



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS

AUTORIZAÇÃO PARA PUBLICAÇÃO
AUTHORIZATION FOR PUBLICATION

PALAVRAS CHAVES / KEY WORDS
AUTORES / AUTHORS
SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS
IMAGENS ORBITAIS
MAPAS DE RISCOS DE EROÇÃO

AUTORIZADA POR / AUTHORIZED BY

Ralf Gielow
Ralf Gielow

AUTOR RESPONSÁVEL
RESPONSIBLE AUTHOR

Eduardo Rodrigues Viana de Lima
Eduardo Rodrigues Viana de Lima

DISTRIBUIÇÃO / DISTRIBUTION

- ☐ INTERNA / INTERNAL
☐ EXTERNA / EXTERNAL
☐ RESTRITA / RESTRICTED

REVISADA POR / REVISED BY

Tânia Maria Sausen
Tânia Maria Sausen

CDU/UDC

551.3.053

DATA / DATE

Dezembro, 1990

PUBLICAÇÃO Nº
PUBLICATION NO

INPE-5229-TDL/434

TÍTULO / TITLE

MAPA DE RISCO DE EROÇÃO DO SOLO: UMA
ABORDAGEM USANDO SISTEMA DE
INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS E
IMAGENS ORBITAIS

AUTORES / AUTHORSHIP

Eduardo Rodrigues Viana de Lima

ORIGEM
ORIGIN

FRH/SER

PROJETO
PROJECT

Nº DE PAG.
NO OF PAGES

166

ÚLTIMA PAG.
LAST PAGE

B.8

VERSÃO
VERSION

Nº DE MAPAS
NO OF MAPS

RESUMO - NOTAS / ABSTRACT - NOTES

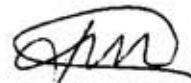
Neste estudo foi desenvolvida uma metodologia de utilização de produtos de sensoriamento remoto orbital e do Sistema de Informações Geográficas (SIG/INPE) para a geração de mapas de suscetibilidade e risco de erosão do solo. Foram gerados planos de informação de erodibilidade, erosividade, litologia e declividade. Estes dados foram integrados no SIG/INPE para gerar um mapa de suscetibilidade à erosão. Os dados digitais do TM/Landsat forneceram a informação de cobertura vegetal que integrada com o mapa de suscetibilidade à erosão no SIG/INPE, gerou mapas de risco de erosão do solo.

OBSERVAÇÕES / REMARKS

Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, aprovada em 19 de março de 1990.

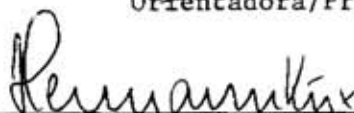
Aprovada pela Banca Examinadora
em cumprimento a requisito exigido
para a obtenção do Título de Mestre
em Sensoriamento Remoto

Drª Tânia Maria Sausen



Orientadora/Presidente

Dr. Hermann J.H.Kux



Orientador

Dr. Antonio Sérgio Tavares de Melo



Membro da Banca
-convidado-

Dr. Diógenes Salas Alves



Membro da Banca

Dr. Mário Valério Filho



Membro da Banca

Candidato: Eduardo Rodrigues Viana de Lima

São José dos Campos, 19 de março de 1990

Aos meus pais,
Euclides e Terezinha,
com gratidão
OFEREÇO

À minha esposa
Teresa e aos meus filhos
David e Débora,
com carinho,
DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Tania Maria Sausen e ao Hermann J.H. Kux, pela orientação e incentivo.

Aos pesquisadores Carlos Alberto Felgueiras, João Argemiro de Carvalho Paiva, Guaracy José Erthal, Júlio César Lima D'Alge, Fernando Augusto Mitsuo Ii, Silvia Ii e ao analista de Sistema, Sr. José Carlos Moreira do Departamento de Processamento de Imagens (DPI/INPE), pela orientação na utilização do Sistema de Informações Geográficas - SIG.

Aos Srs. Moacir Godoy Júnior, Adriana Abrahão, Eliana Miglioranza, René Antonio Novaes Júnior, Valéria Miglioranza, Gilberto Rodrigues Júnior e Sérgio Henrique Babá, pelo apoio nos trabalhos computacionais.

À Coordenadoria de Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Estado da Paraíba, pela concessão de parte dos recursos financeiros necessários à realização dos trabalhos de campo.

Aos pesquisadores Mário Valério Filho e Luis Alberto Vieira Dias, pelas sugestões feitas quando da apresentação da dissertação preliminar.

Aos funcionários da biblioteca/INPE, pela delicadeza que dispensaram diante das inúmeras solicitações.

Ao Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), pelos meios materiais necessários à realização deste trabalho.

Aos Srs. Sérgio e Nuri do CPTEC/INPE e ao pesquisador Nelson do CSA/INPE, pelas sugestões feitas para a elaboração do mapa de erosividade.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), pelas bolsas de mestrado concedidas para a realização deste trabalho.

À Companhia de Desenvolvimento dos Recursos Minerais do Estado da Paraíba, pelo empréstimo das fotografias aéreas utilizadas neste trabalho.

Ao Departamento de Meteorologia da Universidade Federal da Paraíba/Campina Grande, pelo fornecimento dos dados de precipitação utilizados neste trabalho.

Ao Governo do Estado da Paraíba, pela nossa liberação para realização do curso de Mestrado.

À Empresa de Pesquisa Agropecuária do Estado da Paraíba, pelo fornecimento dos dados de solos utilizados neste trabalho.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a elaboração deste trabalho.

ABSTRACT

This study presents a methodology developed to generate soil erosion risk maps from Thematic Mapper (TM) using the INPE/GIS. Plans of information (p.Is) on erodibility of soils, erosivity by rainfall, lithology, slopes and vegetation cover were obtained and integrated within the INPE/GIS, in order to generate an erosion susceptibility map. The P.I. on vegetation cover was obtained from digital TM data and integrated at INPE/GIS with the erosion susceptibility map. The result was a soil erosion risk map.

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE TABELAS.....	xv
<u>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....</u>	1
<u>CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</u>	5
2.1 - Mapas de suscetibilidade e de risco à erosão....	5
2.2 - Fatores condicionantes da erosão do solo.....	8
2.3 - Técnicas de sensoriamento remoto no estudo da co bertura vegetal.....	15
2.4 - Propriedades espectrais e índices de vegetação..	20
2.5 - Os índices de vegetação e o sensor Thematic Map- per.....	24
2.6 - Sistema de Informações Geográficas - SIG.....	30
2.6.1 - Utilização de sistemas de Informação Geográfi- ca no estudo da erosão do solo.....	32
<u>CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS.....</u>	39
3.1 - Área de estudo.....	39
3.2 - Materiais.....	55
3.2.1 - Produtos de sensoriamento remoto.....	55
3.2.2 - Material cartográfico.....	56
3.2.3 - Dados de precipitação pluviométrica.....	57
3.2.4 - Rembrandt.....	57
3.2.5 - Sistema de Tratamento de Imagens.....	57
3.2.6 - Sistema de Informações Geográficas.....	58
3.3 - Metodologia.....	58
3.3.1 - Seleção da área de estudo.....	60
3.3.2 - Seleção dos dados do TM/LANDSAT.....	61
3.3.3 - Interpretação preliminar dos dados do LANDSAT.	61
3.3.4 - Trabalho de campo.....	62
3.3.5 - Geração dos planos de informação e entrada no SIG/INPE.....	63

3.3.6 - Integração dos dados.....	72
<u>CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</u>	77
4.1 - Geração dos Planos de Informação (PI's).....	77
4.2 - Integração dos dados.....	115
<u>CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES/CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</u>	125
5.1 - Conclusões.....	125
5.2 - Considerações finais.....	126
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	131

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
2.1 - Espectro de reflectância de uma folha vegetal...	22
2.2 - Resposta espectral da vegetação sadia e de um solo típico.....	22
3.1 - Localização da área de estudo.....	41
3.2 - Mapa das formas de dissecação da área de estudo.	42
3.3 - Mapa de solos da área de estudo.....	45
3.4 - Mapa geológico da área de estudo.....	46
3.5 - Localização da área de estudo e das estações meteorológicas mais próximas.....	50
3.6 - Média dos totais mensais de precipitação pluviométrica a partir de uma série de dados de 44 anos (Estação meteorológica de Aguiar).....	51
3.7 - Média dos totais mensais de precipitação pluviométrica a partir de uma série de dados de 44 anos (Estação meteorológica de Itaporanga).....	52
3.8 - Média dos totais mensais de precipitação pluviométrica a partir de uma série de dados de 44 anos (Estação meteorológica de Piancó).....	53
3.9 - Média dos totais mensais de precipitação pluviométrica a partir de uma série de dados de 44 anos (Estação meteorológica de Serra Grande).....	54
3.10 - Seqüência da metodologia utilizada.....	59
4.1 - Dados de isolinhas utilizados para a geração do plano de informação declividade.....	78
4.2 - Dados de pontos cotados utilizados para a geração do plano de informação declividade.....	79
4.3 - Grade regular referente ao plano de informação declividade.....	80
4.4 - Imagem geocodificada referente ao Modelo Digital de Terreno.....	80

4.5 - Modelo digital de terreno com relevo sombreado..	81
4.6 - Plano de informação declividade.....	83
4.7 - Plano de informação erodibilidade no formato vetorial.....	86
4.8 - Plano de informação erodibilidade no formato varredura.....	86
4.9 - Perfil mostrado a pequena espessura do solo.....	87
4.10 - Perfil mostrado a pequena espessura do solo.....	88
4.11 - Ocorrência de escoamento difuso em terreno de fraco declive.....	90
4.12 - Ocorrência de escoamento concentrado em terreno de forte declive.....	91
4.13 - Plano de informação erosividade no formato vetorial.....	95
4.14 - Plano de informação erosividade no formato varredura.....	95
4.15 - Plano de informação litologia no formato vetorial.....	99
4.16 - Plano de informação litologia no formato varredura.....	99
4.17 - Imagem da banda TM 3, de 21.01.86 geométricamente corrigida.....	105
4.18 - Imagem da banda TM 3, de 17.08.86 geométricamente corrigida.....	105
4.19 - Imagem índice de vegetação referente à data de 21.01.86, submetida à técnica de realce por ampliação linear de contraste.....	110
4.20 - Imagem índice de vegetação referente à data de 17.08.86, submetida à técnica de realce por ampliação linear de contraste.....	110
4.21 - Área com ocorrência de caatinga densa na porção central da área de estudo.....	112
4.22 - Área de cultura do algodão na porção mais plana da área de estudo.....	112

4.23 - Imagem índice de vegetação de 21.01.86 transformada em imagem temática e submetida ao programa Uniformização de Temas.....	116
4.24 - Imagem índice de vegetação de 17.08.86 transformada em imagem temática e submetida ao programa Uniformização de Temas.....	116
4.25 - Mapa de suscetibilidade à erosão.....	117
4.26 - Mapa de risco de erosão do solo referente à passagem de 21.01.86.....	121
4.27 - Mapa de risco de erosão do solo referente à passagem de 17.08.86.....	121
4.28 - Área de solo exposto com a ocorrência de erosão laminar severa.....	122

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
2.1 - Características do sensor TM.....	25
2.2 - Principais aplicações das bandas do TM.....	25
2.3 - Utilização de um SIG por um usuário típico.....	33
3.1 - Associações de solos predominantes na área de estudo.....	44
3.2 - Litologias predominantes na área de estudo.....	44
3.3 - Associações rocha-rolo-relevo.....	47
3.4 - Descrição morfológica de perfil do solo Bruno Nã Cálcico existente na área de estudo.....	48
3.5 - Descrição morfológica de perfil do solo Litólico Eutrófico existente na área de estudo.....	48
3.6 - Regras adotadas para a geração do mapa de suscetibilidade à erosão.....	75
3.7 - Regras adotadas para a geração dos mapas de risco de erosão.....	76
4.1 - Classes do plano de informação declividade.....	83
4.2 - Valores da média do total anual de precipitação pluviométrica em milímetros, das estações meteorológicas de Aguiar, Itaporanga, Piancó e Serra Grande.....	94
4.3 - Valores do fator R de Wishmeier (erosividade média anual) para as estações meteorológicas de Aguiar, Itaporanga, Piancó e Serra Grande.....	94
4.4 - Resultados obtidos na correção geométrica de imagens (21.01.86).....	102
4.5 - Resultados obtidos na correção geométrica de imagens (17.08.86).....	103
4.6 - Valores digitais obtidos através do método do valor mínimo do histograma.....	107

4.7 - Valores de ganho e "offset" utilizados para a obtenção das imagens índice de vegetação.....	107
4.8 - Valores dos níveis de cinza nas imagens índice de vegetação.....	109
4.9 - Limiares dos níveis de cinza e classes definidas nas imagens temáticas.....	114

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

No domínio do semi-árido nordestino, mais especificamente no sertão do Estado da Paraíba, ocorrem diversos problemas relacionados à instabilidade morfodinâmica.

Na prática estes problemas existem em função dos processos erosivos, da pequena capacidade protetora do solo desempenhada pela vegetação e da grande mobilização de detritos durante as chuvas torrenciais. Estes fatores provocam o esgotamento dos solos, bem como, acarretam o assoreamento de açudes localizados na região.

Estes problemas, entretanto, podem ser agravados se o ambiente for explorado incorretamente. Neste caso, a tendência é uma acentuação nos processos de erosão que resultam na perda dos horizontes superficiais do solo, na degradação da cobertura vegetal e das culturas, e provoca ainda, um aumento no processo de assoreamento dos corpos d'água.

A par de tais problemas, o Governo do Estado da Paraíba, através do 1º Plano de Ciência e Tecnologia, na sua parte relativa ao meio ambiente, recomenda estudos visando a preservação do patrimônio natural, notadamente dos açudes localizados na região semi-árida. Com isso, visa compatibilizar a utilização do terreno com a proteção ambiental.

A erosão é um processo de desprendimento e arraste, por vezes acelerado, das partículas do solo, causado por vários agentes, entre os quais se destaca a água. A erosão causada pela água pode ser das seguintes

formas: laminar, em sulcos e voçorocas. As três formas de erosão podem, também ocorrer simultaneamente. É causada por vários fatores, destacando-se: as características pluviométricas; a topografia do terreno; a capacidade de absorção d' água do solo; a natureza do solo e a cobertura vegetal/uso da terra.

A tarefa de realizar um levantamento cartográfico das áreas com risco de erosão do solo, à nível regional, torna-se difícil pela grande quantidade de informações necessárias para tal finalidade. Além disso, ocorre que a ocupação e utilização das terras são fatos dinâmicos de rápida alteração no tempo. São informações que necessitam ser obtidas periodicamente.

Inicialmente poderia se pensar em utilizar fotografias aéreas para o mapeamento da cobertura vegetal/uso da terra das referidas áreas, uma vez que estas, constituem as melhores fontes de dados para estudos de interesse ao planejamento.

As fotografias poderiam ser obtidas a intervalos de tempo pré-determinados e na escala desejada. Entretanto, o custo de obtenção desses produtos, torna-os impraticáveis para este tipo de estudo, principalmente para grandes áreas.

Os dados obtidos por sensoriamento remoto orbital, em especial do sensor Thematic Mapper (TM), são uma alternativa para este problema. As imagens fornecidas pelos satélites LANDSAT cobrem uma área de 185 x 185 km e podem ser obtidas, no caso do TM, em intervalos de tempo de 16 em 16 dias.

A grande quantidade de informações a ser processada para a elaboração de um mapa de risco de erosão,

pode ser armazenada em um banco de dados do Sistema de Informações Geográficas (SIG).

O SIG permite a sistematização de diferentes fontes de informação, tais como, de solos, vegetação, geologia, topografia e uso/ocupação da terra, bem como de diferentes escalas disponíveis. Isto possibilita a construção de um banco de dados que pode ser utilizado na geração de mapas de risco de erosão do solo.

Este sistema permite ainda que o mapa de potencial de erosão possa ser atualizado constantemente com informações providas principalmente de imagens de satélite como por exemplo: cobertura vegetal.

Diante do exposto, o objetivo principal deste trabalho é gerar um mapa de risco de erosão do solo, na escala 1:100.000, através da integração de informações obtidas de imagens de satélite e mapas temáticos.

Os objetivos específicos são:

- 1) criar um banco de dados no SIG/INPE, constituído das informações cartográficas de erosividade, erodibilidade, declividade e litologia, para geração de um mapa de suscetibilidade à erosão;
- 2) utilização de imagens digitais do TM/LANDSAT-5 para obtenção da informação de cobertura vegetal;
- 3) geração de um mapa de risco de erosão do solo, a partir da integração do mapa de suscetibilidade à erosão com a informação de cobertura vegetal.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - MAPAS DE SUSCETIBILIDADE E DE RISCO À EROSÃO

Segundo Bergsma (1983) existem três grupos importantes de mapas de erosão:

- A - o primeiro grupo mostra características da erosão atual e pode indicar processos de erosão em march;
- B - o segundo grupo indica a erosão que ocorria no passado;
- C - o terceiro grupo identifica riscos de erosão.

O risco de erosão do solo pode ser entendido como a probabilidade de desencadeamento da erosão acelerada em futuro próximo (Bergsma, 1983; Sayago, 1986). A parte do risco de erosão do solo que é atribuída a influência de fatores relativamente invariáveis (clima, relevo, solo e erosão atual) é chamada de suscetibilidade a erosão (Bergsma, 1983). Os fatores de erosão ou fatores de risco são resumidos em:

- | | | |
|--|-------------------------------|----------------------|
| <ul style="list-style-type: none">- clima- relevo suscetibilidade- perfil de solo, substrato a erosão | } suscetibilidade
à erosão | } risco de
erosão |
| <ul style="list-style-type: none">- erosão atual- vegetação natural e áreas cultivadas- sistema de cultivo, práticas de conservação. | | |

A influência de fatores de erosão como a cobertura vegetal, áreas cultivadas e sistemas de cultivo é variável e de rápida alteração no tempo. Os mapas de risco de erosão devem apresentar áreas que sob determinada ocupação possam sofrer o desencadeamento dos processos erosivos. São, portanto, válidos por curtos intervalos de tempo.

