0 = 2,1$. Os valores em negrito representam o valor atribuído a cada tipo de solo, individualmente e os outros valores são as porcentagens atribuídas de acordo com a associação.

4.4.1.4 – Cobertura Vegetal e Uso do Solo

O parâmetro avaliado dentro deste tema é a cobertura da vegetação no terreno pois retrata a proteção contra os processos morfogenéticos que se traduzem na forma de erosão. Quanto maior a cobertura, mais os valores ficam próximos a 1,0, indicando estabilidade e por conseguinte, quanto menor a cobertura, mais os valores ficam próximos a 3,0, indicando instabilidade.

Para as classes de uso do solo, a cultura anual é considerada a atividade mais instável aos processos morfogenéticos, seguida de culturas perenes e pastagens. O valor para áreas de regeneração depende do estágio de crescimento e recobrimento do terreno. Os valores estabelecidos para este tema pode ser analisado pela Tabela 4.11.

TABELA 4.11 : Valores de Vulnerabilidade e Estabilidade para Classes de Cobertura Vegetal E Uso Do Solo.

Classes de cobertura vegetal de uso do solo	Valor de estabilidade/ vulnerabilidade
Caatinga arbórea	1,7
Caatinga arbustiva	2,3
Caatinga parque	2,5
Pastagens	2,8
Cultura perene	2,9
Cultura anual	3,0

FONTE: Crepani et al. (1996).

4.4.1.5 - Clima

Para a variável clima, a razão entre a precipitação média anual e o número de dias com chuva é o que determina a intensidade pluviométrica, indicando a estabilidade e vulnerabilidade deste parâmetro. Quanto maior a precipitação e menor o número de dias com chuva, maior será a intensidade e o inverso indica uma menor intensidade pluviométrica. Este parâmetro permite analisar a influência do clima nos processos morfodinâmicos e determinar os valores de estabilidade e vulnerabilidade, tabelados e apresentados na Tabela 4.12.

TABELA 4.12 - Escala de Erosividade da Chuva e Valores de Vulnerabilidade à Erosão.

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

FONTE: Crepani et al. (1996).

4.4.2 - Álgebra de Mapas

Nesta etapa, os mapas temáticos e numéricos (geo-campos temáticos e numéricos) são tratados de maneira que possam conter os valores de cada classe avaliados anteriormente. Estes mapas diferem em entrada e tratamentos sendo apresentados separadamente. Após as operações entre cada um dos mapas é gerada a carta final de vulnerabilidade à perda de solo.

4.4.2.1 – Geo-Campos Temáticos

A partir de um geo-campo temático é realizada uma operação pontual de ponderação que atribui, a cada classe do geo-campo analisado, um valor definido durante a análise morfodinâmica. Porém, os limites dos valores podem não respeitar os limites das UTBs e devido a isso, é realizada uma operação de média zonal para que os valores se limitem a cada objeto, representado como um polígono. Esta característica torna a metodologia do trabalho diferenciada dos convencionais cruzamentos entre mapas, onde as linhas se sobrepõem e o resultado final nem sempre é condizente com a realidade. A operação de maioria zonal foi utilizada para espacializar as classes dentro do mapa de UTBs, fornecendo um geo-campo temático para a interpretação do resultado. As duas operações zonais atualizaram e espacializaram as informações dentro da tabela de atributos das UTBs e podem ser visualizadas pela Figura 4.10.

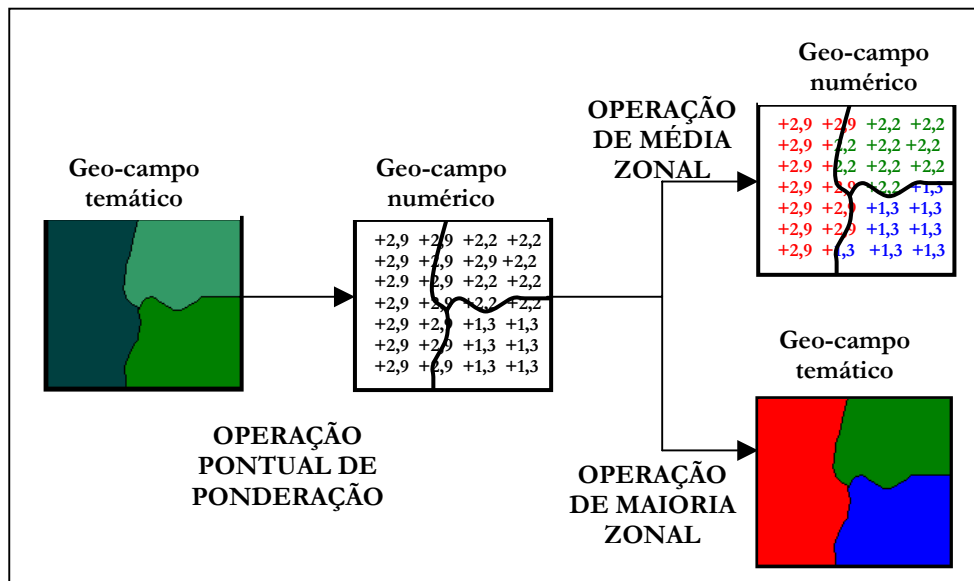


FIGURA. 4.10 : Operações entre geo-campos temáticos.

Estas operações são executadas em linguagem LEGAL onde existem convenções para a edição do programa. Um exemplo deste processo pode ser observado no programa utilizado para ponderar o tema vegetação e uso do solo:

```
{
//Declaracao de Variaveis

Tematico    variable0 ("vegetacao");
Digital     usopond ("MNT");

//Declaracao de Tabelas

Tabela      usotabela (Ponderacao);

// Instanciacao de Variaveis

variable0   = Recuperar (Nome="uso");
usopond     = Novo (Nome="veguso_pond",   ResX=30,   ResY=30,
Escala=100000, Min=0, Max=3);

// Instanciacao de Tabelas

usotabela= Novo (CategoriaIni="vegetacao",
"lago" : 3.0 ,
"solo_exposto" : 3.0 ,
"pastagem" : 2.8 ,
"cult_perene" : 2.9 ,
"cult_anual" : 3.0 ,
"area_urbana" : 0 ,
"caat_antropizada" : 2.6 ,
"caat_arbfechada" : 1.7 ,
"caat_arbarbfechada" : 2.1 ,
"caat_arbarbaberta" : 2.3 );

// Commandos de Operações
```

```

usopond = Pondere(variable0, usotabela);

// Fim
}

```

Já o operador de média zonal atualiza cada uma das UTBs com os valores resultantes da ponderação anterior da seguinte forma:

```

{

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

//Declaração

Objeto      regioes          ("UTB_Obj");
Cadastral   mapacadastral    ("MAPA_CADASTRAL");
Digital     entradaVegetacaoponderada ("MNT");

//Instanciação

mapacadastral      =      Recupere      (Nome =      "UTBs");
entradaVegetacaoponderada =      Recupere      (Nome =
"veguso_pond");

//Atribuição

regioes.  "VEGE_VUL" =      Atualize (entradaVegetacaoponderada,
regioes OnMap mapacadastral, MedZ);
}

```

Uma outra atualização, já com o operador maioria zonal, é realizada para espacializar as classes na Tabela de atributos das UTBs e gerar os mapas que caracterizam tematicamente cada uma das UTBs. A atualização do tema vegetação seria executada com o comando:

```

{

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

//Declaração

Objeto      regioes          ("UTB_Obj");
Cadastral   mapacadastral    ("MAPA_CADASTRAL");
Tematico    entradaVegetacao ("vegetacao");

//Instanciação

mapacadastral      =      Recupere      (Nome =      "UTBs");
entradaVegetacao   =      Recupere      (Nome =      "uso");

//Atribuição

regioes.  "VEGE_CLS" =      Atualize (entradaVegetacao,
regioes OnMap mapacadastral, MaiZ);
}

```

4.4.2.2 – Geo-Campos Numéricos

Os geo-campos numéricos utilizados (valores de amplitude altimétrica e intensidade pluviométrica) possuem, como dado de entrada, uma grade retangular e o tratamento pode ser visualizado pela Figura 4.11. A partir dos dados de entrada (isolinhas e/ou pontos cotados) são testados interpoladores e obtida uma grade que após um fatiamento, se transforma em um geo-campo temático. A partir deste momento, as operações e produtos se tornam semelhantes aos aplicados aos geo-campos temáticos utilizados neste trabalho, ou seja, operações pontuais de ponderação e média e maioria zonais.

As operações de ponderação atribuem o valor estabelecido a cada uma das classes de amplitude e intensidade e as operações zonais procuram atualizar os atributos tematicamente e dentro da tabela de atributos das UTBs. A operação zonal de faixa é executada somente para o parâmetro “amplitude altimétrica” pois é necessário atribuir um valor para cada unidade geomorfológica antes de ponderar e espacializar essa informação para as UTBs.

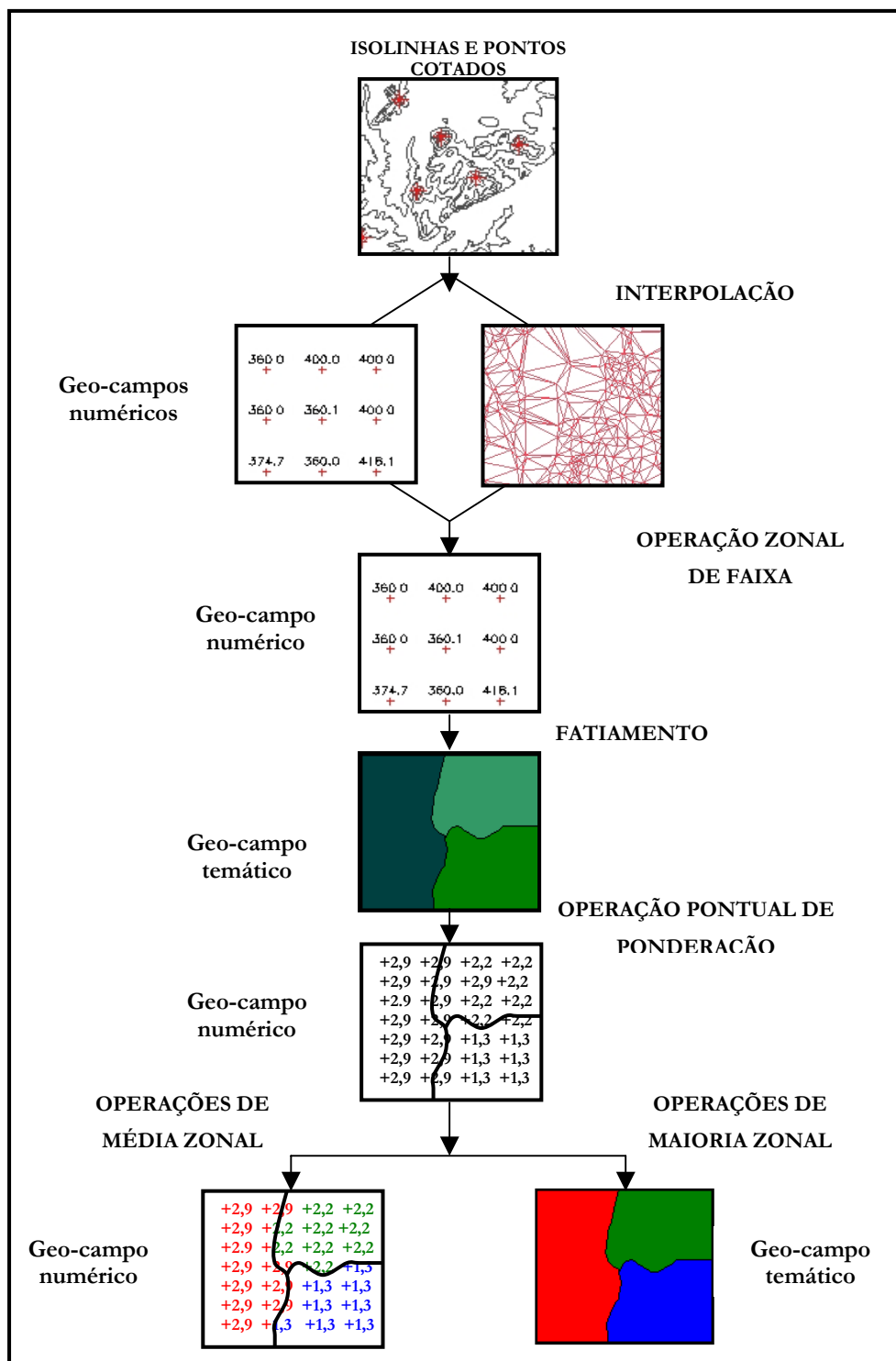


FIGURA 4.11 : Operações entre geo-campos numéricos.

Os programas realizados para cada operação, diferem, dos utilizados para os geo-campos temáticos por possuir classes que representam intervalos numéricos:

```
{

// Declaracao de Variaveis

Tematico    variable0 ("TEMATICOS");
Digital      variable1 ("MNT");

// Declaracao de Tabelas

Tabela      tabclima (Ponderacao);

// Instanciacao de Variaveis

variable0    = Recupere (Nome="clima_fatiado");
variable1    = Novo (Nome="clima_ponderado", ResX=30, ResY=30,
Escala=100000, Min=0, Max=3);

// Instanciacao de Tabelas

tabclima= Novo (CategoriaIni="TEMATICOS",
                "<50" : 1.0 ,
                "50 a 75" : 1.1 ,
                "75 a 100" : 1.2 ,
                "100 a 125" : 1.3 ,
                "125 a 150" : 1.4 ,
                "150 a 175" : 1.5 ,
                "175 a 200" : 1.6 ,
                "200 a 225" : 1.7 ,
                "225 a 250" : 1.8 ,
                "250 a 275" : 1.9 ,
                "275 a 300" : 2.0 ,
                "300 a 325" : 2.1 ,
                "325 a 350" : 2.2 ,
                "350 a 375" : 2.3 ,
                "375 a 400" : 2.4 ,
                "400 a 425" : 2.5 ,
                "425 a 450" : 2.6 ,
                "450 a 475" : 2.7 ,
                "475 a 500" : 2.8 ,
                "500 a 525" : 2.9 ,
                "> 525" : 3.0 );

// Comandos de Operações

variable1 = Pondere(variable0, tabclima);

// Fim

}
```

O processo de atualização dos atributos para o mapa cadastral e integração entre valores e limites de UTBs é executado a partir de um programa com operador de média zonal.

```
{
```

```

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

//Declaração
Objeto      regioes                ("UTB_Obj");
Cadastral  mapacadastral          ("MAPA_CADASTRAL");
Digital    entradaClimaponderado  ("MNT");

//Instanciação
mapacadastral      =  Recupere      (Nome =
  "UTBs");
entradaClimaponderado  =  Recupere      (Nome =
  "clima_ponderado");

//Atribuição
regioes.  "I_PL_VUL"  =  Atualize (entradaClimaponderado,
regioes OnMap mapacadastral, MedZ);
}

```

Com a falta da espacialização das classes que representassem a intensidade pluviométrica, o programa para espacializar o atributo intensidade, descrito a seguir, permite distribuir as classes e caracterizar tematicamente cada uma das UTBs:

```

{

//Programa para espacializar o atributo I_PL_VUL

//Declaração
Objeto      regioes                ("UTB_Obj");
Cadastral  mapacadastral          ("MAPA_CADASTRAL");
Digital    saidaClimagradeponderado  ("MNT");

//Instanciação
mapacadastral      =Recupere      (Nome = "UTBs");
saidaClimagradeponderado  =Novo (Nome = "gradeclimapond", ResX = 30,
ResY = 30, Escala = 100000, Min = 0, Max = 3);

//Atribuições
saidaClimagradeponderado  =  Espacialize      (      regioes
.I_PL_VUL" OnMap mapacadastral);

```

4.5 – Fase V: Mapa de Vulnerabilidade à Perda de Solo

Esta etapa consiste em operações, dentro de cada UTB, baseadas nas informações temáticas e numéricas. Para a realização destas operações, os dados são transformados em

grades, que representam os valores de vulnerabilidade e estabilidade aos processos de perda de solo. A partir da geração de grades ponderadas para cada tema analisado, o programa

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

//Declaração

Digital      entradaGeologiagradeponderado      ("MNT");
Digital      entradaGeomorfologiagradeponderado  ("MNT");
Digital      entradaPedologiagradeponderado     ("MNT");
Digital      entradaUsogradeponderado          ("MNT");
Digital      entradaClimagradeponderado         ("MNT");
Digital      saidaVulnerabilidadegrade          ("MNT");