Segundo Bergsma (1983) o propósito dos mapas de risco de erosão é de mostrar a expectativa de perda de solos sob sistemas de ocupação de terra alternativos. Eles fornecem a base para a seleção de áreas prioritárias do ponto de vista da conservação.

Rao (1975) utilizou métodos de cartografia geomorfológica no estudo da erosão e conservação de uma bacia hidrográfica no sul da Itália. Os dados básicos utilizados foram os seguintes: litologia, unidades geomorfológicas, classes de declividade, processos (erosão e instabilidade de vertentes), solo, tipo de cobertura, dados estruturais, topografia, dados hidrográficos e obras realizadas pelo homem.

Este autor salienta que as técnicas de mapeamento geomorfológico podem ser utilizadas para a elaboração de mapas de erosão e morfo-conservação, e ainda que os dados de formas e processos em conjunto com dados de litologia podem fornecer importantes informações sobre erosão e movimentos de massa. Os resultados dos estudos desenvolvidos por este autor mostraram a erosão que ocorria no momento, aspectos do grau de desenvolvimento dos processos erosivos e informações sobre os fatores de risco de erosão em tabelas e mapas.

Nicholas e McColl (1976) com o objetivo de fornecer subsídios ao planejamento do uso da terra, em uma

região de propriedades geotermiais no norte da Califórnia (E.U.A.), desenvolveram mapas de potencial de erosão. O procedimento utilizado pelos autores consistiu na elaboração de um mapa de classes de declividade e um outro mapa de riscos de erosão. Os riscos de erosão foram determinados a partir de dados de vegetação, textura do solo e rugosidade do terreno. Os mapas de declividade e de riscos de erosão foram superpostos e foi gerado um terceiro mapa designado de mapa de potencial de erosão, que indica o grau de desenvolvimento dos processos erosivos e as áreas que seriam mais sensíveis à erosão.

Considerando a importância da vegetação como fator que reduz substancialmente a erosão, Nicholas e McColl (1976) utilizaram mapa pré-existente de fertilidade do solo, que sobreposto ao mapa de potencial de erosão deu lugar a um "mapa final de potencial de erosão".

Sayago (1986) realizou o levantamento dos riscos de erosão em uma área do noroeste da Argentina, para estabelecer um critério metodológico no mapeamento de grandes áreas em escalas de 1:250.000 a 1:1.000.000. Para esta finalidade utilizou imagens Landsat, multisazonais, como base planimétrica e também para obtenção das informações de geomorfologia, que segundo o autor são básicas para o mapeamento da erosão e do uso da terra. Através de medidas realizadas no campo, o autor obteve as informações referentes aos fatores da equação universal de perdas de solo (USLE): erodibilidade do solo, grau do declive e comprimento de rampa, cobertura do terreno e práticas conservacionistas. Para obtenção do mapa de riscos de erosão o autor estabeleceu classes de potencial de perda de solo, bem como de intervalos de valores utilizados na "USLE" para cada fator de erosão.

Este autor concluiu que o uso de uma base geomorfológica, a utilização da equação universal de perdas de solo e das técnicas de sensoriamento remoto dão ao mapeamento do potencial de erosão em pequenas escalas grande objetividade e demonstra ser rápido e econômico.

2.2 - FATORES CONDICIONANTES DA EROÇÃO DO SOLO

Vários autores salientam sobre os fatores que intervêm nos processos de erosão do solo, dentre eles Wishmeier e Selby, segundo Pinto (1983) e Bertoni e Lombardi Neto (1985).

Wishmeier, segundo Pinto (1983), considera como fatores intervenientes nos processos de erosão do solo a erosividade das chuvas, erodibilidade do solo, comprimento da vertente, declividade, cobertura vegetal e uso do solo e práticas conservacionistas.

Selby, segundo Pinto (1983), para a avaliação da erosão do solo apresenta um modelo conceitual onde constam a atuação dos fatores clima, topografia, tipo de rocha, vegetação, características do solo e interferência do homem.

Bertoni e Lombardi Neto (1985) consideram como fatores que influem na erosão, a chuva, a infiltração, a topografia do terreno, a cobertura vegetal e a natureza do solo.

Conforme revisão referente aos fenômenos de erosão e aos mapas que enfocam os riscos destes processos, pode-se destacar que os fatores intervenientes na erosão e que podem ser cartografados constituem o clima (erosividade), a topografia, o tipo de solo, o tipo de rocha, a cobertura vegetal e o uso da terra.

O fator clima representado pela chuva, através da sua intensidade, duração e frequência, interfere no volume e velocidade das enxurradas, que por sua vez permite relação direta com a erosão do solo.

Wishmeier, segundo Bertoni e Lombardi Neto (1985), salienta que o produto da energia cinética pela intensidade ou valor EI - Índice de Erosão - é considerada a melhor relação encontrada para medir a potencialidade erosiva da chuva.

Entretanto, estes últimos autores ponderam que torna-se difícil no Brasil, a obtenção de informações de intensidade de chuva pela baixa densidade de pluviômetros.

Para suprir tal dificuldade vários autores tentaram correlacionar o índice de erosão com fatores climáticos de mais fácil obtenção. Assim sendo Lombardi Neto e Moldenhauer (1981) encontraram alto coeficiente de correlação para a regressão linear entre o índice médio mensal de erosão (EI) e o coeficiente chuva, estimando com relativa precisão os valores de EI usando apenas totais de chuva para um período de tempo longo, de vinte anos ou mais.

A topografia do terreno, representada pela declividade e pelo comprimento de rampa, é outro fator condicionante da erosão do solo.

Segundo Bertoni e Lombardi Neto (1985), do grau do declive dependem diretamente o volume e a velocidade das enxurradas que escorrem sobre o terreno, afetando diretamente a taxa de erosão. Não menos importante

na taxa de erosão é o comprimento de rampa, que influi na velocidade de escoamento superficial da água pluvial.

Stocking (1972) realizou estudo na Rodésia com o objetivo de correlacionar os problemas de erosão com os seguintes parâmetros do relevo:

- densidade de drenagem;
- proximidade da erosão em relação a drenagem natural;
- ordem dos canais;
- declividade média;
- razão entre amplitude altimétrica e área da amostra;
- distância horizontal entre os dois pontos tomados para obter a amplitude altimétrica;
- razão entre os dois parâmetros anteriores;
- forma de vertentes.

Utilizando a técnica de análise multivariada o autor verificou que o parâmetro mais significativo foi a declividade média. Diante do resultado a declividade média foi determinada para todo o país com o intuito de fornecer informações espaciais sobre o potencial de risco a erosão devido ao relevo.

Pinto (1983) estudando a Bacia do Ribeirão Anhumas no sudoeste do Estado de São Paulo, procurou correlacionar a intensidade de erosão do solo obtida de

indicadores observados através de imagens MSS Landsat com a influência dos seguintes fatores:

- pasto
 - pasto sujo
 - culturas
 - matas
- } uso do solo
- extensão de vertentes
 - densidade hidrográfica
 - declividade

Definindo a frequência de ravinas como variável dependente, o autor verificou que a declividade apresenta o maior valor de correlação no conjunto das variáveis analisadas.

No que se refere a elaboração dos mais variados mapas que enfocam os riscos de erosão, a informação de declividade é imprescindível, como destacam Rao (1975), Nicholas e McColl (1976), Bergsma (1983) e Sayago (1986).

O tipo de rocha é outro fator condicionante da erosão do solo. Bertoni e Lombardi Neto (1985) salientam que as características do subsolo contribuem para a capacidade de armazenamento da água no solo, ou seja, sob um solo arenoso um subsolo de textura média absorverá mais água do que o mesmo solo com um subsolo menos permeável. Isto proporcionará maiores taxas de escoamento superficial e conseqüentemente de erosão em áreas onde o subsolo seja mais compacto.

Assim sendo, neste trabalho o tipo de rocha será considerado como um fator direto nos processos erosivos, de forma diferente de Pinto (1983).

O tipo de solo, através de suas propriedades físicas (estrutura, textura, permeabilidade e densidade), bem como suas características químicas e biológicas é um fator condicionante da erosão (Bertoni e Lombardi Neto, 1985).

Bertoni et al. (1972) fazem uma relação entre o efeito dos tipos de solo, arenoso e argiloso, através da característica física da textura, e as perdas por erosão. O tipo de solo arenoso apresentou as maiores perdas, enquanto o tipo de solo argiloso apresentou menores perdas de solo.

Mendes (1982) ao fazer uma relação entre os graus de limitações do uso do solo por suscetibilidade a erosão e as unidades de mapeamento de solo, considerou as características físicas do solo: textura, estrutura e permeabilidade como os elementos que maior influência exercem na quantidade e qualidade do material que é erodido.

Na elaboração do mapa de avaliação da potencialidade erosiva do relevo, folha de Goiânia, a equipe do Projeto RADAMBRASIL (1983) estabeleceu as classes de suscetibilidade erosiva dos solos, com base nas características físicas do solo (textura e permeabilidade). Da informação de textura os autores concluíram sobre a estrutura, a porosidade e a permeabilidade do solo.

Com base nesta breve revisão, neste trabalho serão considerados os valores de erodibilidade do horizonte superficial dos solos existentes na área de estudo, obtidos por Silva et al. (1981). Dessa forma estes autores sugerem por exemplo, que o solo Bruno Não Cálculo apresenta maior erodibilidade do que o solo Litólico Eutrófico.

A cobertura vegetal é um fator que deve ser considerado nos processos de erosão do solo, uma vez que se trata da defesa natural de um terreno contra erosão (Bertoni e Lombardi Neto, 1985).

Segundo estes autores o efeito da vegetação pode ser enumerado da seguinte forma:

- A - proteção direta contra o impacto das gotas de chuva;
- B - dispersão da água, antes que esta atinja o solo;
- C - decomposição e efeito mecânico das raízes, o que melhora a porosidade e a capacidade de retenção da água;
- D - alteração da estrutura do solo, aumentando a capacidade de retenção da água;
- E - diminuição da velocidade de escoamento da enxurrada.

Keech (1968) também salienta a proteção do solo exercida pela cobertura vegetal em relação ao poder erosivo das chuvas.

Butzer, segundo Pinto (1983) comenta sobre o efeito exercido pela cobertura vegetal nos processos erosivos, quando compara o tempo teórico necessário para o desenvolvimento da erosão do solo para diferentes coberturas vegetais, sob condições naturais semelhantes. O autor observa que em áreas onde existe cobertura florestal o tempo relativo necessário para evolução da erosão é seis vezes maior do que em áreas onde existe cobertura de gramíneas.

O uso da terra, resultado da intervenção do homem, é outro fator que interfere nos processos de erosão do solo. Representa a capacidade humana em modificar os outros fatores anteriormente mencionados e que exercem influência na erosão dos solos (Pinto, 1983).

A principal influência exercida pelo homem está na substituição da vegetação natural, para o desenvolvimento de atividades agropastoris. Butzer, segundo Pinto (1983) inclusive comenta que o uso da terra propicia o desenvolvimento de processos erosivos porque provoca o desequilíbrio dos ecossistemas.

Bertoni et al. (1972) analisaram o efeito dos tipos de uso do solo (mata, pastagem, cafezal e algodoal) sobre as perdas por erosão, para três tipos de solos no Estado de São Paulo. Constataram que as perdas médias de solo foram menores para áreas sob cobertura de mata (0,004 ton ha) em relação as áreas sob pastagem (0,4 ton ha) e culturas (cafezal 0,9 ton ha e algodoal 26,6 ton ha). Os autores concluíram que o efeito das diferentes culturas anuais nas perdas por erosão, mostra o comportamento das diferentes densidades de vegetação no processo de erosão.

Pinto (1983) comenta que os dados relativos ao uso agrícola e de cobertura vegetal natural podem ser utilizados para compor um índice aproximado de cobertura do solo, podendo se constituir em expressivo parâmetro na avaliação dos processos de erosão, principalmente em área onde ocorre dinamismo de ocupação pelo homem.

No caso de utilização de produtos orbitais para aquisição de informações sobre cobertura vegetal/uso da terra, vem sendo utilizado com bom aproveitamento os

índices de vegetação, que razões ou combinações lineares ou não, da radiância, em duas bandas espectrais e que exprimem a densidade de cobertura do solo exercida pela vegetação.

2.3 - TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO NO ESTUDO DA COBERTURA VEGETAL

Para Santos et al. (1981a), de maneira geral os elementos de reconhecimento mais significativos para a interpretação de imagens orbitais são aqueles utilizados para fotografias aéreas convencionais. Estes elementos são: tonalidade, textura fotográfica, forma/dimensão, sombra, cor, sítio topográfico e relações de aspecto/padrão e contexto.

Santos et al. (1981b) salientam que para a caracterização e o mapeamento da cobertura vegetal (natural e artificial) nas imagens, o principal aspecto interpretativo é a tonalidade.

Ainda segundo Santos et al. (1981b) quanto ao aspecto tonalidade, a vegetação de caatinga, no canal 5 do MSS Landsat referente à porção do vermelho (0,6 - 0,7 μm) do visível, pode apresentar, dependendo da época do ano, uma tonalidade cinza-escuro, explicada pelo seu índice de massa foliar, que mesmo sendo baixo, é bem distribuído sobre o solo. No canal 7 do MSS Landsat (referente à porção do infravermelho próximo - 0,8 - 1,1 μm) a tonalidade cinza-médio, é devido também ao baixo índice de massa foliar.

Foresti et al. (1981) realizaram levantamento integrado dos domínios naturais, através de imagens Landsat, de uma área localizada no sudoeste do Estado do Rio Grande do Norte. Os elementos fotointerpretativos utilizados na análise visual dos

canais 5 e 7, escala 1:250.000, foram os padrões de tonalidade, textura, drenagem e expressão geomórfica. O levantamento teve como resultado o mapeamento de 18 classes de uso da terra: formação de praias, formação de dunas, vegetação de manguezais, áreas agrícolas e formações florestais. Dentre as formações florestais primárias e secundárias (na faixa litorânea), a caatinga seca, a caatinga sub-desértica, a caatinga arbórea, a caatinga arbustiva e a caatinga arbustiva esparsa.

Valério Filho et al. (1976) utilizaram a vegetação natural e o uso da terra, como alguns dos elementos interpretativos para a caracterização de diferentes tipos de solos. Pela análise das diferenças tonais apresentadas nas imagens orbitais dos canais MSS 5 e 7, foi possível caracterizar, quanto ao uso da terra, áreas de reflorestamento, áreas urbanas e áreas de exploração agropecuária. Quanto a vegetação natural foi possível caracterizar áreas de mata galeria, mata-cerradão, cerrado e campo-cerrado. Estes autores salientam que não foi possível separar com bastante precisão as áreas ocupadas pela vegetação do tipo mata natural das do tipo cerradão e as áreas ocupadas pela vegetação do tipo campo limpo e campo cerrado.

Também baseando-se no critério de tonalidade, Santos e Novo (1977) realizaram um levantamento da cobertura vegetal no nordeste do Estado do Mato Grosso, através de imagens MSS do Landsat. Os autores constataram que em áreas de vegetação densa, a tonalidade apresenta-se escura no canal MSS 5, dada a maior absorção de energia solar pela vegetação nesta faixa do espectro eletromagnético.

Aoki e Santos (1980) estudando as comunidades vegetais de cerrado, concluíram que o padrão de

tonalidade foi o principal parâmetro na discriminação das formas de cerrado, independente da época do ano. Por outro lado, o padrão textural foi útil na discriminação das formas de cerrado na estação seca, uma vez que, nesta época, o campo cerrado apresenta textura diferente da textura do cerrado e do campo sujo.

Em estudo também realizado em área de ocorrência da vegetação de cerrado, Sausen (1981) utilizou os padrões de tonalidade e textura para o mapeamento da cobertura vegetal e do uso da terra. Através da análise visual das imagens e de trabalho de campo, a autora definiu as seguintes categorias de cerrado: cerradão, campo cerrado, campo sujo de cerrado, campo limpo e mata.

Niero et al. (1981) realizaram estudo para a caracterização da vegetação e do uso da terra na região amazônica, utilizando imagens do MSS e RBV Landsat. Para a análise visual das imagens do MSS foram utilizados os parâmetros fotointerpretativos de tonalidade e textura e das imagens RBV de tonalidade. Os autores concluíram que as informações sobre cobertura vegetal obtidas do sensor MSS, canais 5 e 7 são superiores aquelas obtidas do RBV e ainda que os canais 5 e 7 do MSS, bem como os padrões de tonalidade e textura, mostraram-se satisfatórios para a identificação das sete unidades de vegetação da área de ocupação.

Santos et al. (1982) realizaram o mapeamento do uso da terra da porção central do Estado do Mato Grosso do Sul, através da análise visual das imagens, MSS e RBV Landsat. Este mapeamento foi realizado com base nos elementos de interpretação de dados de tonalidade, textura, forma e relação de aspectos.

O elemento de interpretação de dados de tonalidade, expressa também, segundo Pinto (1983), a variação na de necessidade de cobertura vegetal do solo. Este elemento fornece informações sobre os processos erosivos atuais, conforme verificou este autor, e ainda, de áreas sujeitas a estes processos em virtude de uma baixa densidade de cobertura do solo.

No que se refere ao sensor TM-Landsat, Mulders e Epema (1986) destacam que as bandas espectrais deste sensor foram bem selecionadas para identificação da vegetação, dos solos e das rochas. Com relação especificamente à vegetação as bandas 2, 3, 4, 5 fornecem informações sobre a reflectância do verde pela vegetação sadia; absorção da clorofila para diferenciação entre espécies vegetais; estimativas de fitomassa e medidas de umidade da vegetação, respectivamebnte.

Luchiari (1986) comenta que as bandas 2, 3 e 4 do TM mantêm uma correspondência aproximada com as bandas 4, 5 e 7, respectivamente, do MSS, e que por isso muitos trabalhos realizados, que utilizam dados do MSS-Landsat, fornecem as bases teóricas para a aplicação dessas três bandas.

As características do sensor TM possibilitam uma melhoria na qualidade dos dados, e aumenta, substancialmente o número de aplicações, principalmente no que diz respeito a aplicações de planejamento e administração dos recursos terrestres e aquáticos (Brinck et al., 1986)

A resolução radiométrica do TM aumenta o número de dados para discriminar as categorias de cobertura do solo segundo Williams et al. (1984). No que diz respeito a resolução espacial. Deglória e Colwell (1984) salientam

que esta melhora a discriminação de pequenas áreas e a definição de limites entre classes de culturas, bem como, a identificação de estradas e rios em terrenos rugosos.

Dkystra et al. (1984), comentam que a resolução espacial do TM permite que as imagens possam ser ampliadas, através de sistemas digitais, para a escala de 1:50.000, reduzindo a ambiguidade e o erro das interpretações visuais.

Mulders e Epema (1986) destacam que os terrenos áridos e semi-áridos são particularmente favoráveis à utilização das técnicas de sensoriamento remoto, em função da baixa densidade de cobertura vegetal, o que proporciona uma melhor identificação das formas superficiais.

Alguns trabalhos tem sido realizados, utilizando dados do TM-Landsat em várias aplicações.

Troiler e Philipson (1986) procuraram determinar como as classes de cobertura e uso da terra (rural e urbana) podem ser identificadas através da análise visual das imagens TM-Landsat, no Estado de Nova Iorque (E.U.A.). Foram obtidas fotografias da tela de um sistema de processamento de imagens digitais, na escala aproximada de 1:60.000. Estas fotografias (em slide) foram analisadas na escala de 1:35.000 e 1:70.000, no equipamento "Procon". Foram avaliadas as sete bandas do TM separadamente e as composições das 2, 3, 4 e, 3, 5 e 4. Os autores concluíram que a banda individual mais utilizada para a identificação das classes rural e urbana, foi a 4, enquanto a composição 3, 5 e 4 forneceu mais informações para a separabilidade de classes de uso da terra. A banda 3 forneceu detalhes de feições culturais. A banda 4 realçou limites entre classes de cultura e de vegetação e a banda 5 revelou sutís

diferenças vegetais. A par de tais resultados, os autores sugerem que as bandas 3, 4 e 5 possam ser utilizadas em composição colorida. No que diz respeito à análise visual das imagens digitais do TM ampliadas, os autores destacam que estas podem fornecer informações espaciais e espectrais para identificar com mais precisão muitas das classes de cobertura e uso da terra.

2.4 - PROPRIEDADES ESPECTRAIS E ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

Para o entendimento da refletividade da cobertura da vegetação é essencial que se conheça as propriedades de reflectância de uma folha vegetal.

A Figura 2.1 mostra um espectro de reflectância, típico de uma folha vegetal (Hoffer, 1972). Na curva padrão de resposta espectral se observam picos de absorção na região do azul ($0,4 - 0,5 \mu\text{m}$) e do vermelho ($0,6 - 0,7 \mu\text{m}$) devido à presença de pigmentos no interior do cloroplasto principalmente da clorofila, além de xantofilas, carotenos e outros (Knipling et al., 1970; Hoffer, 1972; Tucker e Sellers, 1986). Na região do infravermelho próximo ($0,7 - 1,3 \mu\text{m}$) o mecanismo de espalhamento da folha resulta em altos índices de reflectância (45 a 60%) resultante da refração do líquido intracelular e aos espaços intercelulares do mesófilo (Knipling et al., 1970; Gausman, 1974; Tucker e Sellers, 1986).

Segundo Gates (1970) a absorção da radiação eletromagnética pela água é também um fator condicionante na reflectância das folhas na região do infravermelho próximo, ocorrendo pequenas bandas de absorção em $0,97 \mu\text{m}$ e $1,2 \mu\text{m}$.

Na região do infravermelho médio (1,3 - 2,6 μm) o comportamento espectral das folhas está intimamente relacionado à presença da água, que provoca bandas de absorção em 1,4 e 1,9 μm (Gausman, 1974; Tucker e Sellers, 1986).

Existem, por outro lado, diferenças quantitativas e qualitativas entre os espectros de reflectância de uma folha vegetal e ao nível da cobertura da vegetação. A porcentagem de reflectância da cobertura da vegetação é sensivelmente menor do que de uma simples folha, em função da atenuação geral da radiação pela atmosfera, por variações no ângulo de iluminação, orientação da folha, sombras e de fundo (solo) (Knipling et al., 1970). Segundo Knipling et al. (1970), a reflectância de uma cobertura de vegetação contínua no visível e infravermelho próximo deve ser em torno de 3 a 5% e 35%, respectivamente, enquanto os valores correspondentes para uma simples folha são de 10 e 50%.

A reflectância espectral da cobertura das plantas na faixa de 0,4 - 2,6 μm fornece as bases para o sensoriamento remoto passivo de áreas com vegetação e pode ser medida do solo, de sensores ao nível aéreo e orbital (Tucker e Sellers, 1986). Algumas faixas espectrais, por exemplo 0,6 - 0,7 μm (vermelho) e 0,75 - 1,1 μm (infravermelho próximo) entretanto, são usualmente selecionadas com o objetivo de realçar, ao máximo, a resposta espectral da vegetação e a do solo, bem como para inferir propriedades biofísicas da cobertura da vegetação. Sem um forte contraste espectral entre estes dois elementos a informação da cobertura da vegetação é degradada ou confundida com a informação de solo conforme demonstram Tucker e Sellers (1986) através de uma figura onde constam a resposta espectral da vegetação sadia e a de um solo típico (Figura 2.2).

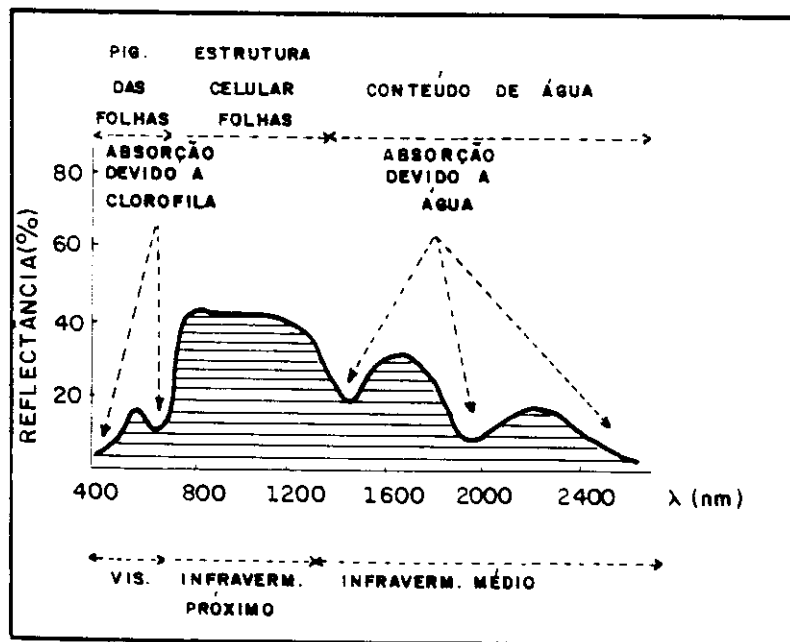


Fig. 2.1 - Espectro de reflectância de uma folha vegetal.
FONTE: Hoffer (1972).

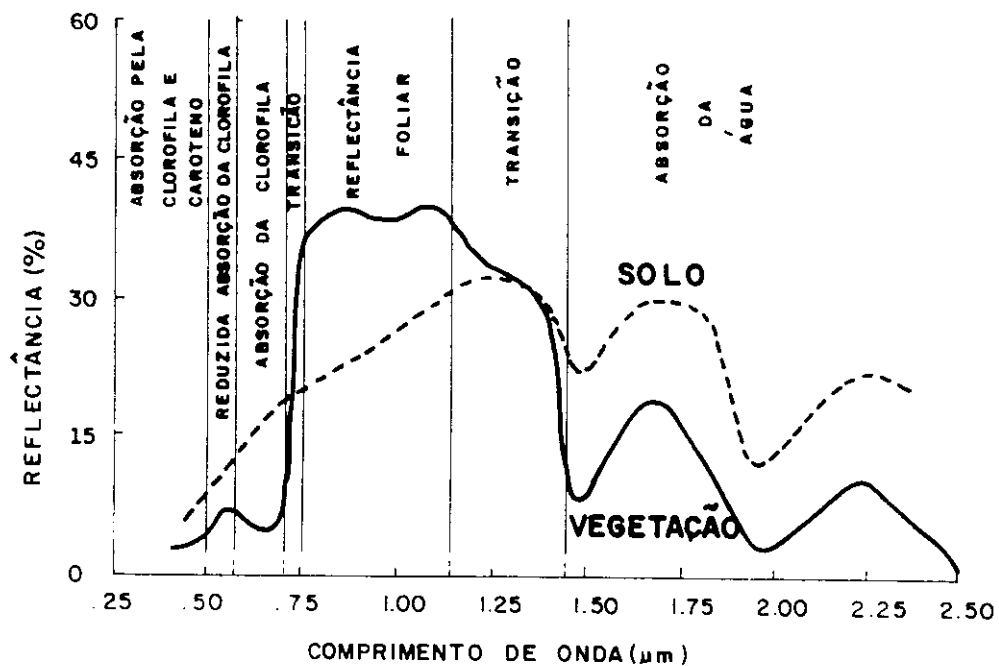


Fig. 2.2 - Resposta espectral da vegetação sadia e de um solo típico.

FONTE: Tucker e Sellers (1986).

O sensoriamento remoto quantitativo da cobertura da vegetação explora extensivamente o comportamento diferencial da reflectância foliar nas porções do visível e infravermelho próximo. Tipos apropriados de medidas de reflectância combinados em índices são muito usados para estimar a fitomassa da cobertura da vegetação e são comumente chamados de índices de vegetação (IV) (Valeriano e Pereira, 1988).

Índices de vegetação (IV) são modelos numéricos que envolvem razões ou combinações (lineares ou não) das respostas espectrais nas porções do vermelho e infravermelho próximo do espectro eletromagnético, que visam inferir a densidade de vegetação. Os índices de vegetação mais utilizados, segundo Huete et al. (1985), são: a razão simples do infravermelho próximo pelo vermelho (IVP/V); a diferença normalizada $(IVP-V)/(IVP+V)$; e a diferença normalizada transformada $((IVP-V)/(IVP+V)+0,5)$.

Jackson et al. (1983) tem assinalado que um índice de vegetação ideal deve ser altamente sensível à vegetação e insensível às variações de fundo (solo) e apenas pouco influenciado pela atmosfera. Colwell (1974) por outro lado, comenta que a razão entre o infravermelho próximo e o vermelho, pode normalizar um pouco o efeito da reflectância de fundo do solo e ser útil na estimativa de fitomassa. O espalhamento, como influência exercida pela atmosfera, pode ser parcialmente eliminado (Pereira e Batista, 1985). Chavez Jr. (1975) propõe duas técnicas de normalização de dados para a radiância de trajetória:

- método do valor mínimo do histograma HMM (Histogram Minimum Method), onde é subtraído de todos os "pixels" de uma dada banda o valor do limite mínimo do histograma adquirido em áreas de reflectância nula naquela banda;
- o método da regressão linear que usa a correlação de uma dada banda em relação à banda 7 (MSS), onde o valor referente ao ponto de intersecção da reta é considerado o valor da radiância de trajetória, o qual é subtraído de todos os "pixels" daquela banda.

Em suma, as razões entre bandas normalizam as imagens dos efeitos estranhos que estão multiplicados e mascaram o sinal útil, enfatizam determinadas características dos objetos, podem estimar a fitomassa e promover a redução da dimensionalidade dos dados (Medeiros, 1986).

2.5 - OS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO E O SENSOR THEMATIC MAPPER

O sensor Thematic Mapper (TM) está a bordo dos satélites 4 e 5 da série Landsat. O Landsat 4 foi lançado em 1982 e já foi desativado. O Landsat 5, lançado em 1984, está em atividade e repete a mesma órbita de 16 em 16 dias.

O sensor TM tem as seguintes características (Tabela 2.1).

As faixas espectrais do TM e suas respectivas aplicações específicas são mostradas na Tabela 2.2.

TABELA 2.1CARACTERÍSTICAS DO SENSOR TM

PARÂMETROS	SENSOR TM
Resposta espectral (m)	
Banda 1	0,45-0,52 azul
Banda 2	0,52-0,60 verde
Banda 3	0,63-0,69 vermelho
Banda 4	0,76-0,90 infrav. próximo
Banda 5	1,55-1,75 infrav. médio
Banda 6	10,4-12,5 infrav. termal
Banda 7	2,08-2,35 infrav. médio
Resolução espacial	30 m bandas 1-5 e 7 120 m banda 6
Número detetores	100
Resolução radiométrica	8 bits 256 níveis

FONTE: Engel e Weinstein (1983).

BANDA	PRINCIPAIS APLICAÇÕES
01	- Mapeamento de águas costeiras - Diferenciação entre solo e vegetação - Diferenciação entre vegetação de coníferas de decíduas
02	- Reflectância de vegetação verde sadia
03	- Absorção da clorofila - Diferenciação de espécies vegetais
04	- Levantamento de biomassa - Delineamento de corpos d'água
05	- Medidas de umidade da vegetação - Diferenciação entre nuvens e neve
06	- Mapeamento de estresse térmico em plantas - Outros mapeamentos térmicos
07	- Mapeamento hidrotermal

FONTE: Adaptada de Novo (1989).

A utilização de índices, combinando duas ou mais bandas do TM Landsat que produzem novos valores para cada "pixel", tem sido feita por vários autores para muitos propósitos. Os mais simples índices são aqueles obtidos pela razão entre duas únicas bandas. Desde que os satélites 1, 2 e 3 da série Landsat transportavam sensores MSS com apenas quatro bandas (0,5 - 1,1 μm) a literatura relatou que os índices em grande parte, abrangem apenas esta porção do espectro eletromagnético (Epiphanio e Formaggio, 1988).

Os índices mais simples e utilizados envolvem a combinação das porções do vermelho e do infravermelho próximo do espectro eletromagnético. No que se refere ao sensor TM do Landsat, representa respectivamente, as bandas TM 3 (0,63 - 0,69 μm) e TM 4 (0,76 - 0,90 μm).

Ripple (1985) procurou relacionar características da cobertura de uma vegetação herbácea com a reflectância de faixas espectrais equivalentes às bandas do TM-Landsat. Os parâmetros de altura das plantas, percentagem de cobertura, biomassa úmida total, biomassa seca total, água nas plantas e índice de área foliar foram correlacionadas com dados espectrais obtidos de um radiômetro modular multibanda Barnes.

Medeiros (1986) menciona que a razão entre as medidas de reflectância da cobertura vegetal na região do infravermelho próximo (0,7 - 1,1 μm) e as medidas de reflectância na região do vermelho (0,6 - 0,7 μm) tem sido reportada por vários autores como um indicador de fitomassa em estudos realizados com radiômetros e com dados do MSS do Landsat.

Existem algumas experiências que destacam a razão entre as medidas de reflectância da região do vermelho e infravermelho próximo obtidas pelo sensor TM do Landsat e a sua relação com o parâmetro de fitomassa, entre elas estão as de Ahlrichs e Bauer (1983), Satterwhite e Henley (1987) e Epiphanyo e Formaggio (1988).

Ahlrichs e Bauer (1983) desenvolveram uma pesquisa com o objetivo de determinar as relações do índice de área foliar, percentagem de cobertura do solo, biomassa e conteúdo de água nas plantas com as características de reflectância multiespectral da cobertura da cultura do trigo.

As medidas de reflectância espectral foram feitas com um espectroradiômetro, em bandas espectrais equivalentes às dos sensores MSS e TM Landsat. Os seguintes índices de vegetação também foram avaliados: vegetação verde; razão e diferença entre o infravermelho próximo e o vermelho, respectivamente $(\text{IVP} - \text{V})$ e $(\text{IVP} + \text{V})$; e a diferença normalizada, $(\text{IVP} - \text{V}) / (\text{IVP} + \text{V})$. As medidas de reflectância utilizadas para o cálculo dos três últimos índices foram a banda TM 4 (0,76 - 0,90 μm) e TM 3 (0,63 - 0,69 μm) respectivamente.

Os resultados da pesquisa demonstraram que existem fortes relações entre a resposta espectral e o percentual de cobertura do solo, índice de área foliar, biomassa e conteúdo de água nas plantas. As correlações das bandas espectrais do TM com as variáveis de cobertura da cultura foram maiores do que para as bandas correspondentes do MSS. Além disso, os índices utilizados mostraram que a banda do infravermelho próximo do TM (0,76 - 0,90 μm) forneceu a maior variação quanto ao índice de área foliar e percentagem de cobertura do solo.