//Instanciação

entradaGeologiagradeponderado      =Recupere(Nome      =
"gradegeologiaponnd");
entradaGeomorfologiagradeponderado =Recupere(Nome      =
"gradegeompond");
entradaPedologiagradeponderado     =Recupere(Nome = "gradesolopond");
entradaUsogradeponderado           =Recupere(Nome = "gradevegepond");
entradaClimagradeponderado         =Recupere(Nome      =
"gradeclimaponnd");
saidaVulnerabilidadegrade          =Novo (Nome      =
"gradevulnerabilidade", ResX = 30, ResY = 30, Escala = 100000, Min = 0, Max =
3);

//Atribuição

saidaVulnerabilidadegrade = entradaGeologiagradeponderado /5 +
entradaGeomorfologiagradeponderado /5 + entradaPedologiagradeponderado /5
+ entradaUsogradeponderado/5 + entradaClimagradeponderado/5;

}
```

realiza uma média aritmética e gera uma grade que representa os valores de estabilidade e vulnerabilidade para a área de estudo. Uma operação de fatiamento (via LEGAL ou MNT) é realizada

```
{
// Programa para fatiar a grade de vulnerabilidade e estabilidade

Digital      Vulnerabilidadegrade      ("MNT");
Tematico     Vulnerabilidadetematica   ("TEMATICOS");

Tabela       TBvulnerabilidade (Fatiamento);

Vulnerabilidadegrade = Recupere (Nome= "gradevulnerabilidade");
Vulnerabilidadetematica = Novo(Nome= "utbs_fatias", ResX=30,ResY=30,
Escala=100000);

TBvulnerabilidade = Novo (CategoriaFim= "TEMATICOS",
[1.0, 1.0999] : "estavel",
[1.0999,1.1999] : "estavel1",
```

```

[1.1999,1.2999] : "estavel2",
[1.2999,1.3999] : "estavel3",
[1.3999,1.4999] : "moderadamente_estavel",
[1.4999,1.5999] : "moderadamente_estavel1",
[1.5999,1.6999] : "moderadamente_estavel2",
[1.6999,1.7999] : "moderadamente_estavel3",
[1.7999,1.8999] : "medianamente_estavel",
[1.8999,1.9999] : "medianamente_est_vul",
[1.9999,2.0999] : "medianamente_est_e_ou_vul",
[2.0999,2.1999] : "medianamente_vuln_est",
[2.1999,2.2999] : "medianamente_vulneravel",
[2.2999,2.3999] : "moderadamente_vul1",
[2.3999,2.4999] : "moderadamente_vul2",
[2.4999,2.5999] : "moderadamente_vul3",
[2.5999,2.6999] : "moderadamente_vul",
[2.6999,2.7999] : "vulneravel1",
[2.7999,2.8999] : "vulneravel2",
[2.8999,2.9999] : "vulneravel3",
[2.9999,3.0] : "vulneravel");

Vulnerabilidade tematica = Fatie (Vulnerabilidade grade, TBvulnerabilidade);
}

```

e a carta final de vulnerabilidade à perda de solo pode ser finalmente gerada. Um programa para atualizar toda essa informação na tabela de atributos seria:

```

{
//Programa para atualizar o atributoMED_VULN

//Declaração

Objeto      regioes                ("UTB_Obj");
Cadastral   mapacadastral          ("MAPA_CADASTRAL");
Digital     entradaVulnerabilidadeponderado ("MNT");

//Instanciação

mapacadastral          =   Recuperar(Nome="UTBs");
entradaVulnerabilidadeponderado =   Recuperar
(Nome="gradevulnerabilidade");