Satterwhite e Henley (1987) verificaram que a caracterização da vegetação e de solos em região semi-árida através de imagem de satélite é limitada pelo baixo contraste de reflectância interbanda e intraespectral entre vegetação e solo. Assim sendo, procuraram avaliar a resposta espectral de alguns solos e vegetação e a utilidade de razões de bandas e transformações de dados espectrais para discriminar estas superfícies.

O espectro de reflectância foi obtido de um espectroradiômetro e foram utilizadas as razões de bandas do TM 2/1, 3/1, 4/1, 3/2, 4/2, e 4/3; o índice de vegetação de diferença normalizada ($NDVI = \frac{\text{banda 4} - \text{Banda 3}}{\text{Banda 4} + \text{Banda 3}}$) e os índices de brilho e de vegetação verde e amarelada.

Os autores alcançaram, entre outros, os seguintes resultados:

- 1) A razão infravermelho próximo (IVP)/vermelho (V) foi similar a outras razões das bandas do IVP/visível, e separaram os solos e a vegetação entre três grupos:
 - a) solo e vegetação caduca,
 - b) vegetação verde-amarelada e cinza,
 - c) vegetação verde.
- 2) A utilização do NDVI possibilitou a identificação desses mesmos três grupos.

- 3) O índice de vegetação verde, assim como a razão IVP/V e o NDVI usam o contraste de reflectância entre as bandas do TM (reflectância do IVP e visível) para separar superfícies de solo e vegetação. Consequentemente, aqueles fatores das plantas que afetam o contraste estão contidos no valor do índice, quais sejam, pigmentação da planta, cobertura do terreno, área foliar e estado de crescimento da planta.

Epiphany e Formaggio (1988) procuraram explorar o potencial correlativo de cada banda particular do TM Landsat-5 com o índice de área foliar verde e a percentagem de cobertura do solo; e entre esses parâmetros de culturas e índices de razão empíricas de bandas. Neste estudo os autores analisaram também o estágio de crescimento das culturas de trigo e feijão, no norte do Estado de São Paulo.

Para o desenvolvimento do trabalho foram utilizados dados digitais do TM Landsat-5 no estabelecimento de correlações com as seguintes razões:

$$I1 = TM2/TM1; \quad I2 = TM3/TM2; \quad I3 = TM4/TM2; \quad I4 = TM5/TM2;$$

$$I5 = TM7/TM2; \quad I6 = TM4/TM3; \quad I7 = TM5/TM3; \quad I8 = TM7/TM3;$$

$$I9 = TM4/TM5; \quad I10 = TM4/TM7; \quad I11 = TM5/TM7; \quad I12 = (TM4 - TM3) / (TM4 + TM3).$$

Os autores, diante dos resultados, chegaram as seguintes conclusões:

- 1) Melhores correlações entre parâmetros de culturas e parâmetros de imagens de sensoriamento remoto foram obtidos no estágio inicial de desenvolvimento das culturas em função de uma maior heterogeneidade em termos de desenvolvimento vegetativo, o estágio inicial de desenvolvimento das culturas é mais

apropriado para o estabelecimento de correlações entre parâmetros de sensoriamento remoto relacionados com os elementos solo/planta.

- 2) No que se refere às bandas particulares, existem grandes variações com respeito ao seu potencial correlativo com parâmetros das culturas. Assim, com respeito ao número de correlações a classificação decrescente é a seguinte: TM4>TM3>TM5>TM7>TM2>TM1.
- 3) No que se refere às razões de bandas, os índices com a banda TM4 como componente são aqueles que apresentam maiores potenciais correlativos com os parâmetros das culturas. Assim sendo, em ordem decrescente o número de razões correlacionadas são: I10=I11>I12>I6=I9>I7.

2.6 - SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS - SIG

Sistemas de informação geográfica são bancos de dados para informações codificadas espacialmente.

Os principais componentes de um sistema de informação geográfica são basicamente os seguintes (Marble, 1984):

- 1) um subsistema de entrada de dados;
- 2) um subsistema de armazenamento e recuperação de dados espaciais numa forma que possibilite um acesso eficiente de dados;
- 3) um subsistema de manipulação, que permita analisar e gerar dados derivados;

- 4) um subsistema para apresentação dos dados tanto na forma tabular como gráfica.

Segundo Alves et al. (1988) um sistema de informação geográfica incorpora dados com diversas características e diversos tipos de representação, diferenciando-se pelo menos dois tipos de representação: a vetorial e a matricial ("raster").

Ainda segundo estes autores os dados do tipo "raster" são representados por uma matriz 2D de valores inteiros, e os dados vetoriais são representados por vetores de coordenadas. A título de exemplo, as imagens de satélite são representada na forma "raster" enquanto modelos numéricos de terreno são representados na forma vetorial.

O SIG, de uma forma geral tem como objetivo auxiliar naquelas atividades de planejamento que fazem uso de mapas. O SIG desenvolvido no Instituto de Pesquisas Espaciais, tem como principais objetivos (ENGESPAÇO,1987b):

- Integrar, numa única base de dados, informações representando vários aspectos do estudo de uma região, como por exemplo, a altimetria, o uso do solo, redes de diversos tipos, dados geofísicos e geoquímicos, etc.
- Permitir a entrada de dados de diversas formas como através de mesas digitalizadoras, imagens de satélite, restituidores, etc.
- Combinar as várias informações, através de algoritmos de manipulação, gerando informações para diversos fins.

- Gerar relatórios e documentos gráficos de diversos tipos, como mapas, dados tridimensionais em perspectiva, etc.
- Efetuar diversos tratamentos de imagens através do sistema SITIM.

Para a utilização do SIG-INPE, um usuário típico segue as seguintes etapas, conforme apresentado na Tabela 2.3.

Um dos aspectos centrais de um SIG, é a geração de mapas. Estes mapas são gerados a partir da combinação digital de vários documentos cartográficos. A construção do documento final é feita de forma análoga à cartografia convencional, ou seja, através da superposição de "overlays".

Maiores detalhes sobre o SIG-INPE, podem ser encontrados no Manual do SIG-INPE (ENGESPAÇO, 1987b).

2.6.1 - UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA NO ESTUDO DA EROÇÃO DO SOLO

Chrisman et al. (1986) desenvolveram um método para determinar o potencial de erosão do solo em Wisconsin (EUA). O procedimento utilizado para determinar o potencial de erosão do solo envolveu a aplicação da equação universal de perdas de solo (USLE). Foi obtido, então, um mapa resultante da integração dos dados de declividade, erodibilidade dos solos e cobertura vegetal, como componentes de um sistema de informações da terra.

TABELA 2.3

UTILIZAÇÃO DE UM SIG POR UM USUÁRIO TÍPICO

ETAPAS	INFORMAÇÕES MANIPULÁVEIS
Definição do projeto	Cada projeto reúne os dados de interesse projeto da região a ser estudada. A cada projeto corresponde um referencial geográfico distinto, que pode ser escolhido pelo usuário.
Criação de planos de informação	Cada projeto pode conter diferentes planos de informação. Cada PI constitui uma grandeza e contém elementos geográficos.
Formatos e topologias diferentes que o SIG reconhece	A) áreas ou polígonos B) modelos numéricos de terreno C) redes D) hidrografia E) pontos F) imagens de satélite
Tratamento de imagens de satélite	Realizado no "software" SITIM
Manipulação de entidades geográficas distintas	Devem ser definidos no início do trabalho os atributos dos vários objetos que correspondem a um a um elemento do banco de dados relacional. Objetos de um mesmo PI podem ser agrupados em uma mesma classe.

FONTE: Adaptado de ENGESPAÇO (1987b).

Pelletier (1985) comenta a importância que tem o desenvolvimento de métodos que identifiquem "áreas fonte" de produção de sedimentos. Entretanto salienta que os vários modelos existentes de predição de perdas de solo e produção de sedimentos usam medidas pontuais, não compatíveis para utilização nos atuais sistemas de informação geográfica, que por sua vez manipulam grandes volumes de dados espaciais.

Este mesmo autor salienta que a aquisição de dados de sensores remotos a bordo de aeronaves e satélites, oferecem perspectivas em numerosas formas de entrada para estes modelos. A classificação da cobertura da terra é talvez uma das mais úteis desses produtos. A equação universal de perdas de solo (USLE) oferece um bom exemplo da utilização de dados de sensoriamento remoto em um base de dados geocodificada. Para a utilização da USLE em um sistema de informação geográfica, o autor comenta que o fator erodibilidade do solo pode ser determinado de dados tabulares do serviço de conservação de solos, sendo interpretados e digitalizados como polígonos; os dados de comprimento de rampa (L) e grau do declive (S) podem ser derivados de dados de elevação (modelo de elevação digital); o dado de prática conservacionista (P) pode ser armazenado da mesma forma que os dados de solos (interpretados e digitalizados como polígonos), entretanto em vários casos o fator "P" deve ser considerado como uma constante, igual a 1 (hum), quando assume-se que não há práticas conservacionistas; o fator "R" (chuva) pode ser obtido de mapa de isoerosividade; o dado de uso e manejo é obtido de produtos de sensoriamento remoto orbital.

O autor conclui que a utilização de modelos como a USLE, com dados de sensoriamento remoto, dados digitalizados de solos e outros dados auxiliares armazenados em um sistema de informação geográfica pode

ajudar a avaliar problemas de poluição da água a partir de fontes não pontuais (difusas) e relacioná-las a medidas de conservação de recursos naturais.

Valenzuela et al. (1986) procuraram avaliar a importância do elemento "solo", no contexto de um sistema de informações geográficas. As informações sobre solo foram obtidas de um mapa e armazenadas no SIG. Posteriormente, através da aquisição de pontos de controle, os dados foram colocados em uma projeção cartográfica e finalmente foram transformados para a forma "Raster".

Os autores comentam que as informações contidas em um mapa digital de solos, podem ser derivadas para a geração de novos mapas, e podem ser usadas como novas variáveis na previsão de mudanças nos ambientes naturais. Assim, calcularam o potencial de erosão do solo usando a equação universal de perdas de solo (USLE), para reclassificar o mapa de solos em classes de potencial de erosão. Os autores ainda afirmam que as informações de potencial de erosão podem ser usadas em conjunção com dados de declividade, uso da terra e proximidade de rios, para determinar o risco de erosão na agricultura, e estimar os riscos da sedimentação e os perigos relacionados a inundação.

Hession e Shanholtz (1988) desenvolveram uma base de dados espaciais para identificar e avaliar áreas com potencial de poluição através de sedimentos na bacia abastecedora da baía de Chesapeake, Estado da Virgínia (E.U.A.). O potencial de poluição foi calculado usando a equação universal de perdas de solo em combinação com uma razão do volume de descarga.

O cálculo do potencial de carga de sedimentos requer informações de culturas, tipo de solo, chuva e topografia. A equação utilizada para o referido cálculo foi a seguinte: $PSL = R \times K \times LS \times C \times P \times DR$, onde:

PSL - é o potencial de carga de sedimentos em mg/ha.

Os fatores R, K, LS, C e P são constantes da equação universal de perdas de solo (R = fator erosividade da chuva; K = fator erodibilidade do solo; LS = fator topográfico; C = fator uso e manejo; P = fator prática conservacionista) e o fator DR (volume de descarga) é usado para estimar os sedimentos que alcançam um rio. Este é calculado de acordo com mapas de topografia (relevo e declive), bacia de drenagem, corpos d'água e dados de uso da terra.

Para o cálculo do potencial de carga de sedimentos, os autores assumiram que o fator R foi constante; o fator K foi obtido a partir do tipo de solo; o fator LS foi obtido das informações topográficas; o fator C foi determinado de imagens do Landsat; e o fator P não foi considerado.

Ventura et al. (1988) comentam que o principal objetivo no processo de planejamento de controle de erosão do solo no Estado de Wisconsin (E.U.A.) foi o de fornecer estimativas de perdas de solo aos órgãos governamentais. A estimativa de perdas de solo, baseada na equação universal de perdas de solo, requer vários tipos de informação para cada unidade de terra que é analisada. Os dados necessários para a utilização da USLE foram os de propriedades do solo, topografia e o que estava sendo desenvolvido para controle de erosão. As fontes de

informação foram combinadas usando um sistema de informação geográfica.

Os dados de erodibilidade do solo, grau e comprimento do declive, perda tolerável de solo e erodibilidade pelo vento foram obtidos de um levantamento de solos. Uma imagem do TM-Landsat foi classificada e forneceu como informação, cinco classes de cobertura da terra. Foram adquiridas ainda informações sobre a distribuição geográfica das propriedades agrícolas.

Os autores salientam que a automação de informação de cobertura da terra e de solos, através do uso de sistemas de informação geográfica, tem melhorado o tempo de processamento para os vários programas de planejamento e melhoraria mais se todas as informações necessárias fossem imediatamente acessíveis.

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 - ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo tem uma extensão aproximada de 190 km e localiza-se no oeste do Estado da Paraíba, abrangendo parte dos municípios de Aguiar, Boqueirão dos Cochos, Itaporanga e Piancó, situa-se entre as coordenadas de 7° 07' 30" a 7° 15' 00" de latitude sul e de 38° 03' 45" a 38° 11' 15" de longitude oeste (Figura 3.1).

Faz parte da unidade geomorfológica denominada de planalto sertanejo (RADAMBRASIL, 1981). Desta unidade geomorfológica encontra-se na área de estudo:

- As formas de relevo pouco dissecadas, que são áreas de topo aplainado e arredondado com incisão da drenagem muito fraca, apresentando vales de fundo plano.
- As formas de relevo medianamente dissecadas, que representam áreas de topo convexo com incisão da drenagem ocorrendo em vales em "V" e eventualmente de fundo plano.
- As formas de relevo muito dissecadas que correspondem as áreas de topos contínuos e aguçados com a incisão da drenagem em vales em "V". Nessas áreas há ocorrência de grandes dobramentos e falhamentos que se refletem no relevo através de extensos alinhamentos de cristas, paralelas entre si.

- As formas de acumulação que são áreas sujeitas à inundações periódicas, caracterizadas pela deposição de detritos.

A Figura 3.2 apresenta as formas de dissecação da área de estudo.

No que diz respeito à morfogênese atual, a área de estudo sofre ainda ativo processo de desnudação em que os detritos são carreados de maneira difusa pelos cursos d' água intermitentes. O processo erosivo é ativado em função das seguintes causas (Melo, 1985).

- A) Climáticas, que através da mudança das estações seca e úmida, provocam uma alternância nos processos de meteorização e transporte de detritos.
- B) Vegetação de caatinga hiperxerófila, que em função de seu aspecto arbustivo aberto, proporciona uma baixa densidade de cobertura do solo.
- C) Ações antrópicas, se traduzem na criação extensiva, agricultura itinerante e retirada de madeira, que proporcionam a degradação da cobertura vegetal e consequentemente a acentuação dos fenômenos de erosão pela aceleração do escoamento pluvial superficial.

A área de estudo é drenada por rios intermitentes, muitos dos quais tem suas cabeceiras nas serras que aí se encontram, e se prolongam para nordeste, em direção aos açudes Mãe D'água e Coremas. Alguns desses rios possuem cursos retilíneos, intercalados por curvas e ângulos anômalos, e que correm paralelos à linha de cristas. Outros seccionam estas cristas.

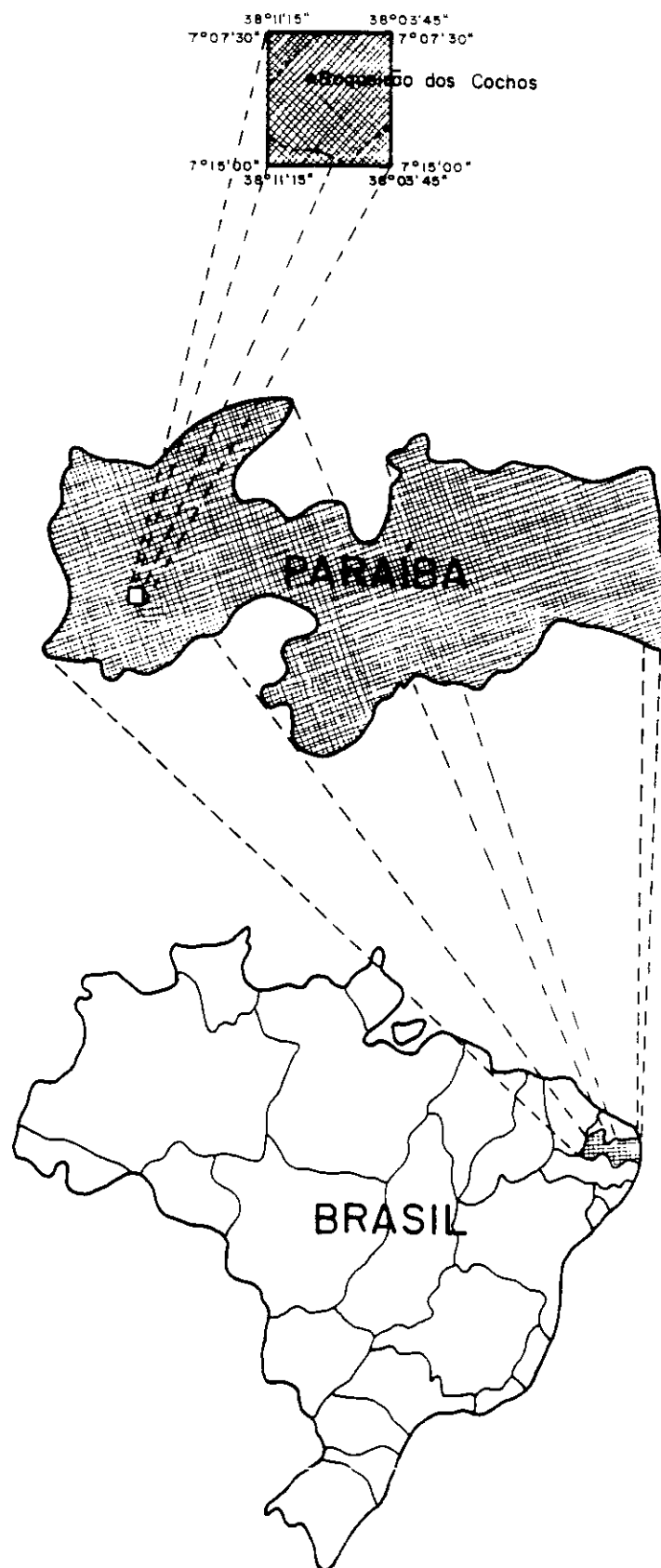
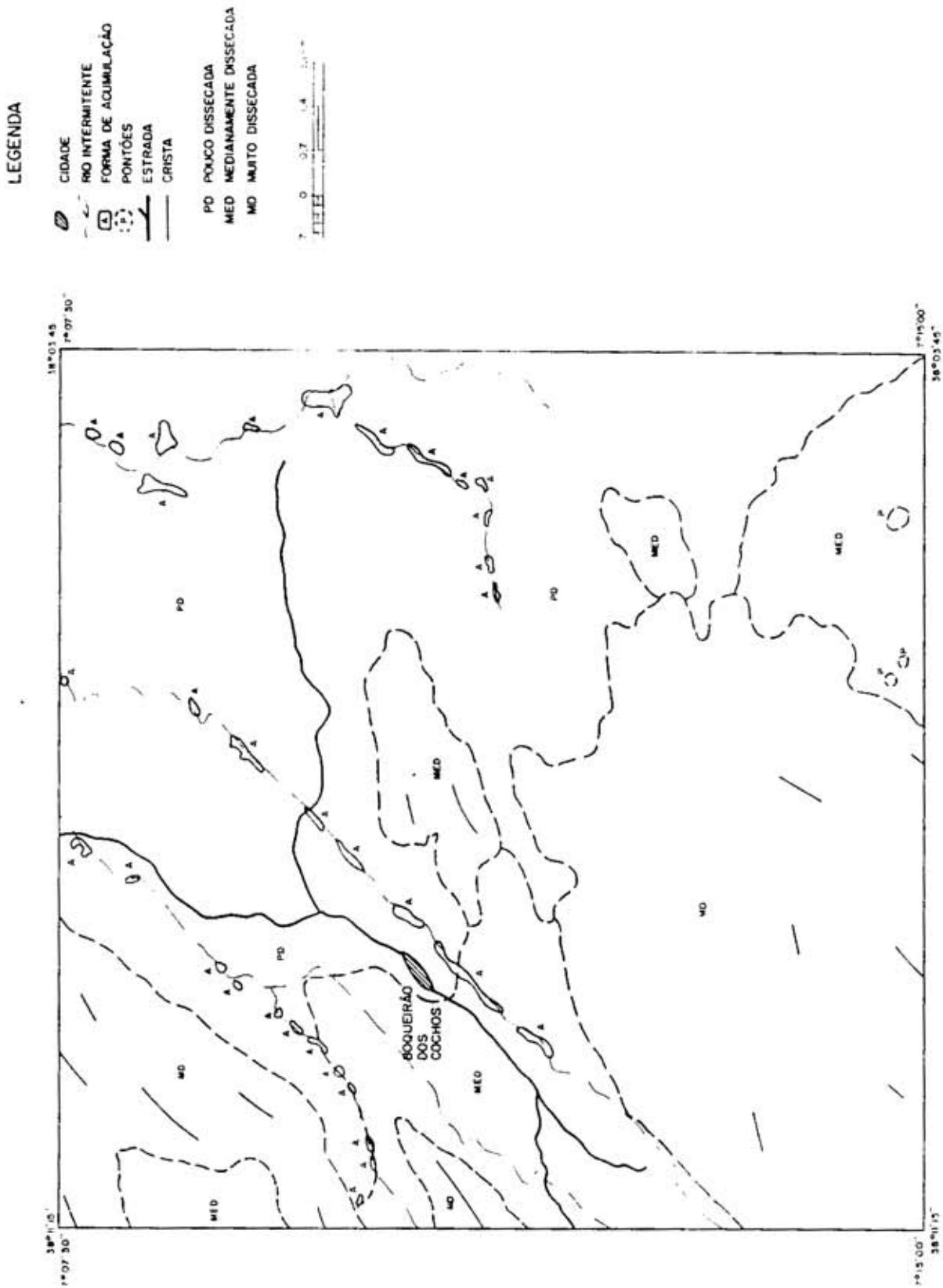


Fig. 3.1 - Localização da área de estudo.



Fonte: interpretação de fotografias aéreas panorâmicas

Fig. 3.2 - Mapa das formas de dissecação da área de estudo.

As associações de solos e litologias predominantes na área de estudo estão descritas nas Tabelas 3.1 e 3.2 e sua distribuição é apresentada nas Figuras 3.3 e 3.4, respectivamente.

As associações rocha-solo-relevo são apresentadas na Tabela 3.3.

Nas Tabelas 3.4 e 3.5 são apresentadas as descrições morfológicas de perfis característicos dos solos existentes na área de estudo. Analisando estas tabelas pode-se observar que:

- o solo Bruno Não Cálcico apresenta-se mais desenvolvido que o solo Litólico Eutrófico;
- o solo Bruno Não Cálcico em seus horizontes A e Bt apresenta um grande percentual de materiais finos, devido ao seu caráter franco argiloso.

A vegetação da área de estudo é constituída de espécies de caatinga hiperxerófila, que apresentam como características peculiares, os mecanismos comuns de resistência à carência d' água como redução da superfície foliar, transformação das folhas em espinhos, cutículas cerosas nas folhas, órgãos subterrâneos de reserva e a caducidade foliar.

Embora de caráter homogêneo, a vegetação de caatinga em algumas áreas, onde o teor de umidade é mais alto e a insolação menos acentuada, devido a proteção do relevo, apresenta-se mais densa e com porte arbóreo.

TABELA 3.1

ASSOCIAÇÕES DE SOLOS PREDOMINANTES NA
ÁREA DE ESTUDO

PRINCIPAL TIPO DE SOLO	ASSOCIAÇÃO
NC - Bruno Não Cálcico	NC 18 - Bruno Não Cálcico + Litólico Eutrófico
Re - Litólico Eutrófico	Re 22 - Litólico Eutrófico relevo suave ondulado + afloramentos de rocha
	Re 32 - Litólico Eutrófico relevo ondulado e forte ondulado + afloramentos de rocha
	Re 39 - Litólico Eutrófico relevo ondulado e montanhoso + afloramentos de rocha
	Re 54 - Litólico Eutrófico + Podzólico Vermelho Amarelo + afloramentos de rocha
	Re 65 - Litólico Eutrófico + Bruno Não Cálcico + afloramentos de rocha

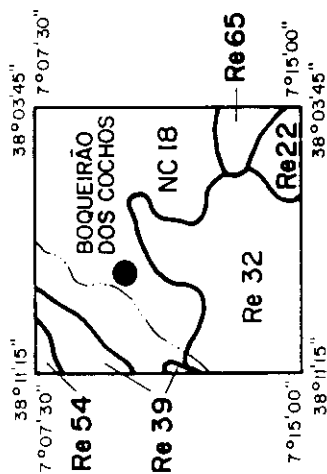
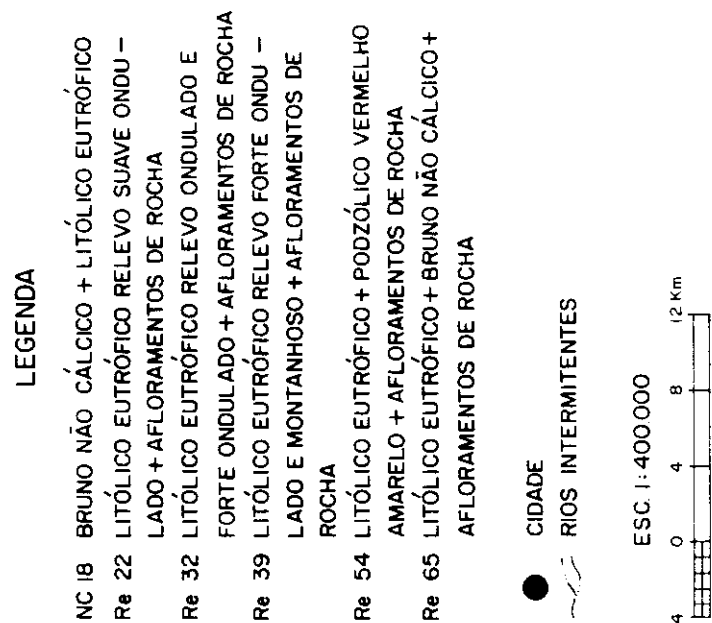
FONTE: PARAÍBA. SAA. CEPA (1978).

TABELA 3.2

LITOLOGIAS PREDOMINANTES NA ÁREA DE ESTUDO

LITOLOGIA PREDOMINANTE	IDADE GEOLÓGICA
Granitóide	Proterozóico médio
Xisto Gnaisse	Arqueano

FONTE: BRASIL. MME. DNPM (1985).



Fonte: Mapa de Classificação de Solos do Oeste do Estado da Paraíba – Governo do Estado / Universidade Federal da Paraíba (1978)

Fig. 3.3 – Mapa de solos da área de estudo.

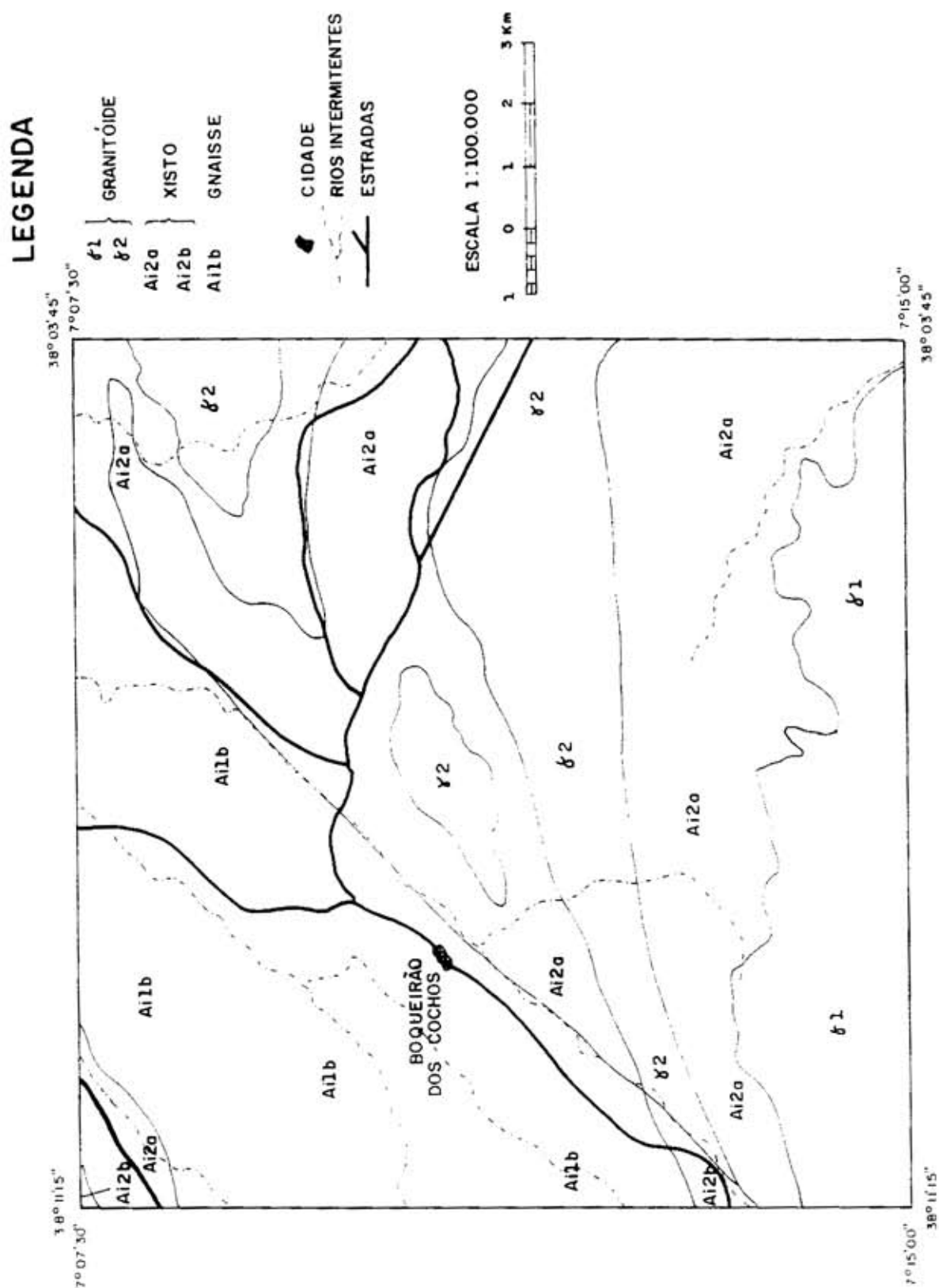


Fig. 3.4 - Mapa geológico da área de estudo.
FONTE: BRASIL. MME. DNPM (1985).

TABELA 3.3

ASSOCIAÇÕES ROCHA-SOLO-RELEVO

ROCHA	SOLO	RELEVO
Granitóide	Re 32 - associação de solos Litólico Eutrófico + afloramentos de rocha	formas pouco dissecadas e muito dissecadas
Gnaisse	Re 39 - associação de solos Litólico Eutrófico + afloramentos de rocha Re 54 - associação de solos Litólico Eutrófico + Podzólico Vermelho Amarelo + afloramentos de rocha	formas pouco dissecadas e medianamente dissecadas
Xisto	NC 18 - associação de solos Bruno Não Cálcico Litólico Eutrófico Re 22 - associação de solos Litólico Eutrófico + afloramentos de rocha Re 65 - associação de solos Litólico Eutrófico + Bruno Não Cálcico + afloramentos de rocha	formas pouco dissecadas e muito dissecadas

FONTE: BRASIL. MME. DNPM (1985).
 PARAÍBA. SAA. CEPA (1978).
 FOTOGRAFIAS AÉREAS - Escala 1:70.000

TABELA 3.4

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA DE PERFIL DO SOLO BRUNO NÃO CÁLCICO
EXISTENTE NA ÁREA DE ESTUDO

HORIZONTE	DESCRIÇÃO
A	0 - 10 cm; franco argiloso; moderada, pequena, granular, cerosidade fraca e pouca; ligeiramente duro, firme plástico e pegajoso; poroso; transição abrupta e plana.
Bt	19 - 35 cm; franco argiloso; fraca, pequena a média, blocos angulares e subangulares; cerosidade fraca e pouca; ligeiramente duro, firme, plástico e pegajoso, pouco poroso; transição clara e ondulada.
C	26 cm+; material semi-intemperizado.

FONTE: UFPb (1988).

TABELA 3.5

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA DE PERFIL DO SOLO LITOLÓGICO
EUTRÓFICO EXISTENTE NA ÁREA DE ESTUDO

HORIZONTE	DESCRIÇÃO
A	0 - 20 cm; franco argiloso arenoso; fraca, pequena a média, blocos angulares e subangulares; ligeiramente duro, firme, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso; pouco poroso; transição abrupta e plana.
C	20 - 35; fraca, média, blocos angulares e subangulares; ligeiramente duro, friável, ligeiramente plástico, ligeiramente pegajoso; transição gradual e ondulada.
R	35 cm+.

FONTE: UFPb (1988).

As espécies mais características encontradas na área de estudo são: catingueira, umbuzeiro, braúna, aroeira, juazeiro, jurema, marmeleiro, mandacaru, pereiro, pinhão branco e macambira.

Ao longo das margens dos rios ocorrem as oiticicas e carnaúbas correspondendo aos restos de antigas matas ciliares.

Pratica-se, na área de estudo, uma agricultura extensiva de culturas itinerantes (sistema de roças). O cultivo se faz principalmente através do consórcio do milho, feijão, algodão. Além disso, a vegetação de caatinga é utilizada como pastagem natural, ou é retirada para a implantação de pastos. As técnicas agrícolas empregadas são rudimentares, sendo compatíveis com as características das culturas de subsistência que são destinadas ao autoconsumo das famílias produtoras.

Segundo a classificação climática de Koeppen (Atlas Climatológico do Estado da Paraíba, 1984), a área de estudo está incluí no clima Awig, tropical úmido com estação seca transladada do inverno para o outono.

Dada a importância que tem os dados de pluviometria para estudos de erosão, foram avaliadas as medidas pluviométricas mensais das 4 estações meteorológicas mais próximas da área de estudo, quais sejam, Aguiar, Itaporanga, Piancó e Serra Grande (Figura 3.5).

Em função da inexistência, foram elaborados gráficos de barras, referentes às quatro estações meteorológicas (Figuras. 3.6, 3.7, 3.8 e 3.9), que apresentam os valores da média dos totais mensais de precipitação pluviométrica, a partir de uma série de dados de 44 anos.