//Atribuição

regioes. "MED_VULN" =   Atualize
(entradaVulnerabilidadeponderado, regioes OnMap mapacadastral, MaiZ);
}

```

A Figura 4.12, finalmente, esquematiza todas as operações realizadas para a obtenção da carta final de vulnerabilidade à perda de solo.

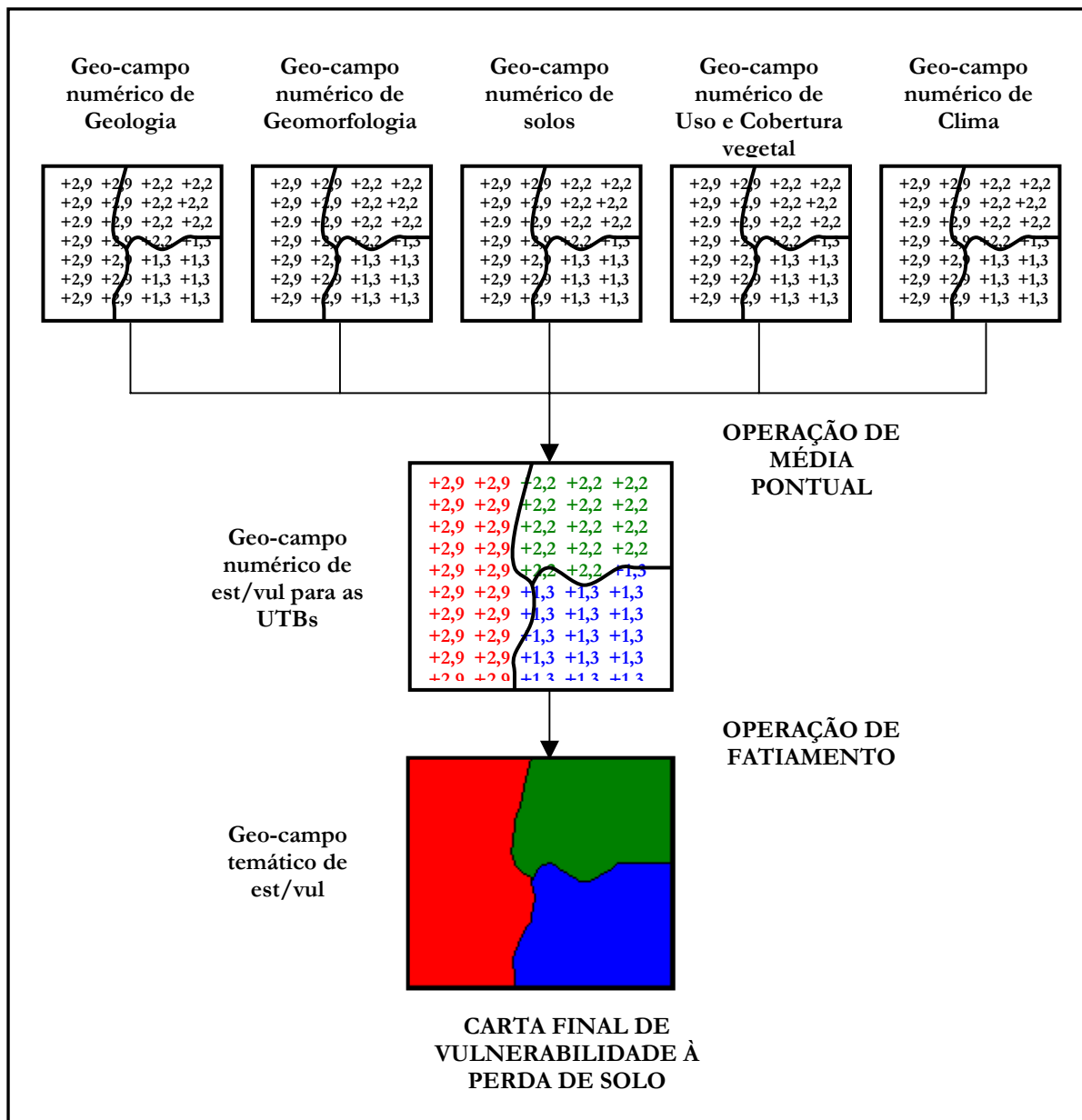


FIGURA 4.12 : Esquema para a geração da carta final de vulnerabilidade à perda de solo.

CAPÍTULO 5

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo trata da apresentação dos resultados e é dividido em: processamento digital; interpretação das imagens orbitais; manipulação e ajuste dos mapas; análise e interpretação dos dados e a finalização do banco de dados. O produto final, indica em um mapa, áreas com maior ou menor vulnerabilidade aos processos de perda de solo. O resultado prático é apresentado em um banco de dados, anexado ao trabalho.

5.1 – Processamento Digital das Imagens Orbitais

Como processamentos digitais foram realizados o registro das imagens e a aplicação de técnicas de realce.

5.1.1 – Registro de Imagens

Foi aplicado um polinômio de segunda ordem sobre 12 pontos coletados através de mesa digitalizadora e *mouse*, onde o erro dos pontos de controle foi de 0.902 e o erro dos pontos de teste de 3.676. Os pontos que foram efetivamente utilizados no trabalho, indicaram um deslocamento de menos de 1 pixel, para a escala de 1:100.000, indicando aproximadamente 27 metros de erro no terreno. As demais imagens utilizadas foram registradas com os mesmos pontos de teste e de controle onde o erro continuou abaixo de 30 metros, aceitável para a escala de trabalho.

5.1.2 – Aplicação de Técnicas de Realce

A técnica que permitiu a interpretação imediata da imagem orbital foi a de aumento linear de contraste. A partir dela foi possível manipular o histograma e realçar uma ou outra feição de interesse. A banda 3 foi utilizada, isoladamente, para a interpretação de classes de uso do solo. As diferenças entre as imagens sem contraste e aquelas sobre as quais foi aplicada a técnica podem ser visualizadas na Figura 5.1.

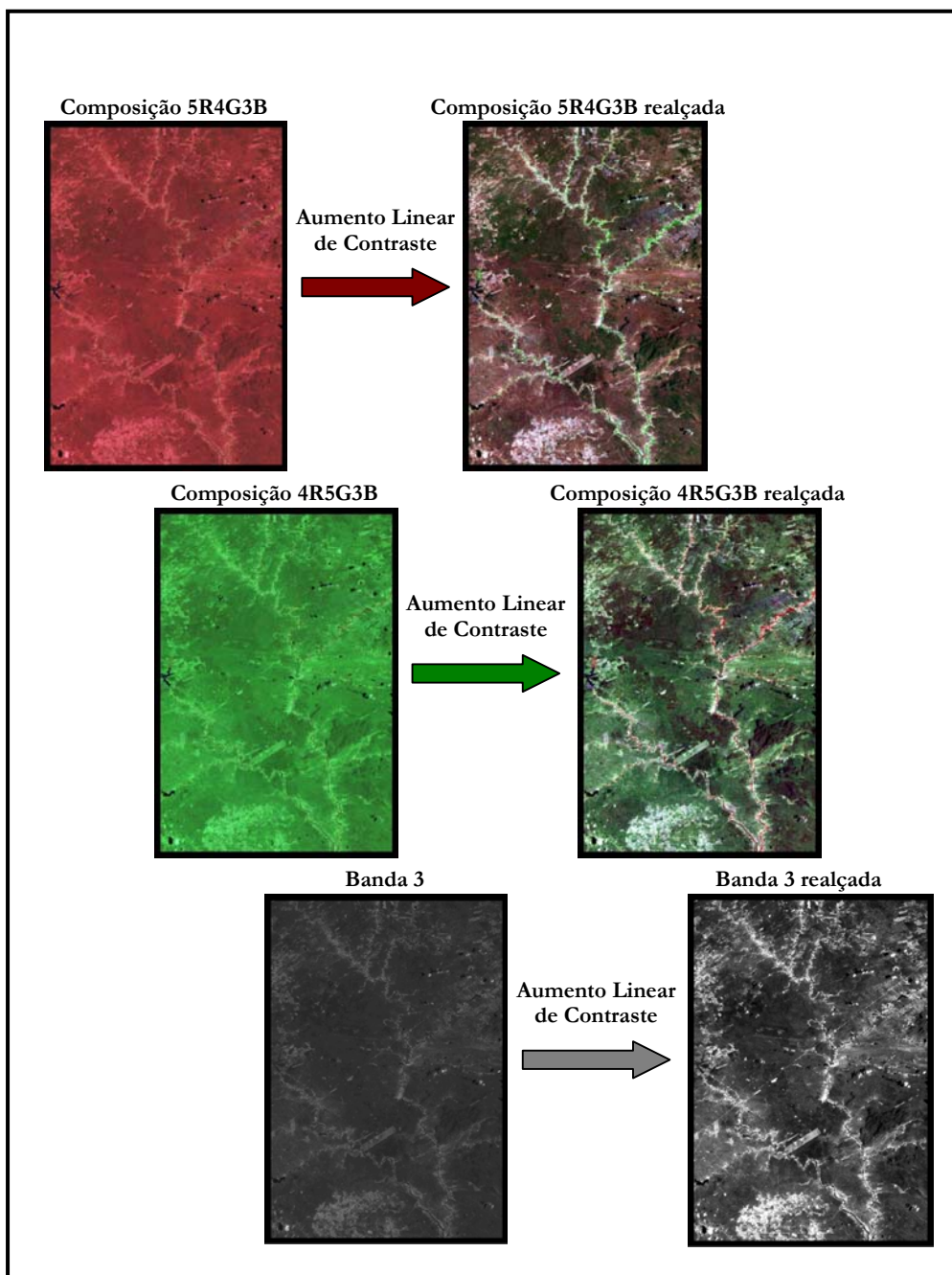


FIGURA 5.1 : Técnicas e composições utilizadas para a interpretação das imagens orbitais.

5.2 – Interpretação das Imagens

A fase de interpretação das imagens teve como resultado o mapa de Unidade Territoriais Básicas que foi elaborado a partir dos dados coletados durante o trabalho de campo. Estes dados auxiliaram no processo de interpretação de imagens, permitindo a delimitação dos polígonos de ação antrópica e de paisagem natural.

5.2.1 - Coleta de Dados em Trabalho de Campo

Considerada a etapa mais elucidativa para o processo de interpretação da imagem, a coleta de dados em campo permitiu verificações em pontos importantes ou considerados duvidosos. O trabalho procurou registrar fotograficamente os pontos e percorrer a maior parte da área de estudo com o intuito compreender os processos de formação da paisagem. Para isso foram visitados 103 pontos, apresentados na Figura 5.2.

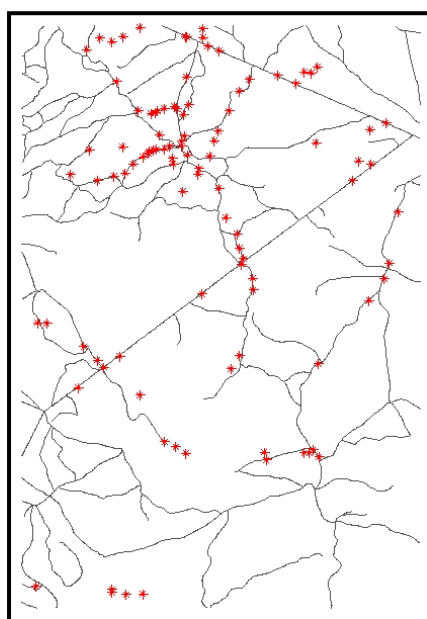


FIGURA 5.2 – Distribuição dos pontos de campo ao longo das estradas e caminhos.

Para visualizar a área de estudo, os locais considerados importantes e os que apresentavam dúvidas quanto à sua identificação, a Figura 5.3 mostra um resumo dessas informações. Ao longo dos principais rios estão concentradas as atividades agropecuárias. A barragem de Entremontes foi instalada para manter perenes os rios e favorecer a ocupação. Algumas áreas apresentavam um padrão espectral característico de afloramento de rochas ou solo

pedregoso, enquanto outras exibiram o relevo residual mais expressivo da área de estudo, denominado Serra do Boqueirão. Ao sul da área encontra-se o Projeto Caraíba, implementado devido à instalação de estações que bombeiam água do Rio São Francisco através de bombas, que favorece o plantio e a ocupação humana.

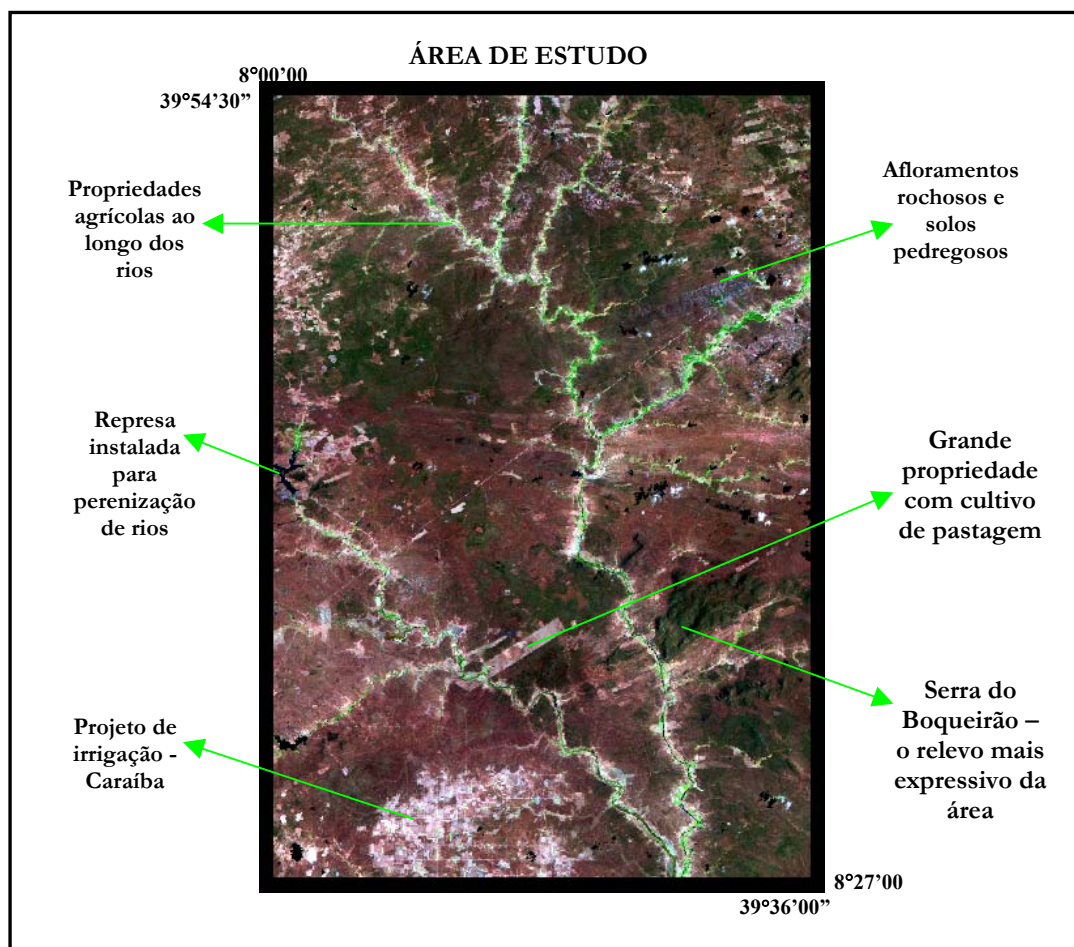
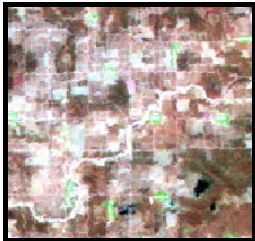








FIGURA 5.3 – Visualização dos principais pontos escolhidos para checagem em campo.

FONTE: Imagem 217/66B Landsat-TM5, composição 5R4G3B.



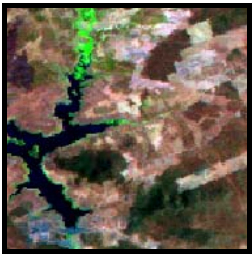


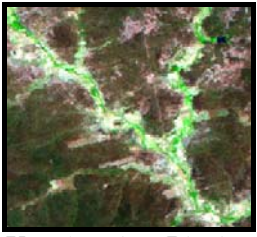



A Tabela 5.1 procura facilitar a caracterização da área, mostrando as características físicas, os parâmetros de interpretação adotados e uma breve identificação da área na imagem e no campo, através das fotografias.

TABELA 5.1 – Características da Imagem e da Paisagem Identificadas Durante o Trabalho de Campo.

Área na imagem	Fotografias	Características físicas da área	Parâmetros para interpretação
 <p>Projeto Caraíba</p>	  	<p>Geologia: pré-Cambriano indiviso Relevo: superfície aplainada Solo: podzólico Vegetação e uso do solo: solo exposto e caatinga antropizada.</p> <p>Áreas preparadas para cultivo com vilas de moradores.</p>	<p>Tonalidade: alta Cor: branca e magenta Textura: lisa a média lisa Forma: geométrica</p>
 <p>Fazenda Varjota</p>		<p>Geologia: pré-Cambriano indiviso Relevo: superfície aplainada Solos: bruno não-cálcico e podzólico Vegetação e uso do solo: pastagem de capim <i>buffel</i> em uma região onde existia uma caatinga arbustiva arbórea aberta.</p>	<p>Tonalidade: alta Cor: magenta Textura: lisa a média lisa Forma: geométrica</p>
 <p>Serra do Boqueirão</p>		<p>Geologia: pré-Cambriano indiviso Relevo: superfície aplainada Solo: litossolo Vegetação e uso do solo: caatinga arbórea fechada.</p> <p>Área com alta declividade, imprópria para utilização.</p>	<p>Tonalidade: baixa Cor: verde Textura: rugosa Forma: irregular</p>

(Continua)

TABELA 5.1 (Conclusão)

 <p>Serra da Fufu</p>		<p>Geologia: Granito Relevo: superfície aplainada Solo: litossolo Vegetação e uso do solo: caatinga arbórea fechada.</p> <p>Área de afloramento do granito, dando origem a solos litólicos, impróprios para a ocupação humana.</p>	<p>Tonalidade: baixa Cor: verde e azul Textura: rugosa Forma: irregular</p>
 <p>Barragem de Entremontes</p>	 	<p>Geologia: Aluvião Relevo: planície fluvial Solo: aluvial Vegetação e uso do solo: caatinga antropizada.</p> <p>Vila instalada próximo à represa caracteriza a paisagem como caatinga antropizada</p>	<p>Tonalidade baixa Cor: preta Textura: lisa Forma: irregular</p>
 <p>Uso do solo – Riacho da Volta</p>	  	<p>Geologia: Aluvião Relevo: planície fluvial Solos: aluvial e podzólico Vegetação e uso do solo: solo exposto e caatinga antropizada.</p> <p>Áreas preparadas para cultivo próximo aos rios</p>	<p>Tonalidade alta Cor: branca e magenta Textura: média lisa Forma: irregular, quase geométrica.</p>

5.2.2 – Delimitação das UTBs

Após a integração entre as técnicas aplicadas e informações de campo, as UTBs foram extraídas, mostradas na Figura 5.4. A delimitação dos polígonos se baseou em métodos de interpretação que avaliam o padrão das formas, a textura, a tonalidade, o arranjo espacial e a informação sobre o entorno da região estudada (chamada de informação contextual), das imagens orbitais e analógicas. As UTBs representam um conjunto de polígonos resultantes da fase de interpretação da imagem.

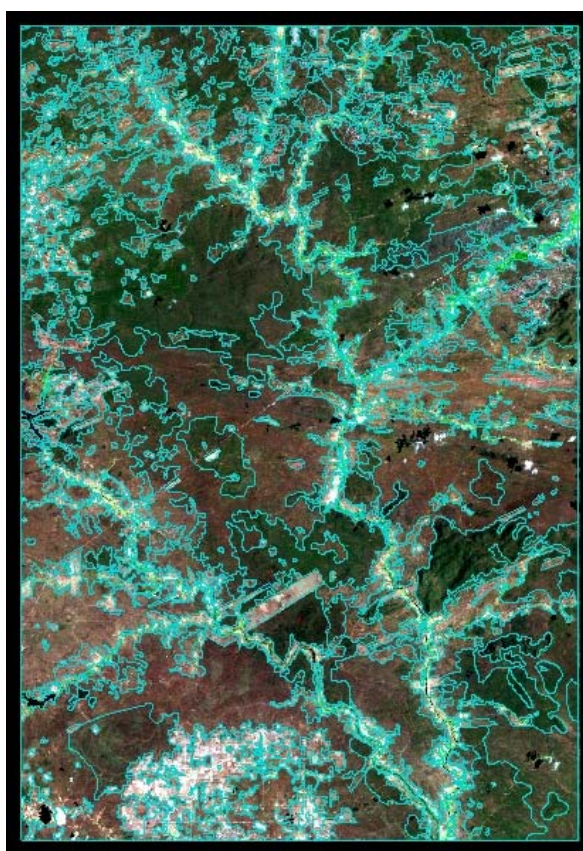


FIGURA 5.4 – UTBs extraídas a partir da interpretação da imagem orbital.

Este produto foi transformado em cadastral e nele serão integradas as informações obtidas após manipulações. Nesta fase, ele é apenas um arquivo vetorial, resultado de informações de campo e interpretação de imagens.

5.3 – Manipulação e Ajustes dos Mapas

Esta etapa consiste em descrever os resultados das interpolações e análises dos mapas numéricos e, apresentar os ajustes realizados nos mapas temáticos.

5.3.1 - Interpolações e Análises dos Mapas Numéricos

Os mapas numéricos necessitaram de manipulações diferenciadas por constituírem um conjunto de amostras com um valor associado, que representa a variável analisada. Neste trabalho as variáveis foram: amplitude altimétrica e intensidade pluviométrica. Neste tópico, portanto, serão tratadas as manipulações e escolha da grade escolhida para representar a amplitude altimétrica.

5.3.1.1 – Geração da Grade para Representar a Amplitude Altimétrica

O mapa de amplitude altimétrica foi gerado a partir de interpolação. Este procedimento utiliza algoritmos matemáticos para representar um dado numérico espacialmente, gerando uma grade retangular ou triangular, analisada quando apresentada sob a forma de imagens em níveis de cinza. A escolha da grade se baseou na imagem porque as variáveis numéricas "isolinhas e pontos cotados" não devem apresentar quebras abruptas do relevo pois este não se comporta desta forma na área de estudo. Além disso, o modelado do terreno é bastante perceptível pela imagem orbital e a imagem em níveis de cinza gerada a partir da grade escolhida, deve ser a mais próxima do observado.

A Figura 5.5 apresenta as grades geradas a partir das curvas de nível e pontos cotados e a apresentação das imagens em níveis de cinza, que serviram para a escolha do melhor interpolador.

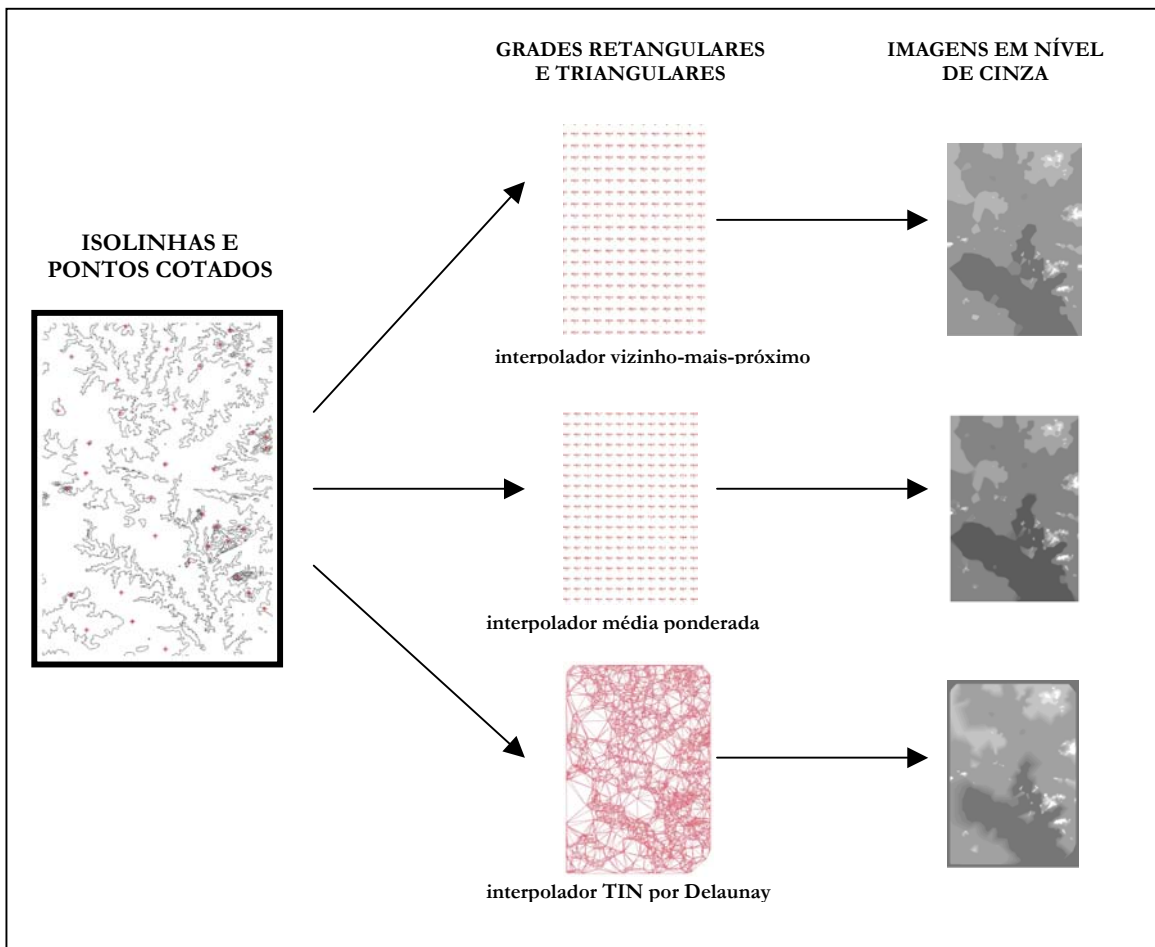


FIGURA 5.5 : Grades retangulares e triangulares geradas para a análise da amplitude altimétrica.

O interpolador que utiliza a média ponderada foi o que melhor representou a variação altimétrica da área de estudo. Trata-se de uma análise de coerência entre o dado fonte e o resultado do processamento utilizado pelo algoritmo para a geração do produto final. Por este interpolador, o valor de cota de cada ponto da grade é calculado a partir da média ponderada das cotas dos oito vizinhos mais próximos a este ponto. Porém, atribui-se valores variados para cada ponto amostrado através de uma função que considera a distância do ponto cotado ao ponto da grade (NETGIS, 1997). Como produto, a escolha da grade propiciou o fatiamento da amplitude altimétrica em classes, mostradas no item 5.4.

5.3.1.2 – Escolha da Grade para Representar a Intensidade Pluviométrica