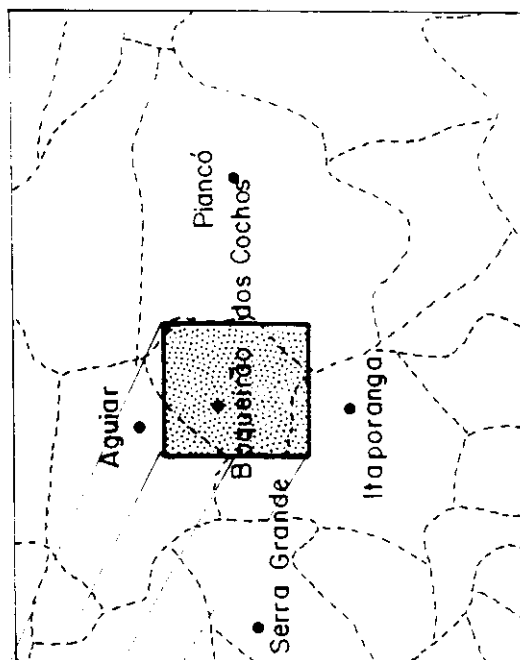
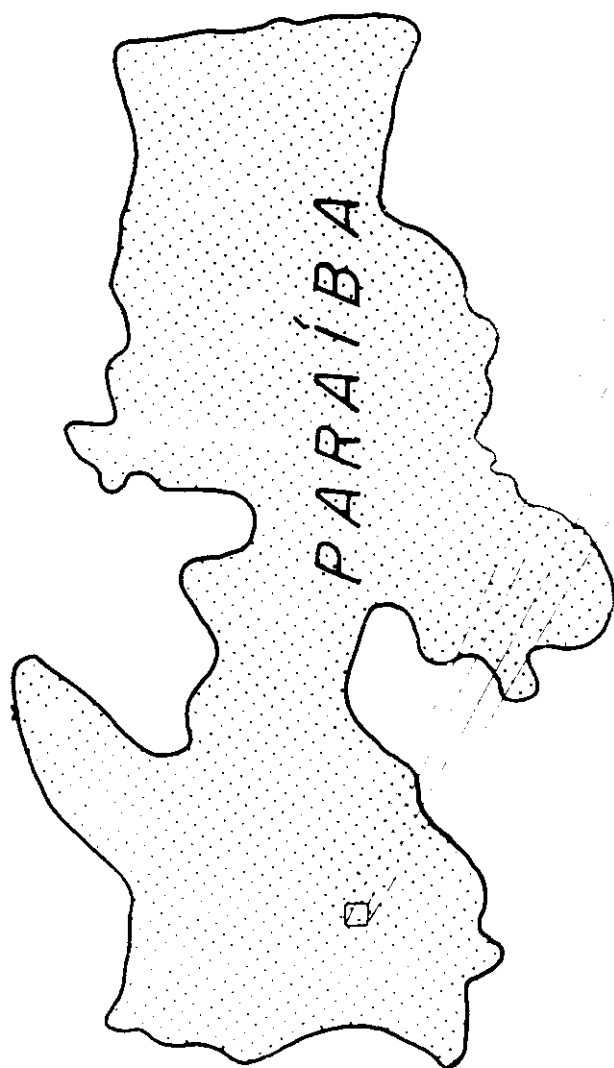


Fig. 3.5 - Localização da área de estudo e das estações meteorológicas mais próximas.

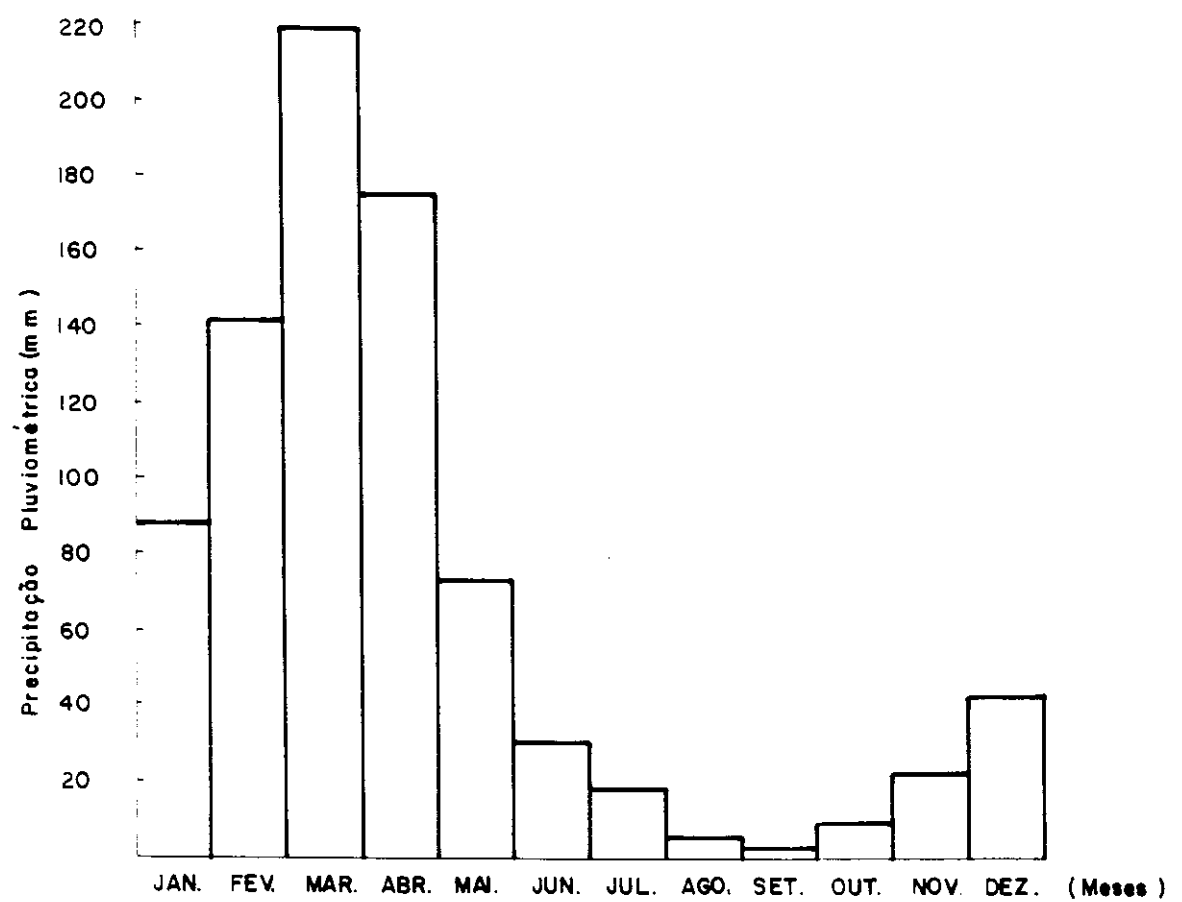


Fig. 3.6 - Média dos totais mensais de precipitação pluviométrica a partir de uma série de dados de 44 anos (Estação meteorológica de Aguiar).

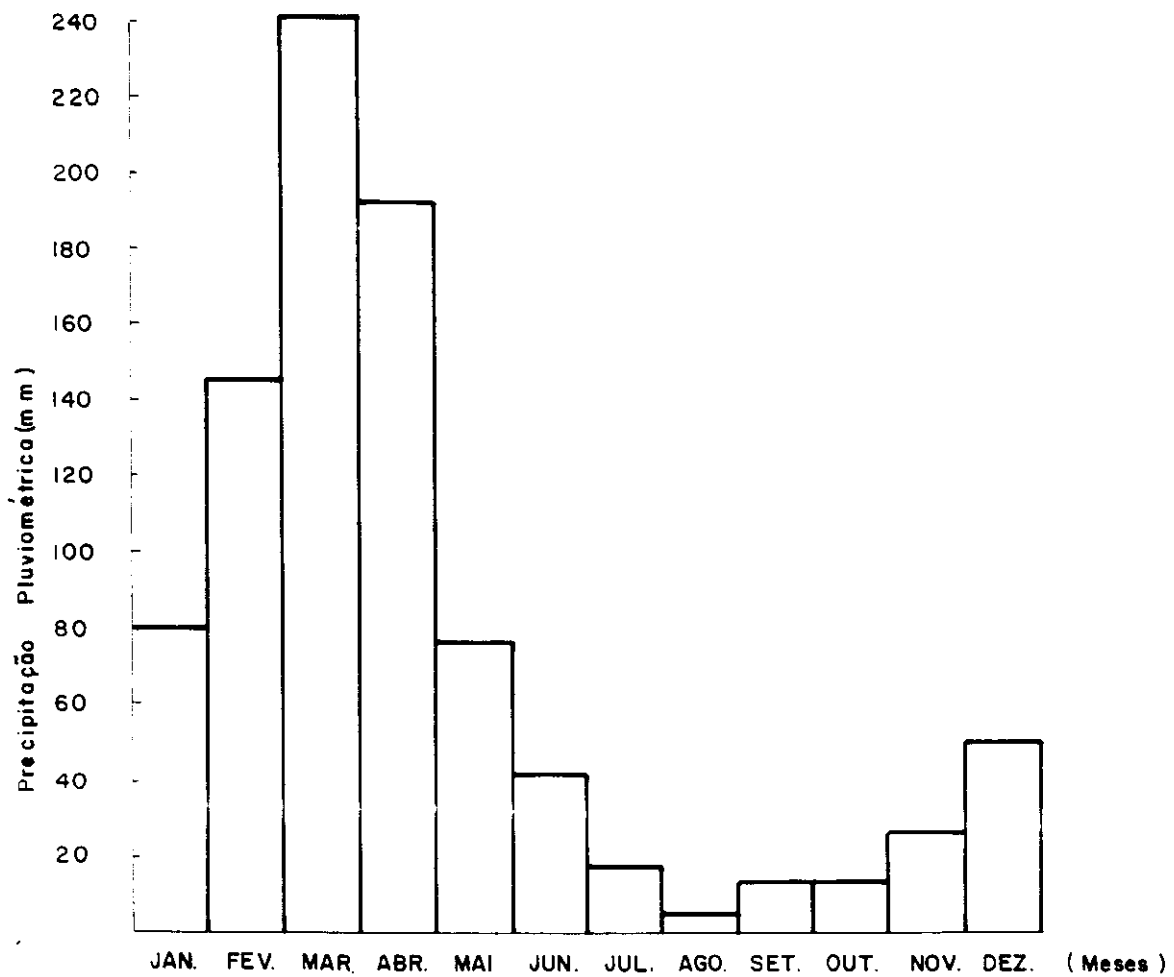


Fig. 3.7 - Média dos totais mensais de precipitação pluviométrica a partir de uma série de dados de 44 anos (Estação meteorológica de Itaporanga).

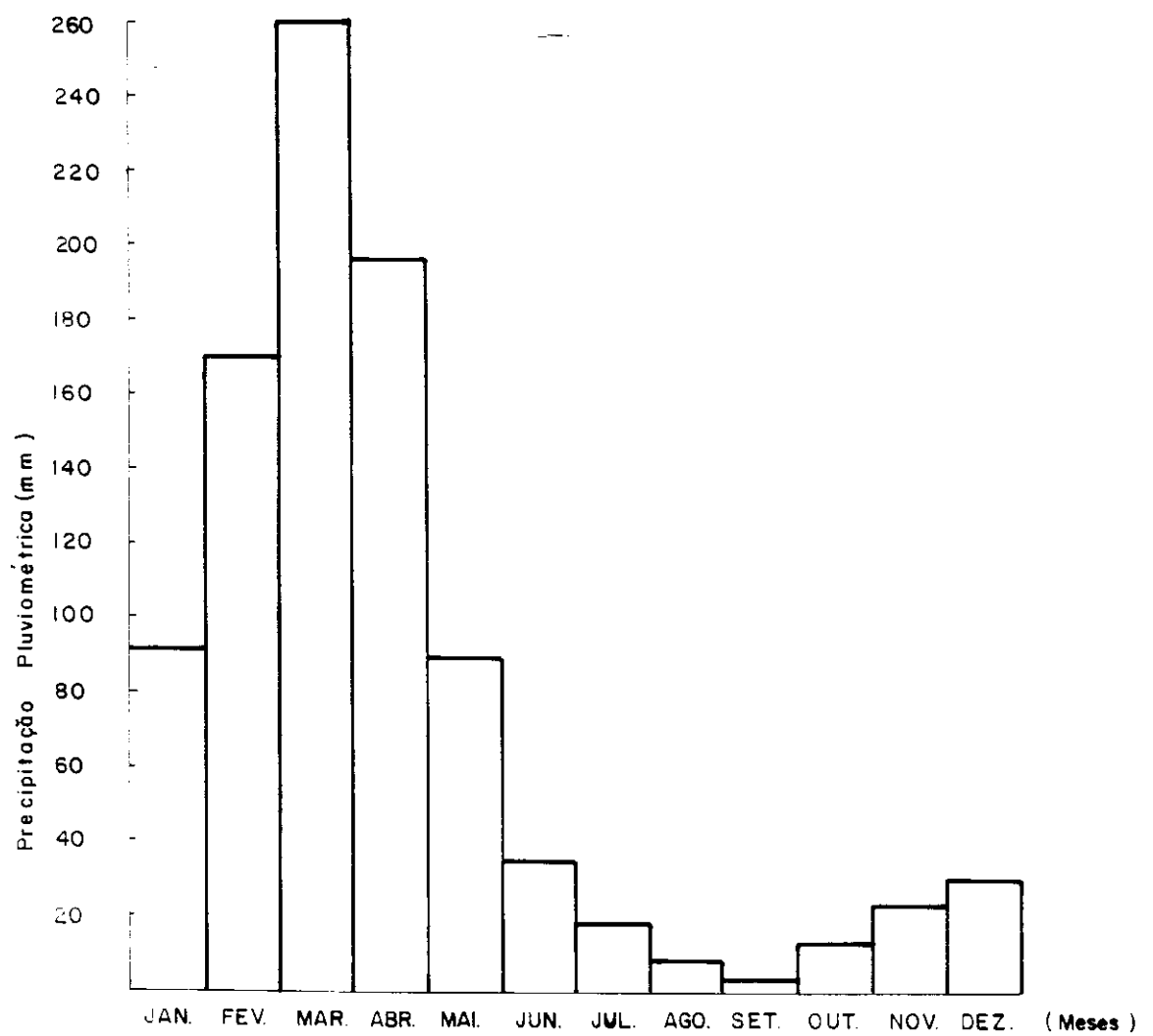


Fig. 3.8 - Média dos totais mensais de precipitação pluviométrica a partir de uma série de dados de 44 anos (Estação meteorológica de Piancó).

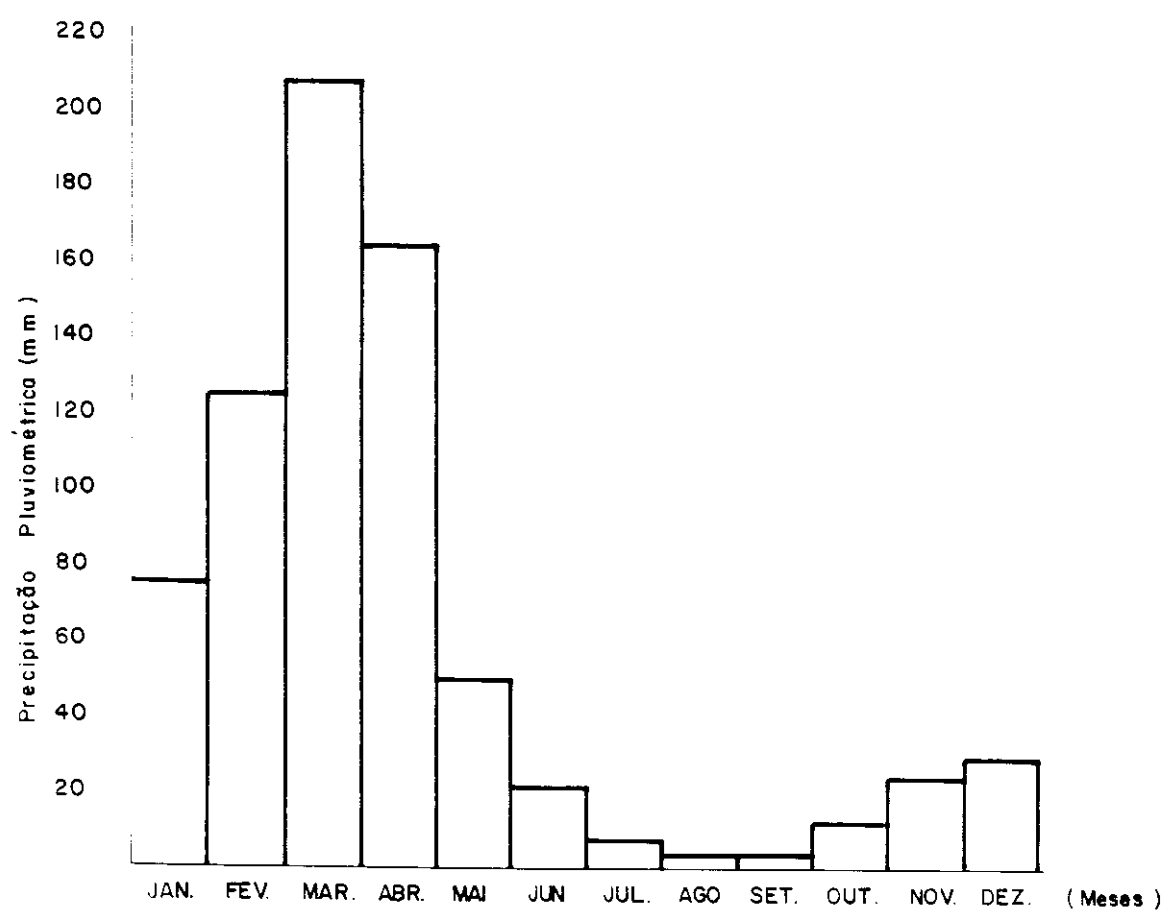


Fig. 3.9 - Média dos totais mensais de precipitação pluviométrica a partir de uma série de dados de 44 anos (Estação meteorológica de Serra Grande).