Para analisar o parâmetro climático “intensidade pluviométrica” foi necessário um refinamento dos dados coletados nos postos pluviométricos. Obteve-se uma tabela com os valores de precipitação média anual, duração do período chuvoso e a intensidade pluviométrica para cada um dos postos selecionados, no período de 1968 a 1998. A Tabela 5.2 apresenta a média para cada mês, por posto, dos parâmetros tratados ao longo de 20 anos.

TABELA 5.2: Valores de Precipitação Média Mensal e Anual, Número de Dias com Chuva e Intensidade Pluviométrica para os Postos Analisados Durante 1968-1998

Postos	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL	PMA*	NDC*	IP*
Estaca	72,7	89,9	140,2	92,7	31,3	13,2	9,7	4,0	7,5	16,7	41,4	62,4	581,6	48,5	48	363,5
Colinas	89,5	108,3	134,8	106,5	32,6	9,4	5,8	5,0	4,5	16,4	31,7	70,4	614,7	51,2	36	512,2
Cpedras	80,8	96,9	136,2	99,6	33,4	13,0	10,9	0,7	6,1	8,7	31,1	64,5	582,0	48,5	32	545,6
F.Macambira	56,4	89,2	138,1	90,0	30,9	9,5	8,1	2,7	2,5	13,3	19,1	49,2	509,1	42,4	26	587,4
Icaçara	81,9	102,2	128,8	98,6	28,9	13,7	11,3	2,7	6,8	22,7	37,3	70,5	605,3	50,4	50	363,2
Jacaré	79,1	87,8	106,8	87,0	23,3	8,2	6,4	1,3	3,4	9,9	33,1	53,4	499,7	41,6	32	468,5
Orocó	83,1	68,0	108,1	80,3	24,5	6,6	6,5	1,6	0,7	9,7	18,3	43,4	450,8	37,6	25	540,9
Pfumo	87,4	102,0	130,8	94,6	27,1	10,8	6,5	2,1	4,0	11,1	32,9	69,4	578,7	48,2	47	369,4
Urimamã	80,1	108,3	109,9	97,3	26,0	9,3	7,0	3,5	1,1	14,7	41,0	62,8	560,8	46,7	33	509,9
FSBento	74,0	70,3	101,5	64,3	25,8	13,4	8,0	0,9	5,2	18,7	32,0	61,7	475,9	39,7	33	432,7
Matias	78,5	87,4	110,6	91,4	31,7	18,6	6,8	1,4	4,5	8,3	39,4	64,6	543,2	45,3	99	164,6
Parnamirim	86,1	114,3	136,9	77,2	31,2	11,4	8,8	2,6	4,0	17,3	37,5	57,6	585,0	48,7	49	358,1
Parnamirim2	103,1	87,7	159,2	106,0	41,1	12,3	7,4	2,0	4,0	9,7	37,3	69,8	639,5	53,3	41	468,0
Ftapera	78,9	72,0	110,8	72,5	17,1	10,9	7,5	2,2	4,4	5,4	30,0	49,5	461,1	38,4	35	395,2

* PMA: Precipitação média anual (mm); NDC: número de dias com chuva; IP: Intensidade pluviométrica (mm/ano).

Foram aplicados alguns interpoladores para a escolha do que melhor caracterizasse a intensidade pluviométrica. Esta avaliação foi mais subjetiva, já que a partir de um posto com valores de precipitação e período chuvoso não é possível saber qual a área de abrangência da chuva. Pôde-se apenas supor que tal variável não ocorra com quebras bruscas e retilíneas como aconteceu com o interpolador vizinho mais próximo (Figura 5.6). Para que esta escolha se torne compreensível, a Figura 5.6 apresenta as grades retangulares e triangulares geradas a partir da manipulação dos dados climáticos.

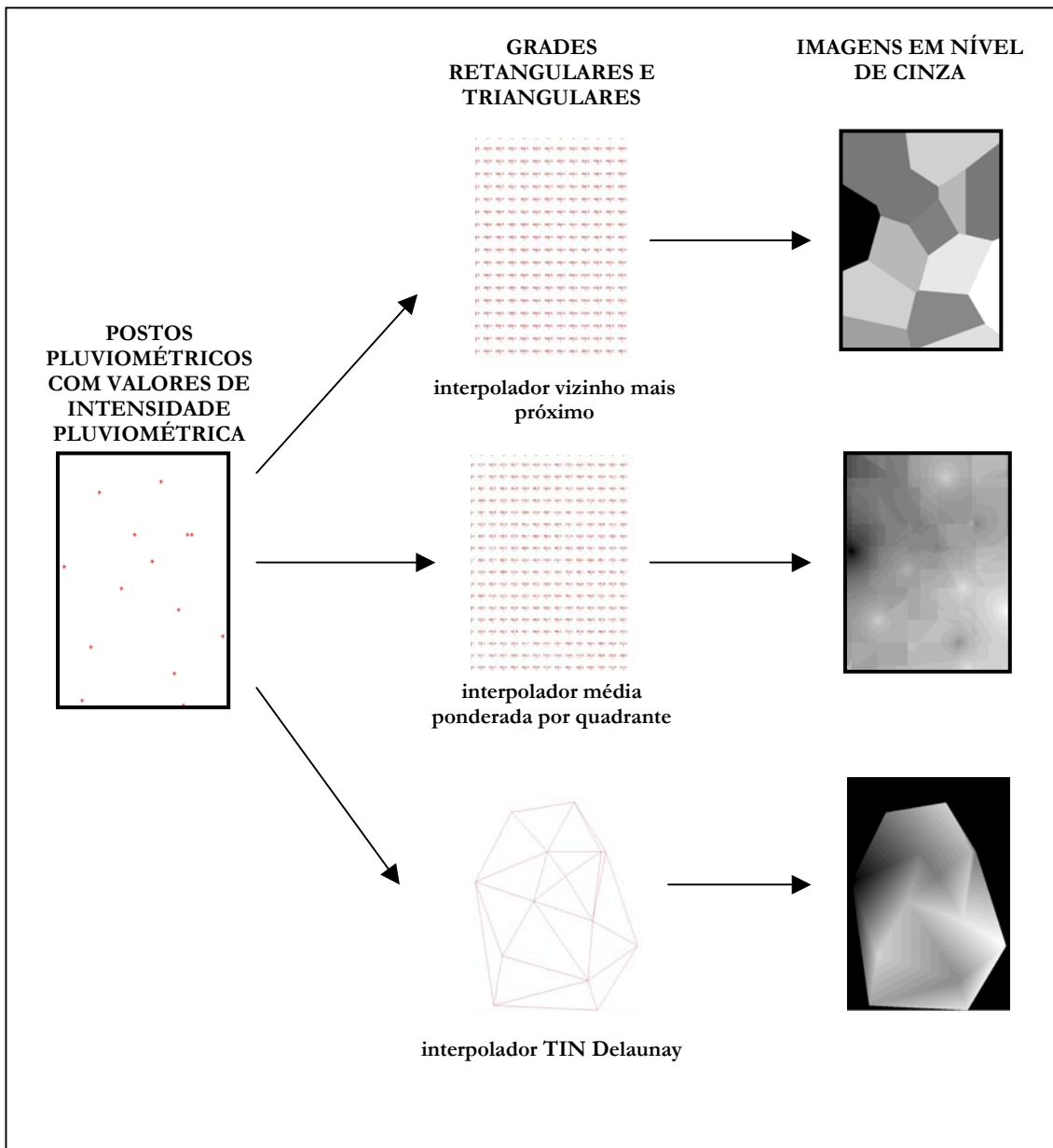


FIGURA. 5.6 – Grades analisadas para a representação da variável intensidade pluviométrica.

A grade com o interpolador média ponderada por quadrante foi considerada a melhor representação. NETGIS (1997) reforça tal escolha quando chega a sugerir-lo quando as amostras são todas do tipo ponto. Assim como a amplitude altimétrica, o mapa que representa a intensidade pluviométrica é mostrado no item 5.4.

5.3.2 – Complementação e Ajustes dos Mapas Temáticos

Esta fase inclui o agrupamento das informações obtidas através da análise dos mapas temáticos e do trabalho de campo. Procurou-se complementar e ajustá-los à escala de trabalho (1:100.000). A Tabela 5.3 mostra as alterações realizadas em cada mapa com o intuito de detalhar a informação e facilitar as análises.

TABELA 5.3 - Alterações Realizadas nos Diferentes Mapas Temáticos.

MAPAS TEMÁTICOS / FONTES	ALTERAÇÕES
GEOLOGIA (RADAMBRASIL, 1983; DNPM, 1980)	<ul style="list-style-type: none">- Inclusão da classe de aluvião, baseada em informações de outros mapas temáticos e coletadas no trabalho de campo;- Alteração dos limites da classe granito através da interpretação da imagem orbital além da análise dos dados sobre altimetria;- As diferentes classificações adotadas, estas não são diferentes em litologia e o mapa foi revisado e ajustado à escala de trabalho, com base na caracterização litológica.
GEOMORFOLOGIA (RADAMBRASIL, 1983)	<ul style="list-style-type: none">- Identificação da classe de aluvião com base em dados coletados em trabalho de campo e informações auxiliares obtidas na escala de trabalho;- Delimitação das formas de relevo, com base na interpretação da imagem orbital.
PEDOLOGIA (EMBRAPA, 1997)	<ul style="list-style-type: none">- Extração dos afloramentos rochosos, através da interpretação da imagem orbital e de coleta de informações em trabalho de campo;- Delimitação mais precisa de alguns tipos de solos, como o regossolo, que é encontrado em relevos residuais dentro da área de estudo
VEGETAÇÃO E USO DO SOLO (IBAMA, 1992)	<ul style="list-style-type: none">- Atualização das informações sobre o uso do solo, mapeadas anteriormente no mapa IBAMA, baseando-se na interpretação da imagem orbital e do trabalho de campo;

Para facilitar a visualização dessas alterações, a Figura 5.7 apresenta os mapas originais, extraídos de diferentes fontes, em diferentes escalas e os mapas ajustados, com nível de detalhe compatível a do trabalho.

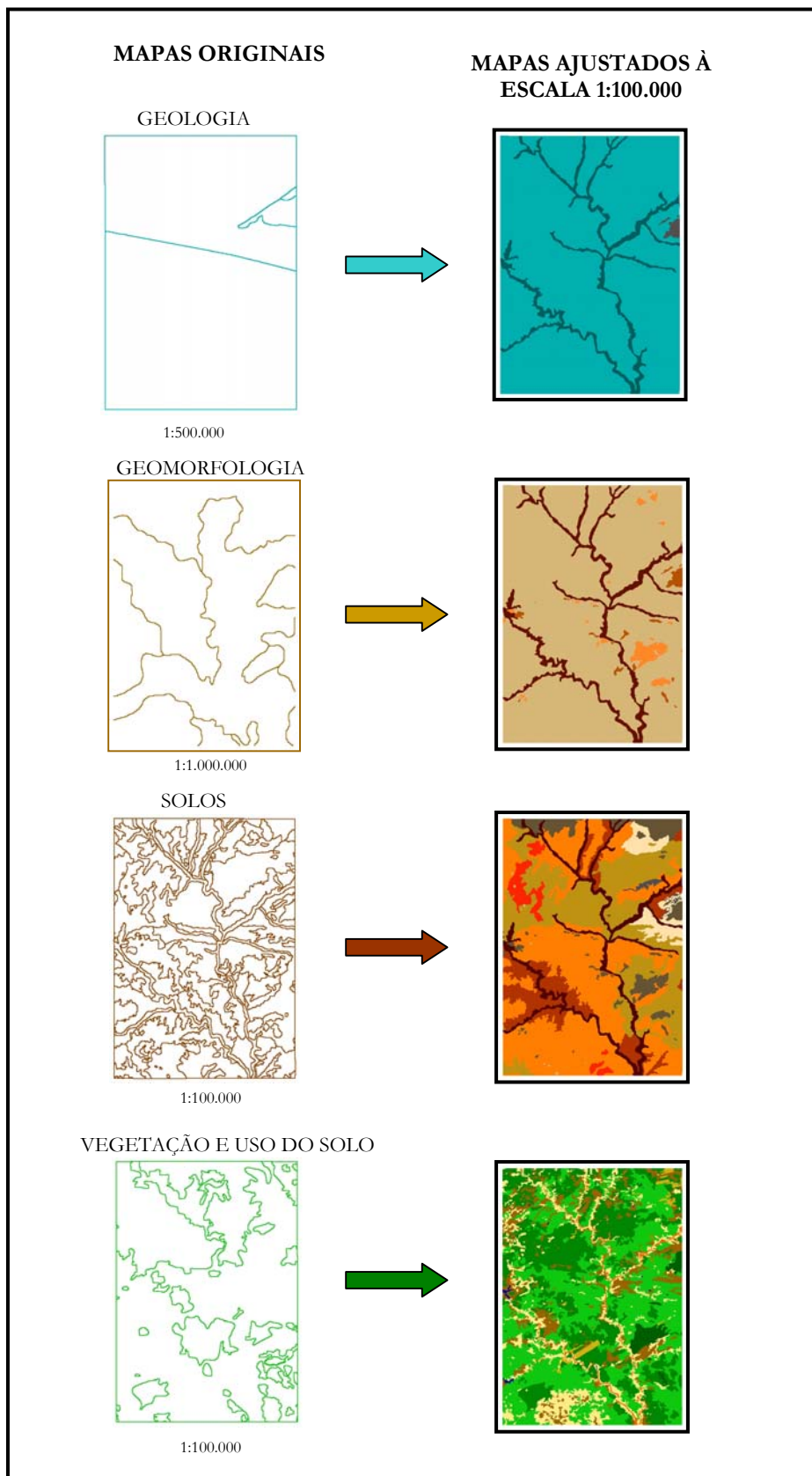


FIGURA 5.7 – Alterações realizadas nos mapas temáticos.

5.4 - Análise da Vulnerabilidade da Área de Estudo

Esta fase inclui a análise dos mapas temáticos e a caracterização quanto à morfogênese e pedogênese, representada pela atribuição de valores de estabilidade ou vulnerabilidade aos processos de perda de solo.

5.4.1 – Definição dos Valores de Vulnerabilidade/Estabilidade para Cada Tema

A partir do resultado das manipulações dos mapas, as classes foram detalhadas e pôde-se dar início à definição dos valores de estabilidade e vulnerabilidade para cada um dos temas.

5.4.1.1 - Litologia

As classes litológicas encontradas estão apresentadas na Figura 5.8, já que as denominações geológicas não interferem na atribuição dos valores.

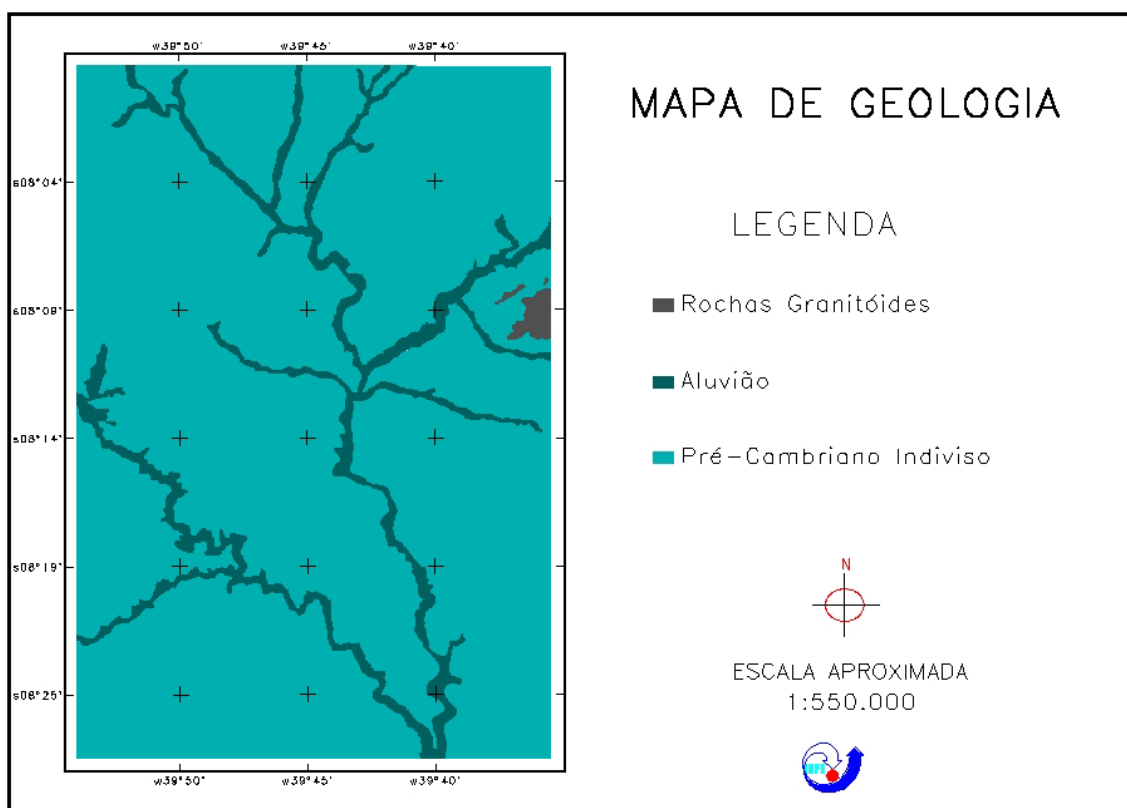


FIGURA. 5.8 – Mapa de Litologias.

Para as classes onde havia apenas um tipo de litologia foi adotado o valor definido por Crepani et al. (1996). Para a classe pré-Cambriano indiviso foi realizada uma média aritmética entre as litologias, pois ele representa um complexo de metamórficas (migmatito, xisto e granito-gnaiss) que sofreram modificações ao longo do tempo principalmente devido ao cisalhamento que deu origem ao Lineamento de Patos. A Tabela 5.4 apresenta os valores definidos para cada classe litológica.

TABELA 5.4 – Valores de Estabilidade/Vulnerabilidade para as Diferentes Litologias da Área.

LITOLOGIAS	VALOR EST/VULN
Rochas granitóides	1,1
Gnaiss + migmatito + xisto	1,5
Sedimentos inconsolidados	3,0

FONTE: Adaptada de Crepani et al. (1996).

As rochas granitóides possuem características que a colocam como estáveis devido à alta resistência à intemperização. Este fato é bastante observado nas áreas onde o solo é pedregoso ou o granito aflora devido ao seu lento desgaste. Por se tratar de um conjunto de litologias com estabilidade diferente, o complexo gnaiss-migmatito-xisto apresenta valores moderadamente estáveis. O gnaiss e o migmatito possuem valores que os caracterizam como estáveis aos processos de intemperismo e o xisto, com uma vulnerabilidade maior a este processo.

Os sedimentos inconsolidados estão entre os mais instáveis à vulnerabilidade pois se localizam ao longo dos leitos dos rios, áreas onde uma grande quantidade de material é transportado pela água que principalmente, por areia que é transportada durante os períodos onde o fluxo de água nos canais de drenagem é intenso.

5.4.1.2 - Geomorfologia

Os parâmetros utilizados para avaliar este tema foram: morfografia, amplitude altimétrica e dimensão interfluvial. O mapa de morfografia é mostrado na Figura 5.9 e apresenta as principais classes, mapeadas na escala de trabalho.

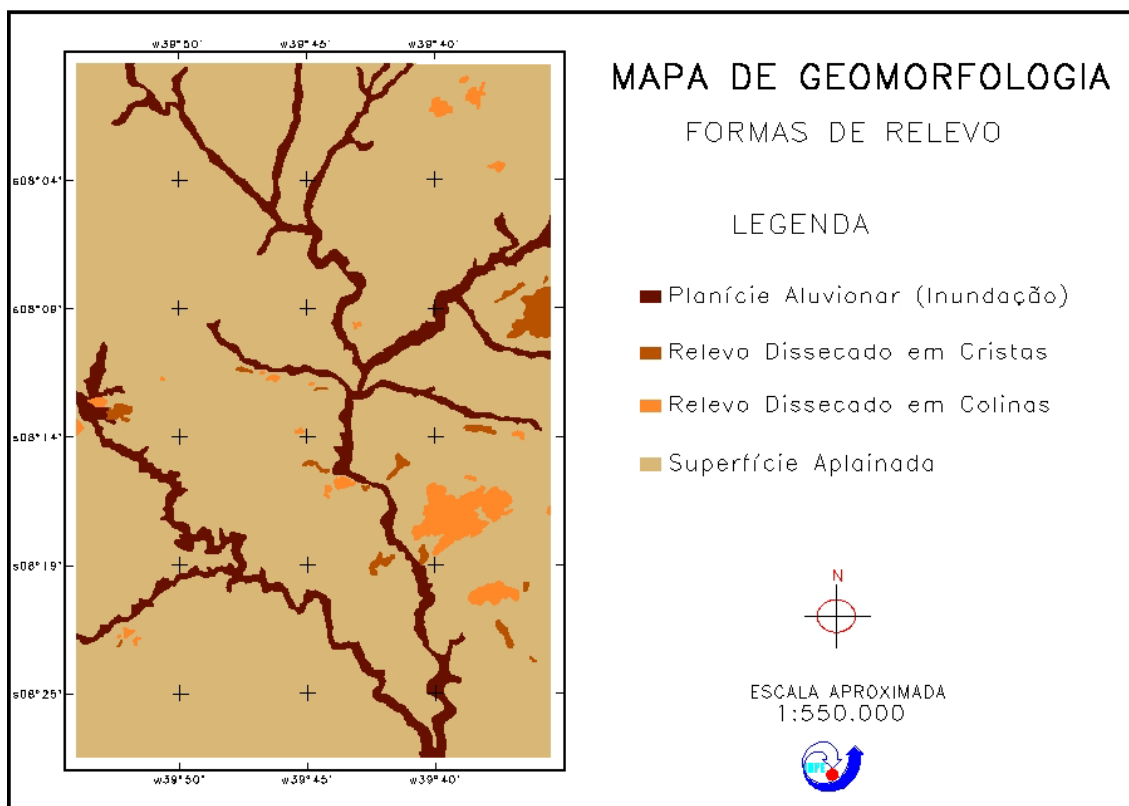


FIGURA. 5.9 – Mapa de morfografia.

A partir da definição das classes, foi possível estabelecer os valores de estabilidade e vulnerabilidade, apresentados na Tabela 5.5.

TABELA 5.5 : Valores de Estabilidade/Vulnerabilidade para as Classes Morfométricas Encontradas.

FORMAS DE RELEVO	VALOR EST/VULN
Planície aluvionar	3,0
Relevo dissecado em cristas	2,7
Relevo dissecado em colinas	2,0
Superfície aplainada	1,3

FONTE: Adaptada de Crepani et al. (1996).

As superfícies aplainadas são caracterizadas por relevos planos a suavemente ondulados onde os valores são considerados estáveis aos processos de perda de solo. Áreas com relevo dissecado em colinas apresentam valores intermediários pois, apesar da dissecação, os topos côncavos não permitem a perda de solo tão rápida quanto a que acontece em

relevos dissecados em cristas. Nestas áreas as vertentes são mais inclinadas e a água das chuvas provoca uma aceleração nos processos de perda de solo e escoamento superficial.

A planície aluvionar é a mais instável das classes pois neste tipo de relevo ocorre a acumulação de sedimentos. Estes sedimentos, provenientes do arraste de outras áreas pela ação da água, decorrem dos os processos de modificação do relevo.

Para a variável amplitude altimétrica foram definidos intervalos de 20 metros, variando de 0 a 160 metros (Ross, 1992; Ross, 1994; Crepani et al., 1996). As classes encontradas são apresentadas na Figura 5.10.

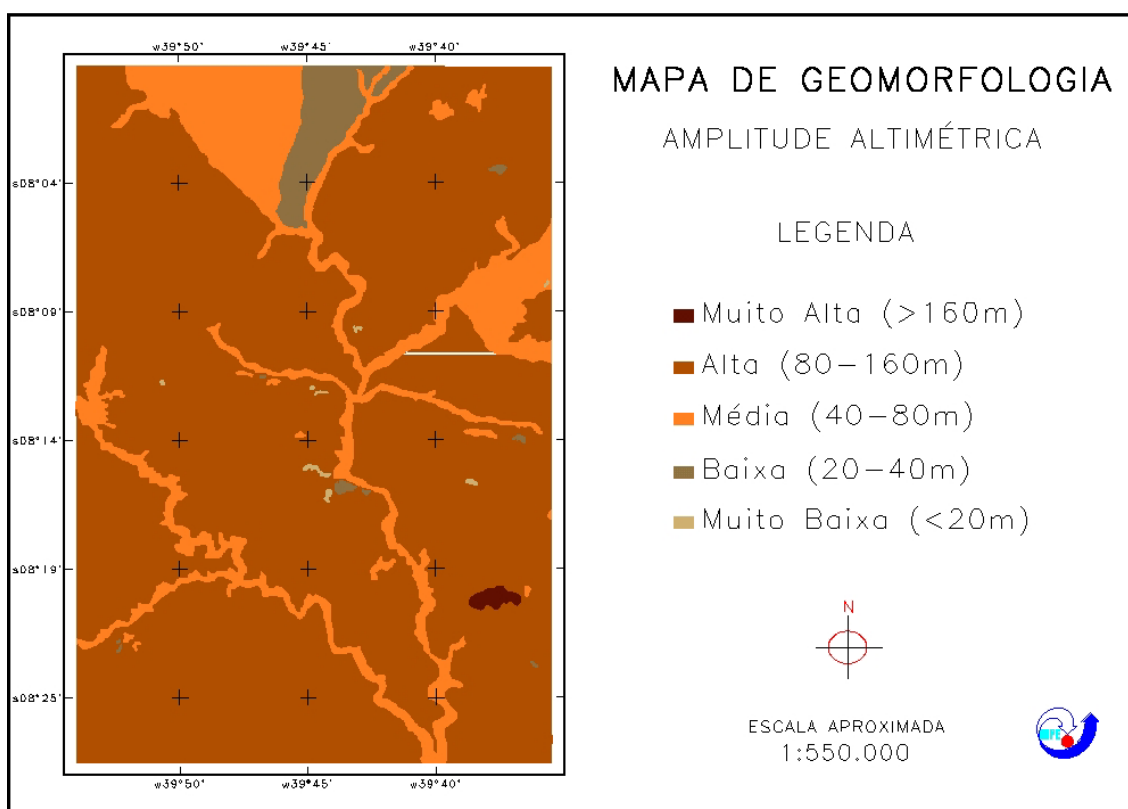


FIGURA. 5.10 : Mapa de amplitude altimétrica.

De acordo com os intervalos, foram adotados valores de estabilidade e vulnerabilidade aos processos de perda de solo, mostrados na Tabela 5.6.

TABELA 5.6– Valores de Estabilidade/Vulnerabilidade para as Classes de Amplitude Altimétrica.

AMPLITUDE ALTIMÉTRICA (m)	VALOR DE VULNERABILIDADE/ESTABILIDADE
>160	3,0
80-160	2,5
80-40	2,0
20-40	1,5
<20	1,0

FONTE: Adaptada de Crepani et al.(1996).

Pode-se perceber, quanto menor a amplitude altimétrica, relacionada ao ponto mais alto e mais baixo de cada uma das formas de relevo, mais estável é a unidade geomorfológica. Neste caso o relevo é mais plano e a perda de solo é mais lenta do que em relevos mais acidentados. Para o parâmetro dimensão interfluvial foram definidas classes (Crepani et al., 1996), apresentadas pela Figura 5.11.