Foi utilizada uma série de dados de precipitação de 44 anos, dada a disponibilidade do mesmo período para as quatro estações meteorológicas, ou seja de 1933 a 1977.

Analisando as Figuras 3.6, 3.7, 3.8 e 3.9 observa-se que no período de janeiro a maio ocorrem mais de 80% das precipitações anuais. Neste período ocorre o maior poder erosivo das chuvas, principalmente nos meses de janeiro e fevereiro, tendo em vista ser esta a época do ano destinada ao preparo do solo para o plantio.

Nos meses de agosto e setembro ocorrem os menores índices de precipitação (menos de 2%) e as chuvas apresentam menor poder erosivo.

Os meses de junho, julho, outubro, novembro e dezembro representam períodos intermediários entre os períodos de maior e menor precipitação.

3.2 - MATERIAIS

Para a execução deste trabalho foram utilizados os materiais discriminados em seguida.

3.2.1 - PRODUTOS DE SENSORIAMENTO REMOTO

A) Fotografias aéreas

Foram utilizadas fotografias aéreas pancromáticas, escala 1:70.000, de 1965 referentes a levantamento realizado pelos Serviços Aéreos Cruzeiro do Sul - SACS, com o objetivo de se obter um mapa de dissecação da área de estudo (Figura 3.1) em escala média, dada a inexistência do mesmo.

B) Dados do TM Landsat-5

Foram utilizados os seguintes dados, referentes à órbita 216, ponto 65, quadrante B, passagens de 21 de janeiro e 17 de agosto de 1986:

- fitas compatíveis com computador e imagens fotográficas:

Bandas 3 e 4

Data: 21 de janeiro

Ângulo solar: 50

Ângulo azimute: 113

Data: 17 de agosto

Ângulo solar: 46

Ângulo azimute: 62

3.2.2 - MATERIAL CARTOGRÁFICO

- 6 cartas topográficas, escala 1:10.000, restituídas de fotos aéreas 1:40.000 pela Aerosul S.A. em 1985. Estas cartas foram utilizadas para entrada no SIG/ INPE, via mesa digitalizadora, de isolinhas e pontos cotados com a finalidade de gerar um modelo digital de terreno e em seguida uma carta de declividade.
- Mapa geológico, escala 1:100.000, folha Itaporanga, referente ao Projeto Cachoeirinha - Brasil.MME.DNPM (1985). Este mapa foi utilizado para entrada no SIG/INPE, via mesa digitalizadora das áreas abrangidas pelas litologias predominantes na área de estudo.

- Mapa de classificação de solos do oeste do Estado da Paraíba, escala 1:400.000, executado pela Secretaria de Agricultura e Abastecimento do Estado da Paraíba e Universidade Federal da Paraíba (1978). Utilizado para entrada no SIG INPE, via mesa digitalizadora das unidades de solos existentes na área de estudo.
- Carta topográfica, folha Itaporanga, escala 1:100.000, editada pela SUDENE. Utilizada para a geração do mapa de erosividade.

3.2.3 - DADOS DE PRECIPITAÇÃO PLUVIOMÉTRICA

Foram utilizados dados de precipitação pluviométrica mensal do período de 1933 a 1977, referente as estações meteorológicas de Aguiar, Itaporanga, Piancó e Serra Grande. Estes dados serviram para a elaboração do mapa de isoerosividade.

3.2.4 - REMBRANDT

Este equipamento foi utilizado para a aquisição de fotografias (papel e slide) de imagens digitais no Sistema de Tratamento de Imagens - SITIM-150 INPE, e dos mapas digitais gerados no Sistema de Informações Geográficas - SIG/INPE.

3.2.5 - SISTEMA DE TRATAMENTO DE IMAGENS

Para o processamento digital dos dados do TM Landsat, foi utilizado o equipamento SITIM, versão 150 disponível no INPE.

3.2.6 - SISTEMA DE INFORMAÇÕES GEOGRÁFICAS

Para a criação do banco de dados e a integração destes, foi utilizado o software SIG/INPE, versões 2.0 e 2.1 que está integrado ao SITIM.

3.3 - METODOLOGIA

A metodologia adotada neste trabalho, cujo fluxograma é apresentado na Figura 3.10, a seguir, está descrita em sequência.

- Sequência da Metodologia Utilizada:

- 1 - Seleção da área de estudo
- 2 - Seleção dos dados do TM Landsat
- 3 - Interpretação preliminar dos dados do TM Landsat
- 4 - Trabalho de campo
- 5 - Geração dos planos de informação e entrada no SIG/INPE:
 - A) declividade
 - B) erodibilidade do solo
 - C) erosividade da chuva
 - D) litologia
 - E) cobertura vegetal

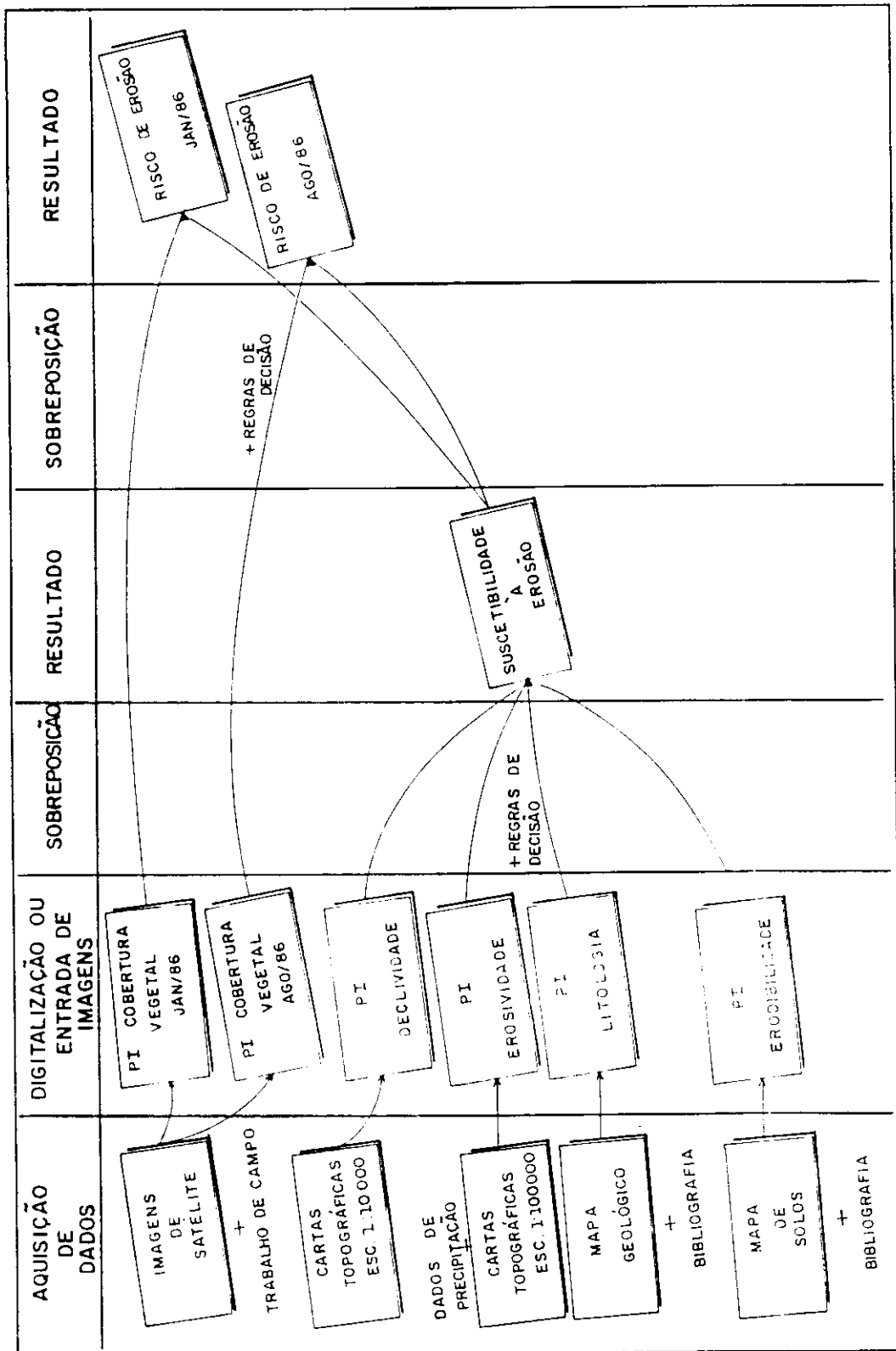


Fig. 3.10 - Sequência da metodologia utilizada.

6 - Integração dos dados:

- A) Primeira fase - geração do mapa de suscetibilidade à erosão.
- B) Segunda fase - geração dos mapas de risco de erosão.

A seguir serão descritas as fases da metodologia do trabalho.

3.3.1 - SELEÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo foi selecionada em função do interesse do Governo do Estado da Paraíba na proteção dos açudes localizados na região semi-árida do referido Estado.

Os critérios utilizados para a definição da área-teste foram os seguintes:

- 1 - A proximidade de açudes importantes no contexto regional.
- 2 - A existência de áreas com grande variação de declividade, considerando que este é um importante fator para o desencadeamento de processos erosivos.
- 3 - A disponibilidade de informações adicionais, com cartas topográficas, mapa geológico, mapa de solos e dados de precipitação.

3.3.2 - SELEÇÃO DOS DADOS DO TM/LANDSAT

Foram selecionados dados de épocas diferentes (chuvosa e seca), com o objetivo de se aproveitar a variação na cobertura vegetal do terreno em função das diferentes condições pluviométricas que ocorrem durante o ano. Com isso procurou-se mostrar que a variação na cobertura vegetal determina uma variação também na ocorrência de classes de risco de erosão do solo.

As bandas TM 3 e TM 4, em CCTs, foram selecionadas para a aplicação de técnicas de processamento digital, tais como, correção geométrica, correção atmosférica e realce por ampliação linear de contraste, tendo em vista a obtenção de imagens índice de vegetação. Estas bandas, em imagens fotográficas, foram selecionadas para possibilitarem uma visão regional da área de estudo, bem como, para servirem de referência aos dados submetidos ao processamento digital. Além disso, as imagens fotográficas foram submetidas a interpretação visual com o objetivo de definir as classes de cobertura vegetal existentes na área de estudo.

As bandas TM 3 e TM 4 foram selecionadas porque são as mais utilizadas para a obtenção das imagens de vegetação, através da utilização da diferença normalizada (Colwell, 1974; Huete et al., 1985; Tucker e Sellers, 1986).

3.3.3 - INTERPRETAÇÃO PRELIMINAR DOS DADOS DO LANDSAT

Foi realizada a análise visual preliminar da cobertura vegetal referente à área de estudo através das imagens fotográficas, banda TM 3. Para tanto foram utilizados os elementos de interpretação de tonalidade, textura, forma, padrão/relação de aspectos (Valério Filho

et al., 1976; Santos e Novo, 1977; Aoki e Santos, 1980; Santos et al., 1981b; Niero et al., 1981; Sausen, 1981; Santos et al., 1982; Pinto, 1983; Hernandez Filho, 1988).

A análise visual das imagens teve como objetivo definir a legenda dos mapas de cobertura vegetal referentes à área de estudo (Figuras 4.19 e 4.20).

3.3.4 - TRABALHO DE CAMPO

Foram realizados dois trabalhos de campo, em novembro de 1988 e julho, agosto de 1989.

O primeiro teve como objetivo realizar um reconhecimento preliminar da área de interesse. Neste trabalho foram feitas várias observações sobre os diferentes componentes da paisagem, tais como, vegetação, áreas cultivadas, solos e relevo.

O segundo trabalho de campo teve como objetivo verificar os resultados obtidos na interpretação preliminar realizada nas imagens TM. Além disso, foi aplicado um questionário (Apêndice A) que serviu, juntamente com a interpretação preliminar realizada nas imagens, para definir a legenda do mapa de cobertura vegetal.

A legenda definida para o mapa citado anteriormente, teve como critério a densidade de cobertura do solo exercida pela cobertura vegetal.

Assim sendo foi definida a seguinte legenda:

- 1 - área com caatinga densa;
- 2 - área com caatinga aberta;

- 3 - área com atividades agrícolas e ocorrência de solo exposto.

● Descrição das Classes:

1 - Área com caatinga densa

Nesta classe inclui-se a caatinga que ocorre nas áreas mais elevadas e nas encostas, com menor taxa de devastação e maior porte.

2 - Área com caatinga aberta

Inclui as áreas com caatinga hiperxerófila, geralmente devastada pela extração de madeira e utilizada para a pecuária extensiva. Localiza-se em áreas planas e com maior facilidade de acesso à população e aos animais.

Nesta classe foi incluída também a ocorrência de pastagens implantadas.

3 - Área com atividades agrícolas e ocorrência de solo exposto

Nesta classe incluem-se as terras destinadas às atividades agrícolas de uma forma geral, ocupadas com os cultivos tradicionais da região (milho, feijão, algodão, arroz). Além disso, inclui as terras preparadas para plantio, bem como áreas de solo exposto.

3.3.5 - GERAÇÃO DOS PLANOS DE INFORMAÇÃO E ENTRADA NO SIG/INPE

Esta etapa refere-se a geração dos mapas de declividade, erodibilidade, erosividade, litologia e cobertura vegetal referentes à área de estudo e a posterior

entrada no Sistema de Informações Geográficas, onde constituirão planos de informação do Banco de Dados.

A) Declividade

Este plano de informação foi obtido obedecendo-se o seguinte procedimento:

- inseriram-se no SIG/INPE, via mesa digitalizadora, curvas de nível de 40 em 40 metros, das cartas topográficas escala 1:10.000. A digitalização das curvas de nível com o intervalo anteriormente mencionado foi realizada com o intuito de que o plano de informação declividade se tornasse compatível com a escala 1:100.000;
- foram inseridos também, no SIG/INPE, pontos cotados encontrados nas cartas topográficas, escala 1:10.000;
- as isolinhas e pontos foram digitalizados em 3D, para que posteriormente fosse gerado um Modelo Digital de Terreno (MDT). É importante salientar que optou-se pela digitalização das cartas na escala 1:10.000 em lugar da carta topográfica escala 1:100.000, porque as primeiras apresentam um número muito superior de pontos cotados, o que auxilia o método de interpolação na determinação das classes de declividade;
- as amostras digitalizadas, referentes às isolinhas e aos pontos cotados, foram organizadas em um arquivo tipo árvore, utilizando o programa Organização de Amostras. Essa estrutura de árvore segundo o manual do Sistema de Informações Geográficas (ENGESPAÇO, 1987b), possibilita um acesso computacional mais

rápido às amostras vizinhas mais próximas do espaço bidimensional;

- em seguida foi gerada uma grade regular utilizando o programa correspondente. Após a obtenção da grade regular procedeu-se ao seu refinamento, com o objetivo de gerar uma imagem geocodificada com valores de nível de cinza de 0 a 255. Neste procedimento a imagem de saída foi definida com uma resolução de 30 x 30 metros;

- foi gerado um mapa de declividade com as seguintes classes:

0 a 3%
3 a 8%
8 a 20%
20 a 45%
> 45%

B) Erodibilidade do solo

Adotou-se o seguinte procedimento para a geração deste plano de informação:

- consideraram-se os valores de erodibilidade do horizonte superficial, determinados através do método do nomograma por Silva et al. (1981) para vários tipos de solos da Paraíba. O método do nomograma baseia-se nos teores de silte mais areia muito fina (0,002 a 0,1 mm), percentagens de areia (0,1 a 2,0 mm), matéria orgânica, estrutura e permeabilidade para a determinação da erodibilidade de cada tipo de solo;

- a área de estudo foi subdividida, com base no mapa de solos escala 1:400.000, em duas classes: uma considerada de erodibilidade baixa (valor de erodibilidade $> 0,20$), referente ao solo Litólico Eutrófico, e uma considerada de erodibilidade alta (valor de erodibilidade $> 0,20$), referente ao solo Bruno Não Cálcico;
- cada classe foi inserida no SIG/INPE, via mesa digitalizadora, como categoria área;
- os dados vetoriais foram posteriormente convertidos para o formato varredura (imagem) através do programa "Conversão Vetor-Varredura", com resolução de 30 x 30 metros.

C) Erosividade da chuva

Este plano de informação foi obtido com base no seguinte procedimento:

- Obtenção dos valores de precipitação pluviométrica média anual a partir de uma série de dados de 44 anos para as estações meteorológicas de Aguiar, Itaporanga, Piancó e Serra Grande. Segundo Bertoni e Lombardi Neto (1985) uma série de dados referente a um período de tempo de 20 anos ou mais pode ser utilizada com relativa precisão para a estimativa dos valores de erosividade média anual, usando-se somente informações de totais de chuva.
- Cálculo da erosividade média anual para as quatro estações meteorológicas citadas, com base na seguinte relação encontrada por Leprun (1981):

$$R = 0,13 \text{ } p^{1,24}$$

onde:

R = erosividade média anual;

P = precipitação média anual.

Leprun (1981) procurou correlacionar um fator facilmente disponível, como é o caso da pluviométrica total anual, com o fator "R" anual de Wishmeier, especificamente para cada uma das zonas climáticas da região nordeste do Brasil, entre elas, a zona do sertão, onde está localizada a área de estudo deste trabalho. Para a zona climática do sertão os resultados obtidos com a relação anteriormente mencionada, mostrou correlação altamente significativa com o fator "R" de Wishmeier, que é função da pluviometria.