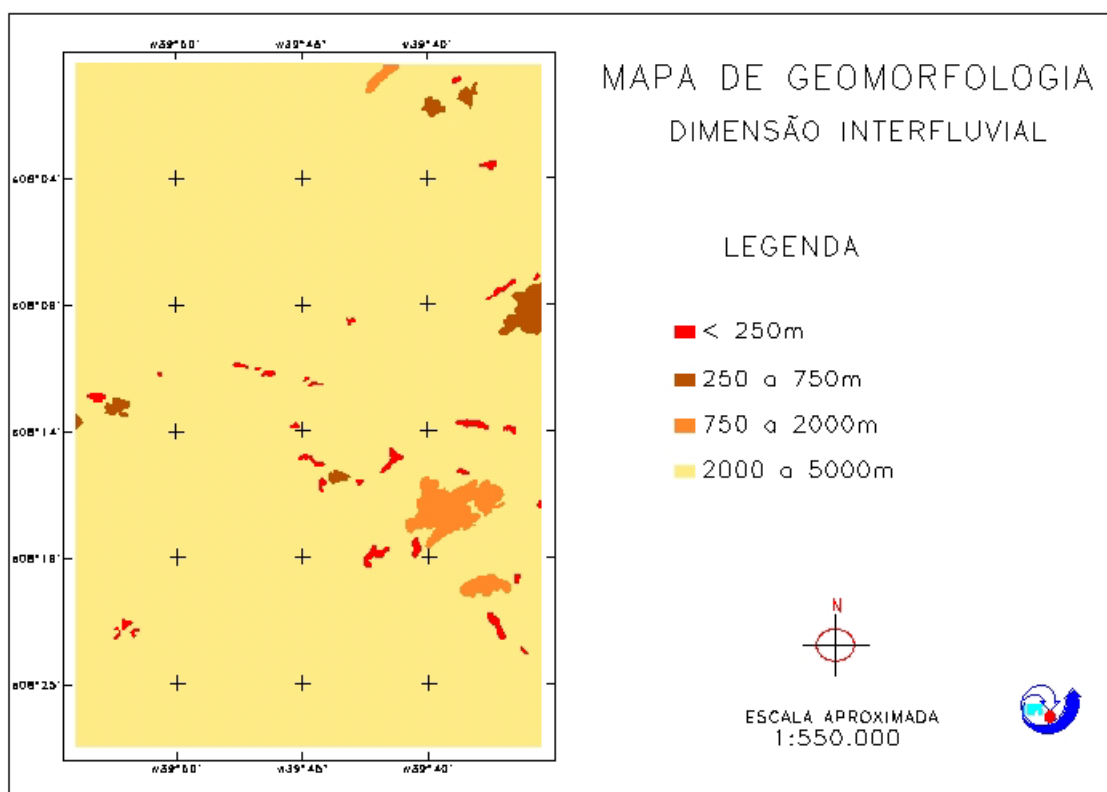


FIGURA 5.11 : Mapa de dimensão interfluvial..

Para cada uma das classes estabelecidas, foram adotados valores descritos na Tabela 5.7.

TABELA 5.7 : Valores de Estabilidade/Vulnerabilidade para as Classes de Amplitude Interfluvial Utilizadas.

DIMENSÃO INTERFLUVIAL (m)	VALOR DE VULNERABILIDADE/ESTABILIDADE
<250	3,0
250 a 7500	2,5
750 a 2000	2,0
<250	1,5

FONTE: Adaptada de Crepani et al.(1996).

Os valores de dimensão interfluvial mais altos indicam um relevo mais plano, que é mais estável aos processos de perda de solo. Por outro lado, um valor pequeno desse mesmo parâmetro, significa um relevo mais dissecado onde o solo pode ser carreado com bastante facilidade.

De uma forma geral, a geomorfologia, apresentando uma média entre os três índices morfométricos, indicou que a região estudada possui extensas áreas aplainadas, com baixa amplitude interfluvial, onde a estabilidade predomina. A amplitude altimétrica predominantemente alta na área de estudo indica a presença de relevos residuais que afetam a geração da grade e por conseguinte, sua espacialização. Os relevos residuais possuem valores diferenciados devido às características das suas vertentes que aliadas à chuva, adquire uma alta velocidade e um alto poder de escoamento superficial (*runoff*).

5.4.1.3 – Solos

O mapa utilizado neste trabalho, apresentado na Figura 5.12, detalha as associações entre diferentes tipos de solos. Para facilitar a leitura da legenda, é levado em conta apenas o primeiro solo da associação, ou o mais considerado (60%) para o cálculo do valor de estabilidade e vulnerabilidade da classe.

Os latossolos são considerados solos estáveis aos processos de perda de solo pois são bem desenvolvidos, com grande profundidade e porosidade e alta maturidade. Os solos considerados “intermediários” abrangem as classes dos podzólicos, planossolos e brunos não cálcicos. Estes solos possuem diferenças com relação aos outros solos baseadas na textura entre os horizontes A e B, dificultando a infiltração da água e favorecendo os processos de perda de solo.

Os solos vulneráveis da área de estudo, representados pelos regossolos, litossolos e vertissolos, são considerados solos pouco desenvolvidos. Nelas ocorre a ausência do horizonte B, assentando-se diretamente sobre o horizonte C ou sobre a rocha mãe. Apesar da rocha mãe (granito) ser bastante resistente aos processos de intemperismo, o solo, em particular, é bastante instável.

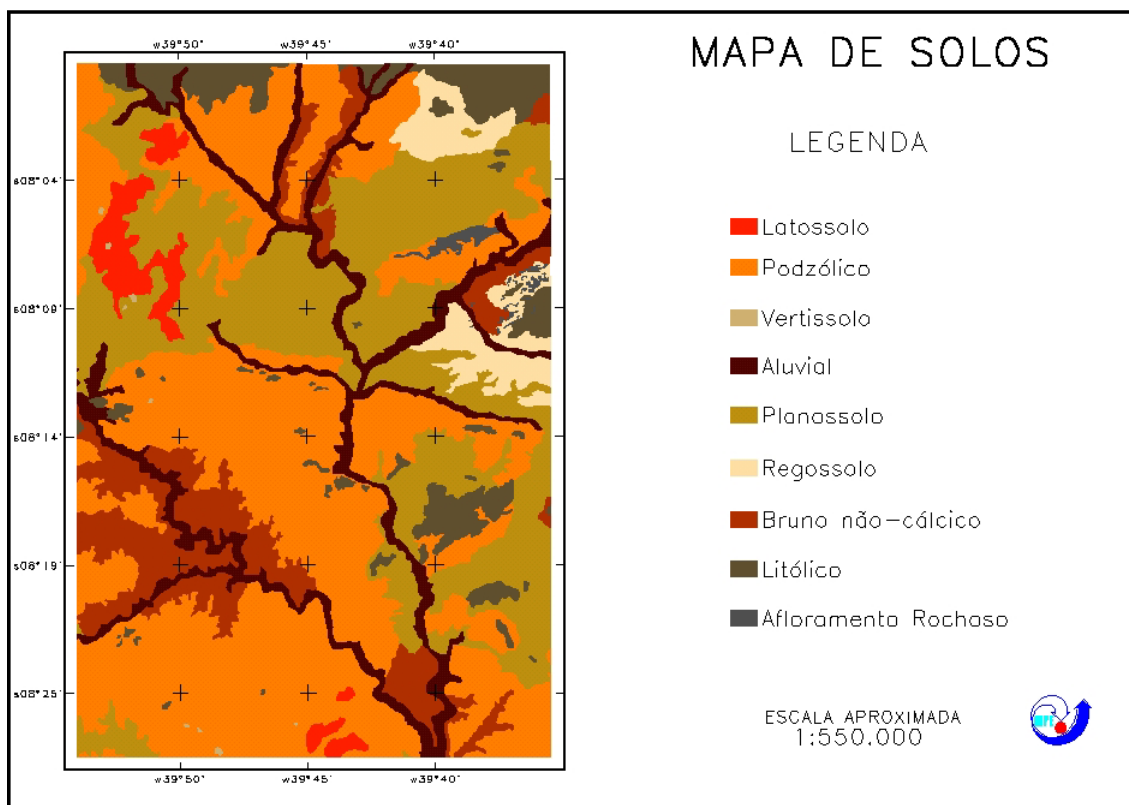


FIGURA. 5.12 : Mapa de solos.

Seguindo, portanto, a atribuição de valores estabelecida por Crepani et al. (1996), a Tabela 5.8 apresenta o valor de estabilidade e vulnerabilidade das diferentes associações de solos encontradas na área de estudo. O cálculo foi realizado em função das classes de solos que ocorrem em primeiro, segundo e terceiro lugares, conforme exemplificado na metodologia deste trabalho.

TABELA 5.8 - Valores de Estabilidade/Vulnerabilidade para as Classes e Associações de Solos.

SOLOS (OU ASSOCIAÇÕES)	VALOR EST/VULN
Latossolo	1
Latossolo + Podzólico	1,4
Podzólico + Latossolo	1,6
Podzólico + Planossolo	2,0
Podzólico + Latossolo	1,6
Podzólico + Latossolo	1,6
Podzólico	2,0
Podzólico + Bruno Não-Cálcico	2,0
Podzólico + Bruno Não-Cálcico	2,0
Podzólico + Planossolo	2,0
Podzólico + Planossolo	2,0
Bruno Não-Cálcico + Planossolo + Podzólico	2,0
Bruno Não-Cálcico + Litólico	2,4
Bruno Não-Cálcico + Solonetz Solodizado + Litólico	2,1
Bruno Não-Cálcico + Litólico	2,4
Planossolo + Podzólico + Litólico	2,1
Planossolo + Podzólico + Litólico	2,1
Planossolo + Bruno Não-Cálcico + Litólico	2,1
Planossolo + Litólico	2,4
Planossolo + Litólico	2,4
Vertissolo + Planossolo	2,6
Regossolo + Planossolo + Litólico	2,7
Regossolo + Litólico + Planossolo	2,9
Aluvial + Cambissolo	2,6
Aluvial + Solonetz Solodizado	2,6
Aluvial + Planossolo	2,6
Litólico + Podzólico + Planossolo	2,6
Litólico + Planossolo + Podzólico	2,6
Litólico + Podzólico + Afloramento	2,7
Litólico + Planossolo	2,6
Afloramento rochoso	3,0

FONTE: Adaptada de Crepani et al.(1996).

5.4.1.4 – Cobertura Vegetal e Uso do Solo

Para o tema vegetação e uso do solo foram identificadas as seguintes classes: caatinga arbustiva arbórea aberta, caatinga arbustiva arbórea fechada; caatinga antropizada; solo exposto; cultura anual; pastagem e água (lagos, represas e açudes), mostradas pela Figura 5.13.

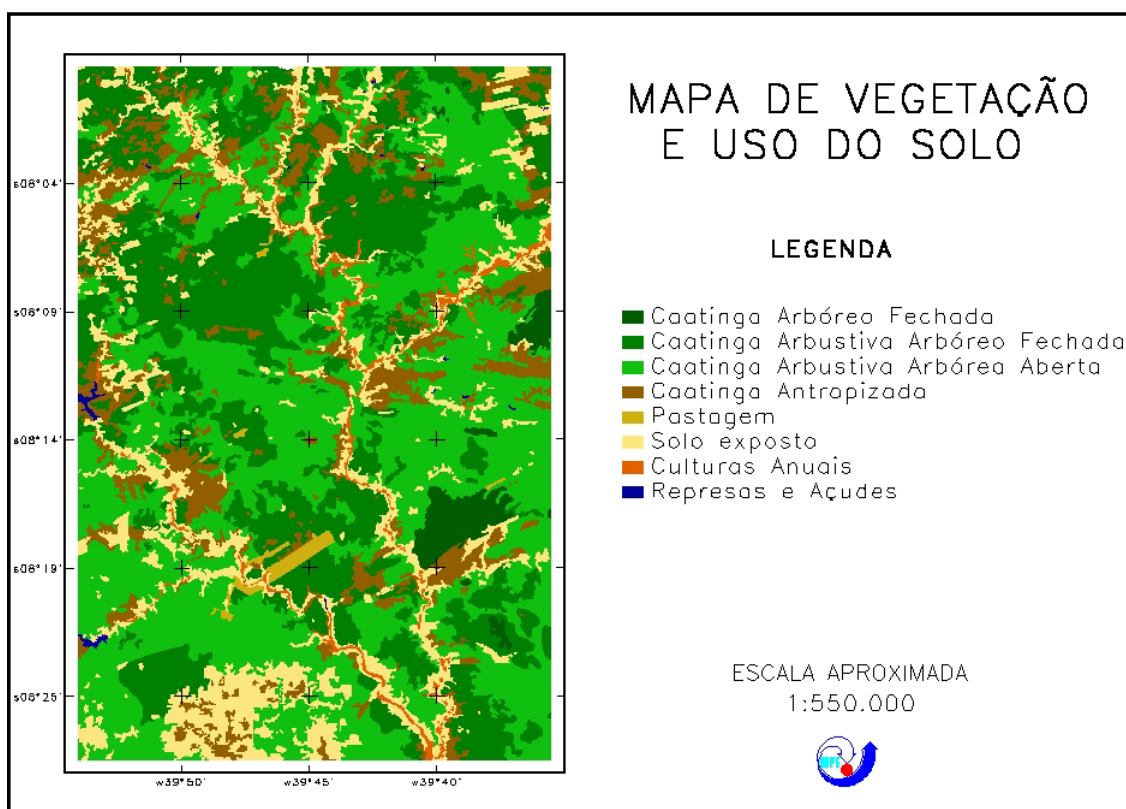


FIGURA 5.13 – Mapa de vegetação e uso do solo.

A análise da perda de solo está baseada na cobertura que a vegetação e a atividade antrópica proporcionam ao solo. Partindo desta premissa, as áreas mais estáveis seriam as ocupadas por vegetação densa e fechada, como a caatinga arbóreo fechada e a caatinga arbustiva arbórea fechada. A caatinga arbustivo arbórea aberta permite uma maior penetração da água da chuva, favorecendo o escoamento superficial do solo. A classe denominada caatinga antropizada foi avaliada com base em duas outras classes, caatinga arbustiva arbórea aberta e solo exposto, pois representava áreas com uma vegetação pouco densa e o aparecimento do solo em determinadas porções da paisagem.

As áreas onde ocorre atividade humana, como solo exposto, culturas anuais e pastagens, possuem um alto valor de vulnerabilidade aos processos de perda de solo, devido à baixa cobertura do solo e ao constante preparo para a agricultura. Alia-se a este fato, a falta de

manejo adequado do solo com práticas conservacionistas que procurassem minimizar o impacto da agricultura. Os valores para cada classe encontrada é observado na Tabela 5.9.

TABELA 5.9- Valores de Estabilidade/Vulnerabilidade para as Classes de Vegetação e Uso do Solo.

CLASSES	VALOR EST/VULN
Caatinga Arbórea Fechada	1,7
Caatinga Arbustiva Arbórea Fechada	2,1
Caatinga Arbustiva Arbórea Aberta	2,3
Caatinga antropizada	2,6
Pastagem	2,8
Solo exposto	3,0
Cultura anual	3,0
Água (lagos, represas e açudes)	3,0

FONTE: Adaptada de Crepani et al.(1996).

As áreas classificadas como cultura anual apresentavam, em poucos casos, uma vegetação mais densa que poderia ser classificada como mata ciliar. No entanto, analisando a imagem orbital, as feições se tornaram bastante confusas e a identificação precisa desta classe poderia não ser coerente. Devido a isso, as áreas com vegetação fotossinteticamente mais ativa, ao longo dos rios, foram classificada como “cultura anual” pois foi constatado, durante o trabalho de campo, o desenvolvimento de agricultura de subsistência em 90% dos leitos dos rios.

5.4.1.5 - Clima

O clima foi avaliado a partir de um conjunto de amostras que representavam a intensidade pluviométrica de cada um dos postos selecionados. Estes valores foram incorporados aos intervalos estabelecidos por Crepani et al. (1996) e a Figura 5.14 apresenta a espacialização deste parâmetro.

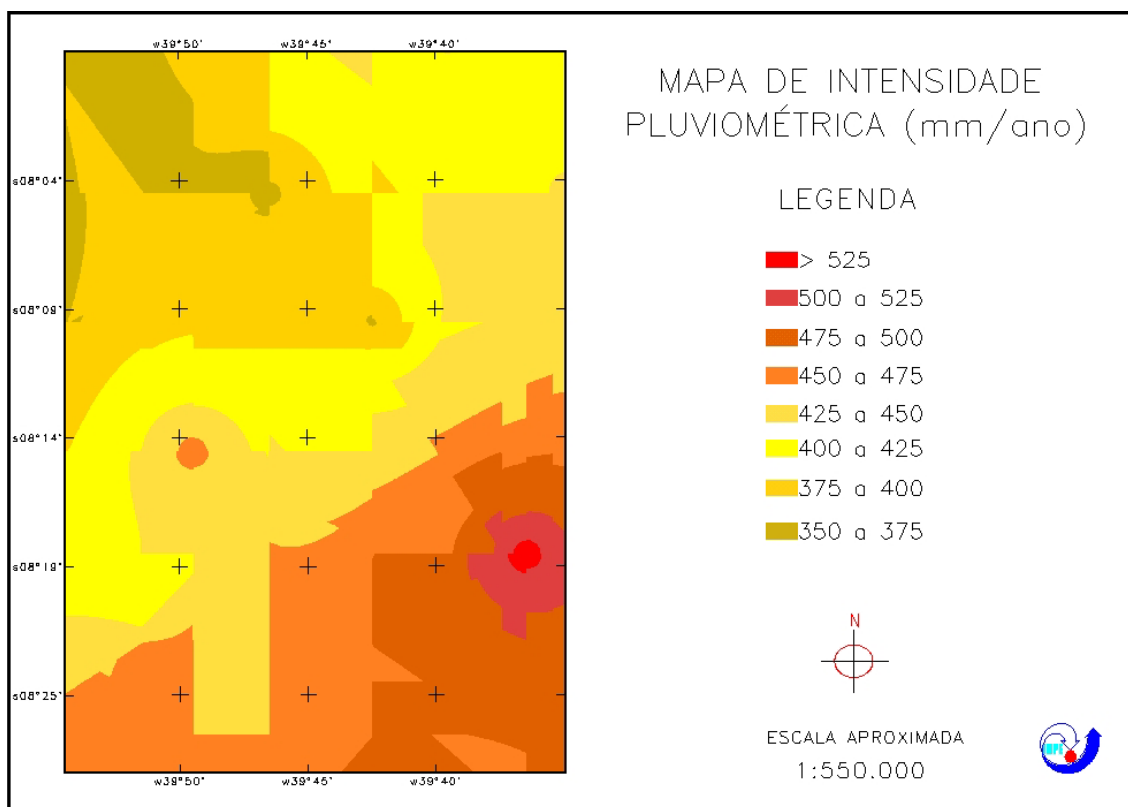


FIGURA 5.14 : Mapa de intensidade pluviométrica

A Tabela 5.10 mostra os valores atribuídos a cada uma das amostras consideradas.

TABELA 5.10 : Valores de Estabilidade/Vulnerabilidade para a Intensidade Pluviométrica.

POSTOS PLUVIOMÉTRICOS	INTENSIDADE PLUVIOMÉTRICA (mm/ano)	VALOR ESTABILIDADE /VULNERABILIDADE
Fazenda Macambira	587,4	3,0
Companhia das Pedras	545,6	3,0
Orocó	540,9	3,0
Colinas	512,2	2,9
Urimamã	509,4	2,9
Jacaré	468,5	2,7
Parnamirim 2	468,0	2,7
Fazenda São Bento	432,7	2,6
Fazenda Tapera	395,2	2,4
Sítio Estaca	363,5	2,3
Icaçara	363,2	2,3
Parnamirim 1	358,1	2,3
Matias	164,6	1,5

FONTE: Adaptada de Crepani et al.(1996).

A intensidade pluviométrica está associada à erosividade das chuvas que, na época seca, encontram o solo mais exposto devido à falta de vegetação. Este fato descreve um panorama onde a intensidade das chuvas está relacionado às enxurradas e conseqüente perda de solo.

5.5 – Finalização da Montagem do Banco de Dados

O fechamento da montagem do banco de dados permitiu a elaboração do mapa de vulnerabilidade à perda de solo e a possibilidade de se obter informações diretas, realizando consultas sobre o ambiente estudado. Em uma primeira parte, será avaliado o resultado temático e demonstrado o resultado prático deste trabalho.

5.5.1 – Mapa de Vulnerabilidade à Perda de Solo

A partir dos valores definidos e dos mapas analisados, as operações algébricas entre mapas permitiram a obtenção do mapa de vulnerabilidade à perda de solo, apresentada pela Figura 5.15. Esta retrata as 21 classes de vulnerabilidade e suas abrangências dentro da área de estudo.

Não foram encontradas áreas realmente estáveis aos processos de perda de solo. As áreas consideradas moderadamente estáveis estão relacionadas ao solo profundo (latossolo) e à presença da cobertura vegetal mais densa e fechada. O relevo aplainado contribui para a estabilidade, ao contrário do clima que possui a maioria dos seus postos com valores próximos à instabilidade.

As áreas medianamente estáveis ocupam quase 90% de toda a área de estudo, está relacionada às classes de Geologia, Geomorfologia e solos. São superfícies aplainadas, formadas por rochas resistentes ao intemperismo e solos com baixa fertilidade e média profundidade.

O uso do solo, concentrado ao longo das planícies aluviais, tem contribuído, no entanto, para o processo de perda de solo. A degradação acelerada pelo mau uso do solo, aliado ao fato de estar sobre um terreno bastante frágil geológico, geomorfológico e pedologicamente, caracterizam as áreas consideradas moderadamente vulneráveis.

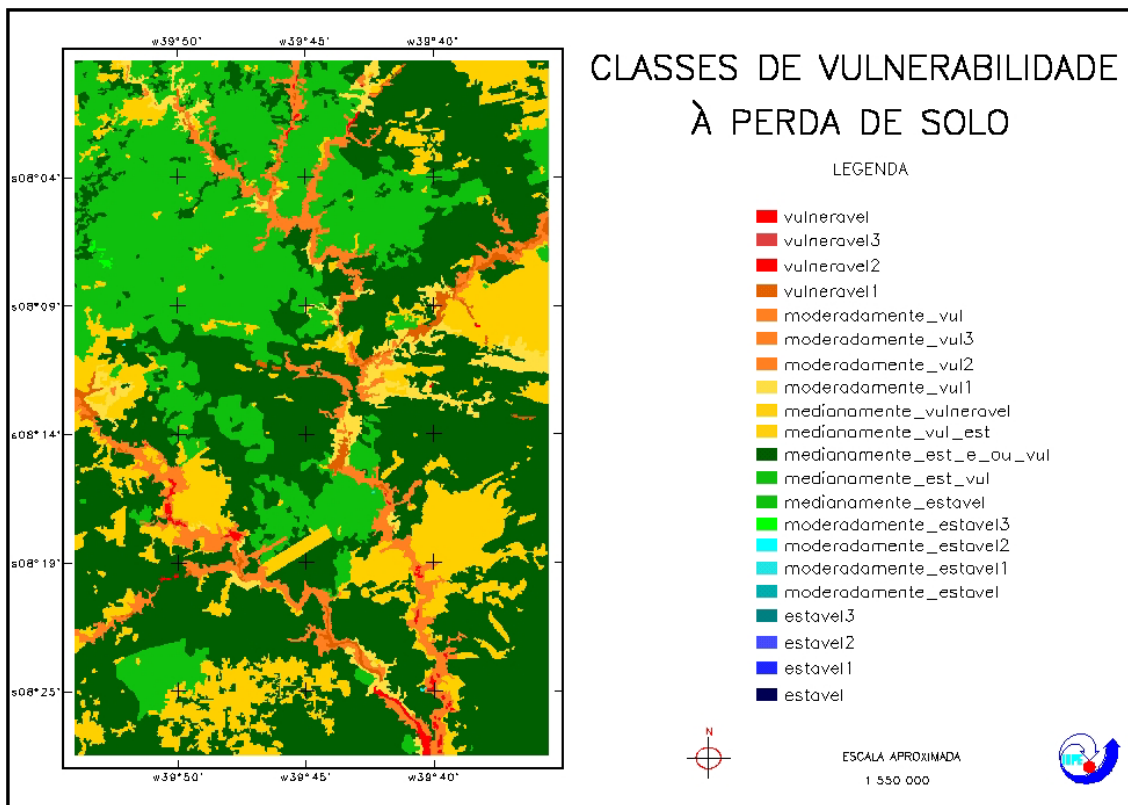


FIGURA 5.15 : Classes de vulnerabilidade à perda de solo para a área de estudo.

Por fim, as áreas vulneráveis representam unidades de paisagem onde o uso é intensificado devido à proximidade da água, em um mesmo terreno já considerado moderadamente vulnerável, ocasionando uma maior preocupação com relação ao seu manejo. Este mapa pode ser útil para se definir regras de ocupação, preservação e o uso com restrições.

5.5.2 – Banco de Dados Geo-Relacional

Como resultado prático deste trabalho, a Figura 5.16 apresenta um exemplo do mapa cadastral e os atributos associados às UTBs. Por se tratar de um banco de dados geo-relacional montado em um SIG, a consultas são mais pertinentes quando analisado o CD-ROM, anexado a este documento, onde todos os dados estão agrupados.

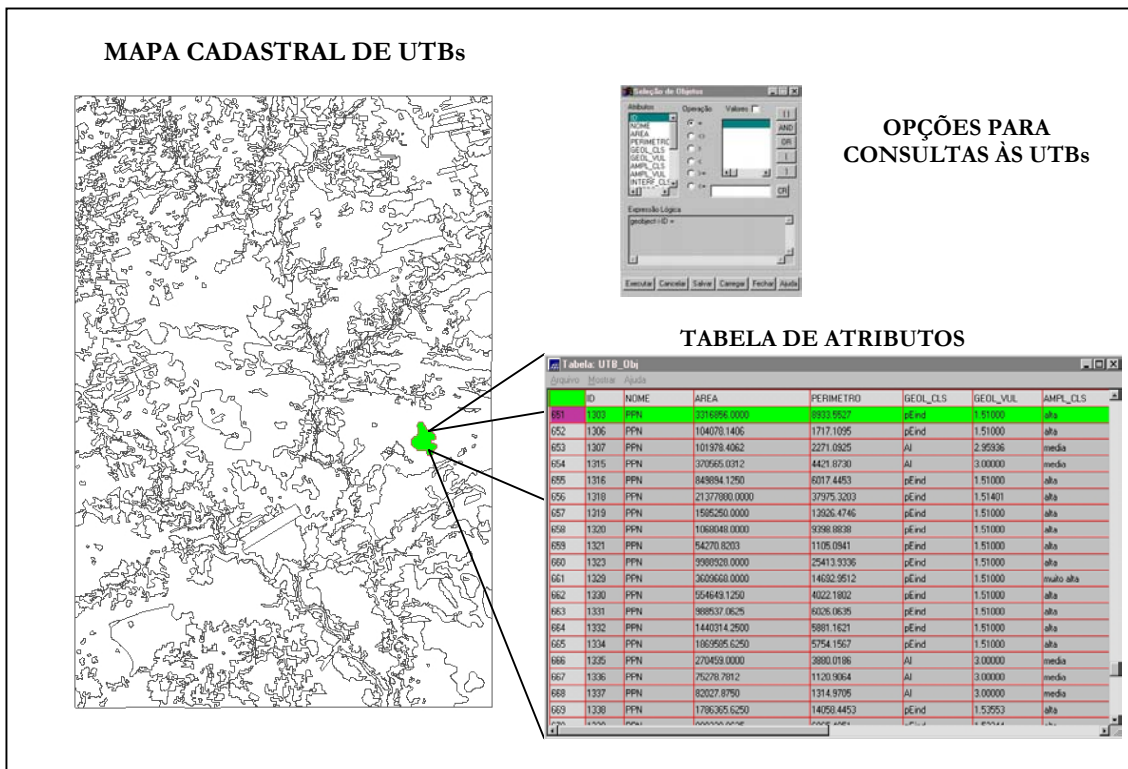


FIGURA 5.16 : Exemplo do banco de dados e possibilidades de consulta para cada UTB.

Com a montagem do banco de dados, torna-se automática a consulta e a possibilidade de realizar cruzamentos entre informações. Tendo a área dividida em unidades de paisagem, a cada unidade está atribuído informações sobre suas características geológicas, geomorfológicas, pedológicas, climatológicas e referentes à cobertura da vegetação.

Deste modo, os interessados neste tipo de produto, podem descobrir em qual região ocorre o litossolo, em áreas com amplitude alta e sem cobertura vegetal, por exemplo. Este tipo de informação é obtido em consultas realizadas sobre o mapa cadastral e sobre a tabela de atributos, dentro do SIG.

O resultado temático associado ao banco de dados fornece informações sobre o meio físico e biótico, permitindo a caracterização e análise sobre o ambiente estudado.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Tendo como objetivo principal testar a metodologia utilizada para gerar mapas de vulnerabilidade à perda de solo em ambiente semi-árido, este trabalho possibilitou a compreensão da formação da paisagem, os processos que podem levar a degradação desta região além dos métodos e técnicas necessárias para obter informações relevantes sob estes aspectos. Serão apresentadas também, recomendações que podem ser aplicadas a estudos futuros com características semelhantes.

A paisagem da área de estudo é considerada peculiar devido às suas características semi-áridas. Geologicamente, grande parte da região se apresenta estável aos processos de perda de solo devido ao embasamento cristalino, onde as rochas são mais resistentes ao intemperismo. As formas de relevo apresentam áreas condizentes com os processos geológicos, formadas a partir de rochas mais resistentes ou resultado de uma pediplanação e resíduos sob a forma de morros e elevações. Em diferentes amplitudes altimétricas e interfluviais, índices morfométricos do relevo, o solo vem sendo perdido ora devido aos processos naturais, ora pela falta de cobertura vegetal. Esta última é intensificada a partir da intervenção humana e ação do clima, principalmente da irregularidade e intensidade da precipitação pluviométrica.

A intervenção antrópica tem crescido, porém, utilizando técnicas como a perenização dos rios principais e evitando com que as áreas de planície aluvionar sejam comumente considerada o fator que mais degrada o ambiente. A irrigação adequada também evitaria os riscos de salinização, comuns nas culturas do semi-árido, permitindo o manejo da cobertura vegetal, umidade, temperatura do solo, melhorando as condições para manter a estabilidade do ambiente.

No que diz respeito à aplicabilidade e utilização das técnicas e métodos de análise dos dados, foi observado que o ajuste e complementação dos mapas temáticos depende da disponibilidade de materiais auxiliares e da interpretação coerente da imagem orbital. A técnica de aumento linear de contraste se mostrou útil para a identificação das unidades de

paisagem. No tratamento dos mapas numéricos, a familiarização com os conceitos de geoprocessamento permitiu uma maior interação com o SIG SPRING. A existência de trabalhos da mesma natureza já realizados (Medeiros, 1999; Valles, 1999; Silva, 1999) também facilitou e otimizou o trabalho. Avaliando as técnicas aplicadas a cada tema, um parâmetro pode ser considerado importante porém com análises subjetivas, é a Geomorfologia. Para o mapa de amplitude interfluvial, por exemplo, pode-se testar a análise da densidade de drenagem, evitando as medidas interfluviais.

A execução das etapas necessárias para a conclusão deste trabalho permitiu perceber que existem muitas maneiras de se analisar uma paisagem e as técnicas podem variar de acordo com o objetivo ou resultado esperado. A metodologia para a obtenção da carta de vulnerabilidade à perda de solo se mostrou eficaz, no que diz respeito aos conceitos, ferramentas, técnicas e aplicabilidade. Esse tipo de produto poderá ser utilizado em um ordenamento territorial centrado em características físicas e bióticas. A análise sócio-econômica pode servir como uma outra análise, importante em estudos de gestão territorial, tema imprescindível em regiões frágeis, sob o ponto de vista ambiental, como o semi-árido.

Uma outra maneira de se avaliar os processos de morfo/pedogênese seria utilizar uma “Análise Hierárquica Pareada” (AHP) que visa, através de teorias matemáticas, organizar e avaliar a importância relativa entre critérios para medir a consistência de uma hierarquização dos temas. Medeiros (1999) utilizou técnicas de redes neurais e as comparou com a metodologia descrita por Crepani et al. (1996) encontrando diferenças entre a utilização ou não da técnica em operações algébricas. Existem algumas outras maneiras de se manipular os dados e obter um resultado mais coerente com a realidade representada computacionalmente.

Contudo, independente da técnica utilizada, a abordagem sistêmica é fundamental para se compreender todos os processos de formação da paisagem pois um tema se mostrou diretamente relacionado ao outro. A utilização de parâmetros estatísticos para indicar qual dos temas está mais correlacionado ou qual atua de forma mais intensa no processo de formação da paisagem também auxiliaria a definição de uma média ponderada e serve de sugestão para trabalhos futuros.

As etapas necessárias para a conclusão deste trabalho permitiu perceber que existem muitas maneiras de se analisar uma paisagem e as técnicas podem variar de acordo com o objetivo ou resultado esperado. A metodologia para a obtenção da carta de vulnerabilidade à perda de solo se mostrou eficaz, no que diz respeito aos conceitos, ferramentas, técnicas e aplicabilidade. Esse tipo de produto poderá ser utilizado em um ordenamento territorial centrado em características físicas e bióticas. A análise sócio-econômica pode servir como uma outra análise, importante em estudos de gestão territorial, tema que deve ser imprescindível em regiões frágeis, sob o ponto de vista ambiental, como o semi-árido.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ab'Saber, A. N. O domínio morfoclimático semi-árido das caatingas brasileiras. **Geomorfologia**, n.43, p. 1-39, 1974.
- _____. Domínios morfo-climáticos e solos no Brasil. In: Alvarez, V.H.; Fontes, L.E.F; Fontes, M.P.F. (eds). **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa: SBCS-UFV / DPS, 1996, p. 1-18.
- Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). **Dados pluviométricos de postos situados no estado de Pernambuco**. Brasília: ANEEL, 1999. Disponível em: < www.aneel.gov.br >. Acesso em: 1999.
- Aldaz, L. **Caracterização parcial do regime de chuvas do Brasil**. Rio de Janeiro: SUDENE/DNMET, 1971. 42p. (Relatório n.4, vol.1).
- Almeida, F.F.M. Diferenciação tectônica da Plataforma Brasileira. In: Congresso Brasileiro de Geologia, 32., Salvador, SBG, 1969. **Anais...** Salvador: SBG, p.29-46., 1969.
- Anderson, H.M.; Horne, A.J. **Remote sensing of water quality in reservoirs and lakes in semi-arid climates**. Berkley: University of California, 1975. 132p. (NASA-CR-166178).
- Ayoade, J. O. **Introdução a climatologia para os trópicos**. São Paulo: DIFEL, 1986, 322p.
- Aouad, M.S. Clima na caatinga. In: Simpósio sobre Caatinga e sua Exploração Racional, 1., Feira de Santana, 1986. **Anais...** Brasília: EMBRAPA, 1986. p. 37-48.
- Aronoff, S. **Geographic information systems: a management perspective**. Ottawa: WDI Publications, 1989. 294p. Cap 1: An introduction to geographic information systems, p.1-30.

- Azevedo, D.C. **Chuvas no Brasil: regime, variabilidade e probabilidade de alturas mensais e anuais.** Brasília, paginação irregular. Dissertação (Mestrado em Hidrologia Aplicada) - Centro de Hidrologia Aplicada/Instituto de Pesquisas Hidrológicas. Brasília: MAPA/UFRGS, 1974.
- Barbosa, C.C.F. **Álgebra de mapas e suas aplicações em sensoriamento remoto e geoprocessamento.** 150p. (INPE-7115-TDI/667) Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1997.
- Barbosa, G.V. et al. Evolução da metodologia para mapeamento geomorfológico do projeto RADAMBRASIL. **Revista Geociências**, v.2, p. 7-20, 1983.
- Becker, B.K.; Egler, C.A.G. **Detalhamento da metodologia para execução do zoneamento ecológico-econômico pelos estados da Amazônia Legal.** Rio de Janeiro: LAGET/UFRJ, 1997. 43p.
- Bertoni, J.; Lombardi, F.L. **Conservação do solo.** Piracicaba: Livroceres, 1985. 392p.
- Berry, J.K. Cartographic modeling: the analytical capabilities of GIS. In: Goodchild, M.; Parks, B.O.; Steyaert. L.T. **Environmental modeling with GIS.** Oxford: Oxford University Press: 1993. p.58-74.
- Brasil. Ministério do Exército. Serviço Geográfico do Exército (SGE). **Folha Parnamirim - SC-24-V-B-II.** Parnamirim, PE 1968. (Mapa Topográfico. Escala 1:100.000)
- Burrough, P.A. **Principles of geographical information systems for land resources assessment.** Oxford: Clarendon Press, 1987. 193p.
- Câmara Neto, G. **Modelos, linguagens e arquiteturas para banco de dados geográficos.** 265p. Tese (Doutorado em Computação Aplicada) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1995.
- Câmara, G.; Medeiros, J.S. **Geoprocessamento para projetos ambientais.** São José dos Campos: INPE, 1996. Apostila.

- Câmara, G. et al. **Anatomia de sistemas de informação geográfica**. Campinas: Instituto de Computação/UNICAMP, 1996. 197p.
- Carvalho, V. C. **Structure et dynamique de la vegetaton en milieux tropical semi-aride - La caatinga de Quixaba (Pernanvouc, Bresil) du terrain à l'analyse des donnèes MSS/LANDSAT**. Toulouse: 332p. These de Doctorat (l'Université de Toulouse II - Le Mirail), 1986a.
- _____. Estrutura e dinâmica da vegetação em meio tropical semi-árido. A Caatinga de Quixabá (PE): do terreno à análise de dados MSS/Landsat. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 4., Gramado, 1986. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1986b., v. 1, p.418-426.
- Cavedon, A.D. Classificação, características morfológicas, físicas e químicas dos principais solos que ocorrem no semi-árido brasileiro. In: Simpósio sobre Caatinga e sua Exploração Racional, 1., Feira de Santana, 1986. **Anais...** Brasília: EMBRAPA, 1986. p. 73-91.
- Cooke, R.V.; Doornkamp, J.C. **Geomorphology in environmental management: an introduction**. 2.ed. Oxford: Claredon Press, 1990. 413p.
- Crepani, E.; Medeiros, J. S.; Azevedo, L. G.; Hernandez Filho, P.; Florenzano, T. G.; Duarte, V. Curso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico econômico. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 8., Salvador, 1996. **Anais**. São Paulo: Image Multimídia, 1996. Seção de Comunicações Técnico-Científicas. 1 CD-ROM.
- Crepani, E. **Formação da paisagem da região de Parnamirim (PE) baseado em informações sobre a geologia**. (Parnamirim-PE, 1998). (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1998). Comunicação pessoal.
- Crósta, A.P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas: UNICAMP, 1993. 170p.
- D'Alge, J.C.L. **Registro de imagens**. São José dos Campos: 1999. 3p. Notas de aula.

- Departamento Nacional de Pesquisa Mineral (DNPM). **Mapa geológico do Estado de Pernambuco**. Recife: MME/DNPM/SICMMPSA, 1980, n.1.
- Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica (DNAEE). **Inventário das estações pluviométricas**. Brasília: 1996. (catálogo).
- Eiten, G. **Classificação da vegetação do Brasil**. Brasília: CNPq, 1983. 305p..
- Egler, W.A. Contribuição ao estudo da caatinga pernambucana. **Revista Brasileira de Geografia**, v.13, n.4, p:557-590, out/dez, 1951.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) **Atlas do meio ambiente do Brasil**. . Brasília: 1996. 160p.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA). **Zoneamento agroecológico do Estado do Pernambuco - levantamento de reconhecimento de baixa intensidade de solos**. Recife, 1997.
- Engespaço. **Sistema geográfico de informações**: manual de referência do usuário. Versão 2.1 R01. São José dos Campos: 1988. 67p.
- Erthal, J.G.; Alves, D.S.; Câmara Neto, G. **Modelo de dados geo-relacional**. São José dos Campos: 1988. 10p. (INPE-4490-PRE/1254).
- Ferreira, A.B.H. **Pequeno dicionário brasileiro da língua portuguesa**. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1972. 1301p.
- Ferri, M.G. Transpiração nos principais ecossistemas brasileiros e em espécies cultivadas no Brasil. In: _____. **Fisiologia vegetal 1**. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária, 1985. p.25-74.
- 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)**. 197p. (INPE-3984 - TDL/236). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1986.

- Florenzano, T.G. **Delimitação e caracterização das unidades geomorfológicas de uma área do semi-árido de Pernambuco (PE)**. (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1999). Comunicação pessoal.
- Fonseca, L.M.G. **Processamento digital de imagens**. Rio de Janeiro: 1996. 48p. Apostila
- Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Divisão de Geociências– **Manual técnico da vegetação brasileira**. Rio de Janeiro: 1992, 92p. (Série Manuais Técnicos em Geociências, n.1).
- Gates, D.M.; Keegan, H.J.; Schleter, S.J.; Weidner, V.R. Spectral properties of plants. **Applied Optics**, v. 4, n. 1, p. 11-20, 1965.
- Gerrard, A. J. **Soils and landforms** – an integration of geomorphology and pedology. London: Geoge Allen & UNWIN, 1981. 219p. Cap 12, , p.173-183. Soil survey and landforms in environmental management.
- Gomes, A.R. **Processamento digital de imagens do semi-árido**. São José dos Campos: 1999. 2p. Notas de aula.
- Guerra, A.T. **Dicionário Geológico-geomorfológico**. Rio de Janeiro: 1969. Fundação IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia, publicação no. 21 – série A, 440p.
- Guerra, A.J.T.; Botelho, R.G.M. Erosão dos solos. In: Cunha, S.B.; Guerra, A.J.T. ed, **Geomorfologia do Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. p.181-227.
- Hara, L.T. **Técnicas de apresentação de dados em geoprocessamento**. 110p. (INPE 6839-TDI/647) Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1998.
- Instituto Nacional do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) **Mapa de Vegetação**, escala 1:100.000. Brasília, 1992.
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) **Dados de temperatura do posto Petrolina (PE)**. Disponível em: <www.cptec.inpe.br> Acesso em: 1999.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Processamento digital de imagens. São José dos Campos: 1999a. **Apostila de curso – SPRING 3.3** (versão windows).

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Fundamentos de geoprocessamento (versão windows). São José dos Campos: 1999b. **Tutorial**.

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) SPRING básico. São José dos Campos: 1999c. **Apostila de curso – SPRING 3.3** (versão windows).

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.Divisão de Processamento de Imagens (INPE/DPI). **Software para processamento de informações geo-referenciadas (SPRING)**. Grades e interpoladores. Disponível em: < http://www.dpi.inpe.br/spring/usuario/mnt2.htm#grade_regul >. Acesso em: 04 abr. 2000.

Joly, A.B. **Conheça a vegetação brasileira**. São Paulo: EDUSP/Polígono, 1970, 165p.

Kazmierczac, M.L. **Índice de vegetação derivado do NOAA/AVHRR, análise da sazonalidade da cobertura vegetal em região de clima semi-arido (caatinga)**. Fortaleza: Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, 1994 (Série técnica n.1), 106p.

Kumar, R. **Radiation from plants-reflection and emission: a review**. West Lafayette: Purdue Research Foundation, 1972. 28p. (Research Project n.5543).

Leinz, V.; Amaral, J.E. **Geologia geral**. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1969. 512p.

Leprun, J.C. **A erosão, a conservação e o manejo do solo no nordeste brasileiro: balanço, diagnóstico e novas linhas de pesquisa**. Recife: SUDENE, 1981, 105p. (Série: Brasil. SUDENE. Recursos de solos, 15).

Lepsch, I.F. **Solos - formação e conservação**. Brasília: Ed. Melhoramentos/INL/EDUSP, 1976, 158p. (Série Prisma).

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

- Mabessone, J.M. Panorama geomorfológico do nordeste brasileiro. **Geomorfologia**, n.56, p. 1-16, 1978.
- Mabbut, J. A. **Review of concepts of land classification**. In: Stewart, G.A. ed. Symposium on Land Evaluation, Camberra, 1968. Papers. Melbourne: CSIRO/UNESCO, 1968. p.11-28.
- Maldonado, F.D. **Análise por componentes principais (ACP) na caracterização da dinâmica da cobertura vegetal do semi-árido brasileiro: Quixaba (PE)**. 120p. (INPE-7180-TDI/680) Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1999.
- Matheson, W.; Ringrose, S. The development of image processing techniques to assess change in green vegetation cover along a climate gradient through Northern Territory, Australia. **International Journal of Remote Sensing**, v.15, n.1, p.17-47, 1994.
- Medeiros, J.S. **Banco de dados geográficos e redes neurais artificiais: tecnologias de apoio à gestão do território**. 221p. Tese (Doutorado em Geografia). São Paulo, USP/FFLCH, IG, 1999.
- Mendes, B.V. O semi-árido brasileiro. In: Congresso Nacional sobre Essências Nativas, 2., São Paulo, 1992. **Anais...** São Paulo: Revista do Instituto Florestal, 1992, v.4, p.394-399.
- Meijerink, A.M.J. Data acquisition and data capture through terrain mapping units. **ITC Journal**, n.1, 1988, p. 23-44.
- Moura, A.R.B.; Oliveira, M.; Liberalino Filho, J. Manual de procedimentos analíticos em estudos de perda de solos por erosão em solos do semi-árido nordestino. In: Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 10., 1994. **Resumos**. Florianópolis: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, p. 324-325.
- Naveh, A.; Lieberman, A.S. **Landscape ecology: theory and application**. New York: Springer-Verlag, 1983, 356p.

Neves, B. B. B. **O mapa geológico do nordeste oriental do Brasil, escala 1/1.000.000.** São Paulo, 176p. Tese (Livre Docência em Geologia) - USP / IG, 1983.

NETGIS – Geoprocessamento e informática. **SPRING:** Sistema de processamento de informações georreferenciadas. Versão 2.0 – release 2.04. São José dos Campos: Ed. Netgis, 1997. 4v.

Nimer, E. **Pluviometria e recursos hídricos de Pernambuco e Paraíba.** Rio de Janeiro: IBGE, 1979a, 128p. (Série Recursos Naturais e Meio Ambiente, v.3.).

_____. **Climatologia do Brasil.** Rio de Janeiro: IBGE, 1979b, 422p. (Série Recursos Naturais e Meio Ambiente, v.4).

Novo, E.M.L.M.; Santos, A.P.S. **Determinação de variações topográficas através da análise de textura fotográfica de imagens.** São José dos Campos: INPE, 1977, 33p. (INPE 1077-NTE/103).

Novo, E.M.L.M.; Nascimento, M.A.L.S. **Mapeamento geomorfológico através de imagens do Landsat.** São José dos Campos: INPE, 1977, 22p. (INPE 1076-NTE/102).

Novo, E.M.L.M.; Braga, C.Z.F. **Relatório do projeto "Sensoriamento remoto de sistemas aquáticos".** São José dos Campos: INPE, 1991, 74p. (INPE-5271-PRP/159).

Novo, E.M.L.M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações.** São Paulo, 1992, Ed. Edgard Blücher, 308p.

Oliveira, J.G.B.; Fernandes, A.G.; Bezerra, C.L.F.; Nunes, E.P.; Lima, F.A.M.; Mota, F.O.B.; Quesado, H.L.C.; Souza, M.J.N.; Sales, M.C.L.; Lima, M.F.; Oliveira, S.T.; Oliveira, V.P.V. Zoneamento geo-ambiental da região de Canindé - CE. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 5., Natal, 1988. **Anais...** São José dos Campos: INPE, v. 1, p. 41-48.

- Oliveira, J.B.; Jacomine, P.K.; Camargo, M.N. **Classes gerais de solos do Brasil** – guia auxiliar para seu reconhecimento. Jaboticabal: FUNEP, 1992, 201p.
- Oliveira-Galvão, A.L.C. Caracterização geoambiental em região submetida aos processos de desertificação - Gilbués - PI, estudo de caso. In: Conferência Nacional e Seminário Latino-Americano da Desertificação - CONSLAD. Fortaleza, 1994. **Anais...** Fortaleza: março, 1994, 80p.
- O'Neill, A.L. Reflectance spectra of microphytic soil crusts in semi-arid Australia. **International Journal of Remote Sensing**, v.15, n. 3, p.675-681, 1994.
- Passos, E.; Bigarella, J.J. Superfícies de erosão. In: Cunha, S.B.; Guerra, A.J.T. ed, **Geomorfologia do Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. p.107-141.
- Paton, T.R. **The formation of soil material**. London: George Allen & Unwin, 1978. 143p.
- Penteado, M.M. **Fundamentos em geomorfologia**. Rio de Janeiro: IBGE, 1974. 158p. (Biblioteca Geográfica Brasileira. Série D, publicação n. 3).
- Pickup, G.; Chewings, V.H. Estimating the distribution of grazing and patterns of cattle movement in a large arid zone paddock: an approach using animal distribution models and Landsat imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v. 9, n. 9, p.1469-1490, 1988.
- Pinker, R.T.; Karnieli, A. Characteristic spectral reflectance of a semi-arid environment. **International Journal of Remote Sensing**, v. 16, n. 7, p.1341-1363, May, 1995.
- Pinto, S.A.F.; Valério Filho. M.; Ferrante, J.E.T. Utilização de Dados TM/Landsat para o mapeamento de áreas agrícolas irrigadas em região semi-árida. In: Simpósio Latinoamericano sobre Sensores Remotos, México, 1989. **Memórias...** México: SELPER, 1989a, p. 85-90.
- Pinto, S.A.F.; Ferrante, J.E.T.; Valério Filho. M.; Siqueira, F.B. **Identificação de áreas irrigadas no vale do São Francisco através de dados de sensoriamento remoto** –

- área piloto de Petrolina-Juazeiro.** São José dos Campos: INPE, 1989b. 61p. (INPE-4800 - RPE/587).
- Pinto, S.F.A.; Valério Filho, M. **Análise e interpretação de dados de sensoriamento remoto.** São José dos Campos: INPE, 1996. 31p. Apostila de Aula
- Pires, F.R.M. Arcabouço geológico. In: Cunha, S.B.; Guerra, A.J.T. ed, **Geomorfologia do Brasil.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. p.17-69.
- Pires Neto, A. Planejamento territorial e a abordagem geológico-geotécnica e o conceito de terreno ou abordagem de paisagem. **Geografia**, v.8, p.51-62. 1995.
- Ponzoni, F.J.; Disperati, A.A. **Comportamento espectral da vegetação.** São José dos Campos: INPE, 1995, 37p. (INPE-5619-PUD/065).
- Porto, M.C.M. Mecanismos fisiológicos de resistência de plantas à seca. In: Simpósio sobre Caatinga e sua Exploração Racional, 1., Feira de Santana, 1986. **Anais...** Brasília: EMBRAPA, 1986. p. 149-161.
- Porto, C.G. Intemperismo em regiões tropicais. In: Guerra, A.J.T.; Cunha, S.B. ed., **Geomorfologia e meio ambiente.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. p.25-57.
- RADAMBRASIL, Projeto. **Geomorfologia.** Folhas SE 21. Campo Grande, v. 28, Rio de Janeiro, RJ, 1982, p.193-256.
- RADAMBRASIL, Projeto. **Levantamento de recursos naturais.** Folhas SC 24/25. Aracaju/Recife, volume 30. Rio de Janeiro, RJ, 1983, 856p.
- Ramos, A.D. **Estudo da erodibilidade de um solo litólico sem cobertura vegetal e sob duas condições de pastagem nativa de caatinga.** Sobral: EMBRAPA, 1980. 16p. (EMBRAPA/CNPCOT - Boletim de pesquisa n.2).
- Reis, A.C.S.; Lima, D.A. **Contribuição ao estudo do clima em Pernambuco.** Recife: 1970, 54p. (Cadernos do Conselho de Desenvolvimento de Pernambuco - Série I/ Agricultura: Recursos vegetais de Pernambuco).

- Richards, J.A. **Remote sensing digital image analysis: an introduction**. Berlin: Springer-Verlag, 1986. 218p.
- Rizzini, C.T. **Tratado de fitogeografia do Brasil - aspectos ecológicos**. São Paulo: EDUSP, 1976. 327p.
- Rodal, M.J.N. **Fitossociologia da vegetação arbustivo-arbórea em quatro áreas de caatinga em Pernambuco**. Campinas: 223p. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de Campinas, 1992.
- Ross, J.L.S. O registro cartográfico dos fatos geomórficos e a questão da taxonomia do relevo. **Revista do Departamento de Geografia**, n.6, p.17-30, 1992.
- Ross, J.L.S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, n.9, p.63-74, 1994.
- Ross, J.L.S. Geomorfologia aplicada aos EIAs. In: Guerra, A.J.T.; Cunha, S.B. ed. **Geomorfologia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. p.291-336.
- Ross, J.L.S. Geomorfologia ambiental. In: Cunha, S.B.; Guerra, A.J.T. ed. **Geomorfologia do Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. p.351-388.
- Sá, I.B; Fotius, G.A. **Considerações sobre algumas árvores, arbustos e ervas das caatingas**. [Petrolina: EMBRAPA] 1984. 8p. Documento de Consulta Interna.
- Sá, I.B. **Aplicação da abordagem multiestágio em sensoriamento remoto para mapeamento da vegetação de caatinga: estudo de caso, Petrolina, PE**. 73p. (INPE-5280 - TDI 450) Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1991.
- Santos, A.P.; Foresti, C.; Novo, E.M.L.M.; Lombardo, M.A. **Metodologia de interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicações no uso da terra**. São José dos Campos: INPE, 1981, 66p. (INPE-2261-MD/016).

- Santos, E.J.; Coutinho, M.G.N.; Costa, M.P.A.; Ramalho, R. A região de dobramentos Nordeste e a Bacia do Parnaíba, incluindo o Cráton de São Luís e as bacias marginais. In: Schobbenhaus, C; Campos, D.A.; Derze, G.R.; Asmus, H.E. ed. **Geologia geral**. Brasília: DNPM, 1984. p.131-186.
- Santos, J.B.; Menino, I.B. Avaliação dos recursos naturais do município de Teixeira na Paraíba. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 6., Manaus, 1990. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1990. v.1, p. 791-796.
- Sausen, T.M.; Novo, E.M.L.M. **Metodologia de interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicações em geomorfologia**. São José dos Campos: INPE, 1981, 44p. (INPE-2209 - MD/007).
- Sette, H.; Andrade, M.C. **Geografia e história de Pernambuco**. São Paulo:Ed. Brasil , 1955. 174p. (Série Normal/Coleção Didática do Brasil , v. 7).
- Sewell, G.H. **Administração e controle da qualidade ambiental**. São Paulo: EDUSP, 1933. 295p.
- Silva, M.A.V. **Evapotranspiração em cultura irrigada no semi-árido sub-médio São Francisco**. 107p. (INPE-1038-TPT/054) Dissertação (Mestrado em Ciência Espacial e da Atmosfera) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1977.
- Sousa, C.J.S. **Carta de vulnerabilidade à erosão como subsídio ao zoneamento ecológico-econômico em área intensamente antropizada**. 172p. (INPE-7030-TDI/662). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1999.
- Souza, M.J.N.; Martins, M.L.R.; Soares, Z.M.L; Freitas Filho, M.R.; Almeida, M.A.G.; Pinheiro, F.S.A.; Sampaio, M.A.B.; Carvalho, G.M.B.S.; Soares, A.M.L; Gomes, E.C.B.; Silva, R.A. Redimensionamento da região semi-árida do nordeste do Brasil. In: Conferência Nacional e Seminário Latino-Americano da Desertificação - **CONSLAD**. março, 1994. **Anais...** Fortaleza, FGEB, 1994.

- Sussuana, J. A pequena irrigação no nordeste: algumas preocupações. **Ciência Hoje** v.18, n. 104, p.38-43, out.1994.
- Tenório, E.C. Gramíneas usadas na conservação dos solos em Pernambuco. **Boletim Técnico do Instituto de Pesquisas Agronômicas** (EMBRAPA-CPATSA) , n.1, p.1-22, 1979.
- Tomlin, C.D. **Geographic information systems and cartographic modelling**. New York: Prentice Hall, 1990. 249p.
- Tricart, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: FIBGE/SUPREN, 1977, 91p.
- Tricart, J.; KiewietdeJonge, C. **Ecogeography and rural management**: a contribution to the International Geosphere-Biosphere Programme. New York, Longman Scientific & Technical, 1992, 267p.
- Tueller, P.T. Remote sensing science applications in arid environments. **Remote Sensing of Environment**, v.23, p.143-154, 1987.
- Valeriano, D.M.; Carvalho, V.C.; Lee, D.C.L. Avaliação dos dados TM/LANDSAT e HRV-M/SPOT para o levantamento dos recursos vegetais do TSA, caso de estudo: Quixaba - PE. **Projeto de Pesquisa/ EMBRAPA - Resumo do Relatório**, 1988, 50p.
- 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).
- Valles, G.F. **Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados à geração de uma carta de vulnerabilidade natural à perda de solo**. São José dos Campos: 127p.Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1999. No prelo.

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

Verstappen, H. Th. **Remote sensing in geomorphology**. Amsterdam: Elsevier, 1977. 214p.

Verstraete, M.M.; Pinty, B. The potential contribution of satellite remote sensing to the understanding of arid lands processes. **Vegetatio**, n.91, p.59-72, 1991.

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 A

Para facilitar o entendimento deste trabalho e permitir ao leitor visualizar o banco de dados, o apêndice apresenta os seguintes arquivos:

- 1 – Banco de dados em formato SPRING;
- 2 – Diretório com diferentes arquivos para instalação do SPRING (versão 4.1 em Inglês, Português ou Espanhol);

Para visualizar o banco de dados é necessário:

1. Copiar toda a estrutura do CD para um diretório no computador;
2. Proceder a instalação do SIG SPRING 4.1;
3. Entrar no SPRING e ativar o banco de dados (*);
4. Proceder a visualização, manipulação e consultas desejadas.

(*) Se durante esta fase o banco de dados não for ativado, deve-se observar o diretório onde está o banco de e, dentro do diretório do projeto, apagar todos os arquivos com extensão .mdx pois são gerados apenas para a visualização.

Em caso de dúvida com a instalação do CD ou com a manipulação do banco de dados, consultar <http://www.dpi.inpe.br/spring>.