- Os dados de erosividade foram plotados sobre uma carta topográfica escala 1:100.000, e em seguida foram traçadas manualmente linhas de mesmo valor de erosividade.
- A disposição do relevo regional não foi levada em consideração para o traçado das linhas de igual erosividade, tendo em vista que a sua influência é desprezível na distribuição da pluviometria regional, conforme salienta Jaccon (1972).
- A área de estudo foi subdividida em três classes de erosividade, denominadas de baixa, média e alta erosividade.
- Cada classe de erosividade foi inserida no SIG/INPE, via mesa digitalizadora como categoria "área".

- Em seguida os dados vetoriais foram convertidos para o formato varredura (imagem) através do programa "Conversão Vetor-Varredura", com resolução de 30 x 30 metros.

D) Litologia

O plano de informação litologia foi gerado da seguinte forma:

- com base no mapa geológico da CPRM (Projeto Cachoeirinha, Folha Itaporanga, escala 1:100.000) foram definidas três unidades litológicas para a área de estudo: granitóides, xistos e gnaisses;
- essas classes foram inseridas no SIG/INPE, via mesa digitalizadora, como categoria área;
- em seguida os dados vetoriais foram convertidos para o formato varredura (imagem) através do programa "Conversão Vetor-Varredura", com resolução de 30 x 30 metros.

E) Cobertura vegetal

Os planos de informação de cobertura vegetal referentes as datas de 21/01/86 e 17/08/86, representam imagens digitais do TM/Landsat-5, que foram geradas com o seguinte procedimento:

1 - Correção geométrica das imagens

Tendo em vista o objetivo do trabalho, de realizar um mapeamento temático, bem como integrar imagens

do Landsat em um sistema de informações geográficas, é necessário o uso de imagens corrigidas geometricamente.

O princípio da correção geométrica de imagens está no registro destas imagens a um documento cartográfico considerado padrão e que esteja na projeção cartográfica desejada. As imagens então assumem o sistema de coordenadas do mapa, sendo os pixels destas imagens endereçados à projeção cartográfica referida.

Assim sendo, as imagens foram registradas com cartas topográficas, escala 1:10.000, projeção UTM, através da utilização do programa Registro (imagem x mapa), implementado no software do SITIM/INPE.

Após a aplicação do programa foi avaliada a precisão do registro para as duas datas utilizadas, conforme análise do relatório fornecido pelo sistema.

2 - Correção atmosférica das imagens

A redução dos efeitos aditivos nas imagens digitais foi realizada com base no método do valor mínimo do histograma (Chavez Jr., 1975). Este método propõe a subtração, em toda a imagem, do menor valor digital encontrado em áreas que teoricamente teriam reflectância nula. Assim sendo utilizou-se o seguinte procedimento para aplicação do método:

- foram escolhidas áreas de água límpida e profunda, onde a reflectância teoricamente é zero;
- ampliou-se a área escolhida na relação 1:1, ou seja um "pixel" na imagem correspondendo a um "pixel" no vídeo do SITIM;

- determinou-se o menor valor do nível de cinza das áreas selecionadas, com a utilização do programa "Leitura de "pixel"";
- o menor valor encontrado foi subtraído de toda a imagem.

O procedimento mencionado foi aplicado nas bandas TM 3 e TM 4 referentes as duas passagens estudadas (21/01/86 e 17/08/86).

3 - Obtenção das imagens índice de vegetação

De acordo com as vantagens destacadas nas Seções 2.3 e 2.4, para gerar as imagens índice de vegetação foi utilizada a diferença normalizada com as bandas TM 3 e TM 4. Assim sendo, seguiu-se o seguinte procedimento:

$$\text{Banda C} = \text{ganho} \times \frac{(\text{Banda A} - \text{Banda B})}{(\text{Banda A} + \text{Banda B})} + \text{offset}$$

onde:

Banda C = imagem índice de vegetação

Banda A = TM 4

Banda B = TM 3

- A atribuição do valor arbitrário de ganho é necessária para que se defina como representar a imagem no vídeo do SITIM com relação a amplitude dos níveis de cinza.
- A atribuição do valor arbitrário de "offset" é necessária para que não ocorram valores negativos.

4 - Realce por ampliação linear de contraste

Esta técnica de processamento digital tem a finalidade de transformar a radiometria de uma imagem, fazendo-a ocupar toda a faixa possível de níveis de cinza, aumentando assim a variância dos dados e, conseqüentemente, o contraste da imagem. Esta técnica foi discutida por Dutra et al. (1981); Showengerdt (1983); Paradella (1983); Barbosa (1984) entre outros.

A técnica de realce aplicada nas imagens índice de vegetação foi a mais simples e comumente utilizada, ou seja, o contraste linear, que consiste em levar os níveis de cinza mínimo e máximo da imagem original aos extremos escuro (nível 0) e claro (nível 255), respectivamente. Todos os outros níveis de cinza da imagem são distribuídos linearmente entre os níveis 0 e 255.

5 - Transformação das imagens índice de vegetação em imagens temáticas

As imagens índice de vegetação foram submetidas ao programa "Fatiamento de Níveis de Cinza" implementado no SITIM-150/INPE, gerando-se uma imagem temática com 4 classes: caatinga densa, caatinga aberta, atividades agrícolas e água.

As imagens temáticas foram posteriormente submetidas ao programa "Uniformização de Temas" (UNITOT) implementado no SITIM-150/INPE. Este programa tem a finalidade de eliminar os pontos ruidosos existentes nas imagens, não localizados nos limites das classes. Maiores detalhes sobre este programa podem ser encontrados no Manual do usuário do SITIM-150 (ENGESPAÇO, 1987a).

6 - Entrada das imagens temáticas no SIG/INPE

As imagens índice de vegetação referentes às duas datas estudadas (21/01/86 e 17/08/86) após serem transformadas em imagens temáticas foram inseridas no SIG/INPE através do programa "Entrada de Imagens", disponível neste sistema. Cada imagem foi associada automaticamente a um plano de informação.

3.3.6 - INTEGRAÇÃO DOS DADOS

A) Primeira fase

Esta fase de integração dos dados tem como objetivo gerar o mapa de suscetibilidade à erosão, uma vez que foram integrados fatores relativamente invariáveis como erosividade, erodibilidade, declividade e litologia.

Para a sobreposição desses planos de informação foi utilizada uma função de cruzamento de PI's existente no SIG/INPE. Esta função, segundo o Manual do Sistema de Informações Geográficas (ENGESPAÇO, 1987b) cruza até 10 planos de informação através de operações "E" e "NÃO" entre as classes, sendo que as operações entre estas classes devem ser definidas através de um arquivo de regras. O arquivo definido para o cruzamento dos planos de informação está descrito no Apêndice B.

Levando-se em consideração que, particularmente no semi-árido nordestino, a declividade é o principal fator responsável para o desencadeamento dos processos erosivos (Brasil. MA. SNPA, 1978; Leprun, 1981) o arquivo de regras foi definido da seguinte forma:

- cada classe de declividade assumiu um grau de limitação por suscetibilidade à erosão:

suscetibilidade nula à erosão = classe de declividade 0 - 3%

suscetibilidade ligeira à erosão = classe de declividade 3 - 8%

suscetibilidade moderada à erosão = classe de declividade 8 - 20%

suscetibilidade forte à erosão = classe de declividade 20 - 45%

suscetibilidade muito forte à erosão = classe de declividade 45%

- à exceção das classes de declividade de 0 - 3% e 45%, as demais classes apresentam maiores limitações por suscetibilidade à erosão, se os outros fatores considerados de erodibilidade, erosividade e litologia forem desfavoráveis. Os fatores são considerados desfavoráveis quando representam maiores riscos para o desencadeamento dos processos erosivos.

Considerando-se que os fatores de erosão são multiplicativos, as regras adotadas para o cruzamento dos planos de informação foram baseadas nas seguintes associações de classes destes planos (Tabela 3.6)

b) Segunda fase

Esta fase de integração dos dados teve como objetivo gerar os mapas de risco de erosão, uma vez que integrou o mapa de suscetibilidade à erosão e os planos de informação de cobertura vegetal referentes às datas de 21/01/86 e 17/08/86.

O arquivo de regras definido para o cruzamento dos planos de informação está descrito no Apêndice B e baseou-se nas seguintes associações de classes do mapa de suscetibilidade à erosão e dos planos de informação de cobertura vegetal (Tabela 3.7).

TABELA 3.6

REGRAS ADOTADAS PARA A GERAÇÃO DO MAPA DE
SUSCETIBILIDADE À EROSÃO

Classes dos planos de informação litologia, erodibilidade e erosividade	Classes do mapa de suscetibilidade à erosão (associadas às classes de declividade)
baixo pot. hidrogeológico erosividade baixa erodibilidade baixa	nula, ligeira, moderada, forte e muito forte
alto pot. hidrogeológico erosividade baixa erodibilidade baixa	nula, nula, moderada, forte e muito forte
baixo pot. hidrogeológico erosividade média erodibilidade baixa	nula, moderada, moderada, forte e muito forte
baixo pot. hidrogeológico erosividade alta erodibilidade baixa	nula, moderada, forte, forte e muito forte
baixo pot. hidrogeológico erosividade baixa erodibilidade alta	nula, moderada, moderada, forte e muito forte
alto pot. hidrogeológico erosividade média erodibilidade baixa	nula, ligeira, moderada, forte e muito forte
alto pot. hidrogeológico erosividade baixa erodibilidade alta	nula, ligeira, moderada, forte e muito forte
alto pot. hidrogeológico erosividade alta erodibilidade baixa	nula, moderada, moderada, forte e muito forte
baixo pot. hidrogeológico erosividade média erodibilidade alta	nula, moderada, forte, forte e muito forte
alto pot. hidrogeológico erosividade média erodibilidade alta	nula, moderada, moderada, forte e muito forte
baixo pot. hidrogeológico erosividade alta erodibilidade alta	nula, moderada, forte, muito forte e muito forte
alto pot. hidrogeológico erosividade alta erodibilidade alta	nula, moderada, forte, forte e muito forte

TABELA 3.7

REGRAS ADOTADAS PARA A GERAÇÃO DOS MAPAS DE
RISCO DE EROSÃO

Classes do mapa de suscetibilidade à erosão e dos planos de informação de cobertura vegetal		Classes dos mapas de risco de erosão
suscet. nula à erosão	caat. densa	risco nulo de erosão
	caat. aberta	risco nulo de erosão
	atividades agrícolas	risco ligeiro de erosão
suscet. ligeira à erosão	caat. densa	risco nulo de erosão
	caat. aberta	risco ligeiro de erosão
	atividades agrícolas	risco moderado de erosão
suscet. moderada à erosão	caat. densa	risco ligeiro de erosão
	caat. aberta	risco moderado de erosão
	atividades agrícolas	risco forte de erosão
suscet. forte à erosão	caat. densa	risco moderado de erosão
	caat. aberta	risco forte de erosão
	atividades agrícolas	risco m. forte de erosão
suscet. muito forte à erosão	caat. densa	risco moderado de erosão
	caat. aberta	risco m. forte de erosão
	atividades agrícolas	risco m. forte de erosão

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - GERAÇÃO DOS PLANOS DE INFORMAÇÃO (PI's)

Convém salientar que a geração dos PI's e a entrada no Sistema de Informações Geográficas constitui um tipo de resultado obtido neste trabalho.

a) Declividade

Para a geração do plano de informação declividade os dados de isolinhas e pontos cotados foram inseridos no SIG/INPE, via mesa digitalizadora, conforme mostram as Figuras 4.1 e 4.2.

As amostras digitalizadas foram organizadas em um arquivo para possibilitar um acesso computacional mais rápido às amostras vizinhas mais próximas no espaço bidimensional.

Em seguida, foi criada uma grade regularmente espaçada de pontos a partir do conjunto de amostras digitalizadas no espaço 3D (Figura 4.3).

Através do programa "Refinar Grade Regular" foi obtida uma imagem geocodificada com valores de níveis de cinza de 0 a 255 (Figura 4.4). Esta imagem tem resolução de 30 x 30 metros e dimensão de 462 linhas x 461 colunas. A Figura 4.5 também mostra o modelo digital de terreno, com relevo sombreado.

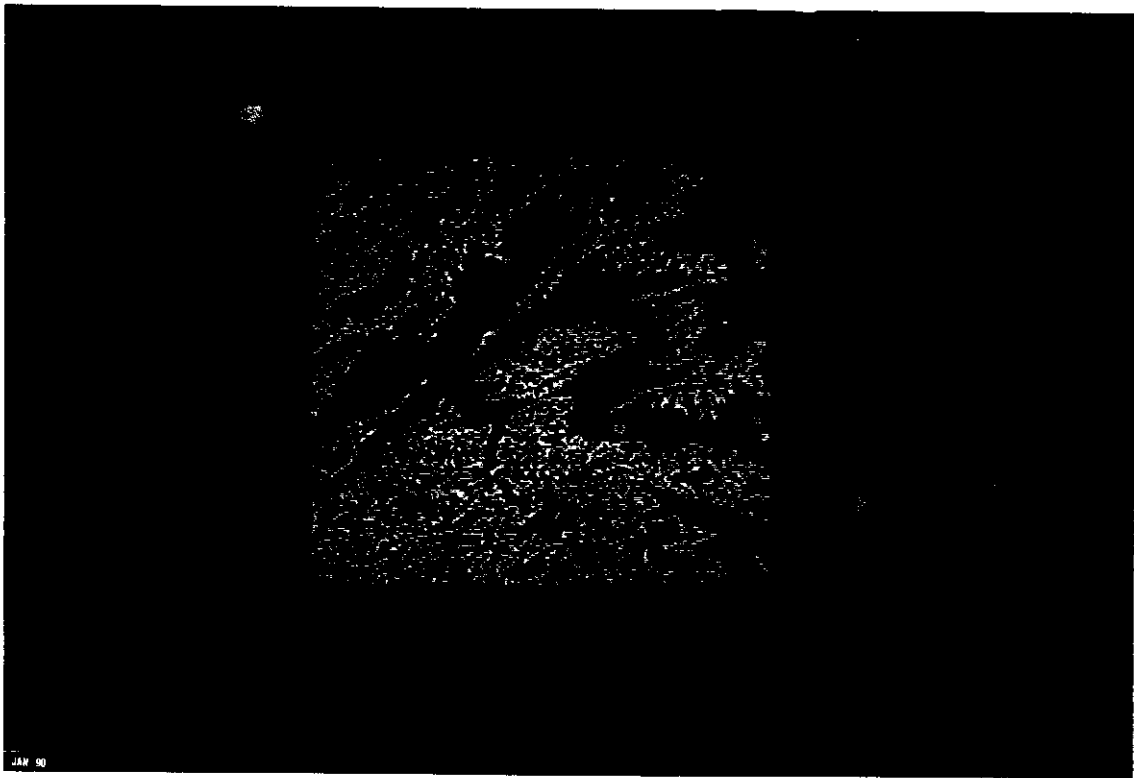


Fig. 4.1 - Dados de isolinhas utilizados para a geração do plano de informação declividade.

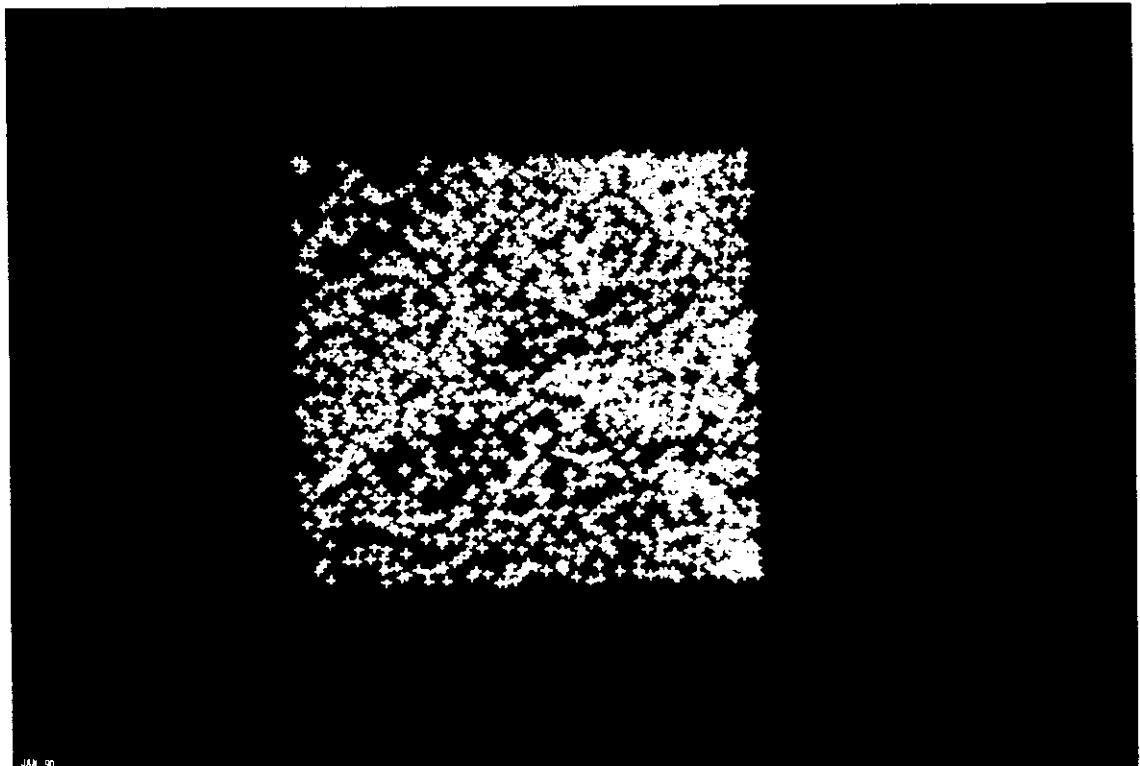


Fig. 4.2 - Dados de pontos cotados utilizados para a geração do plano de informação declividade.

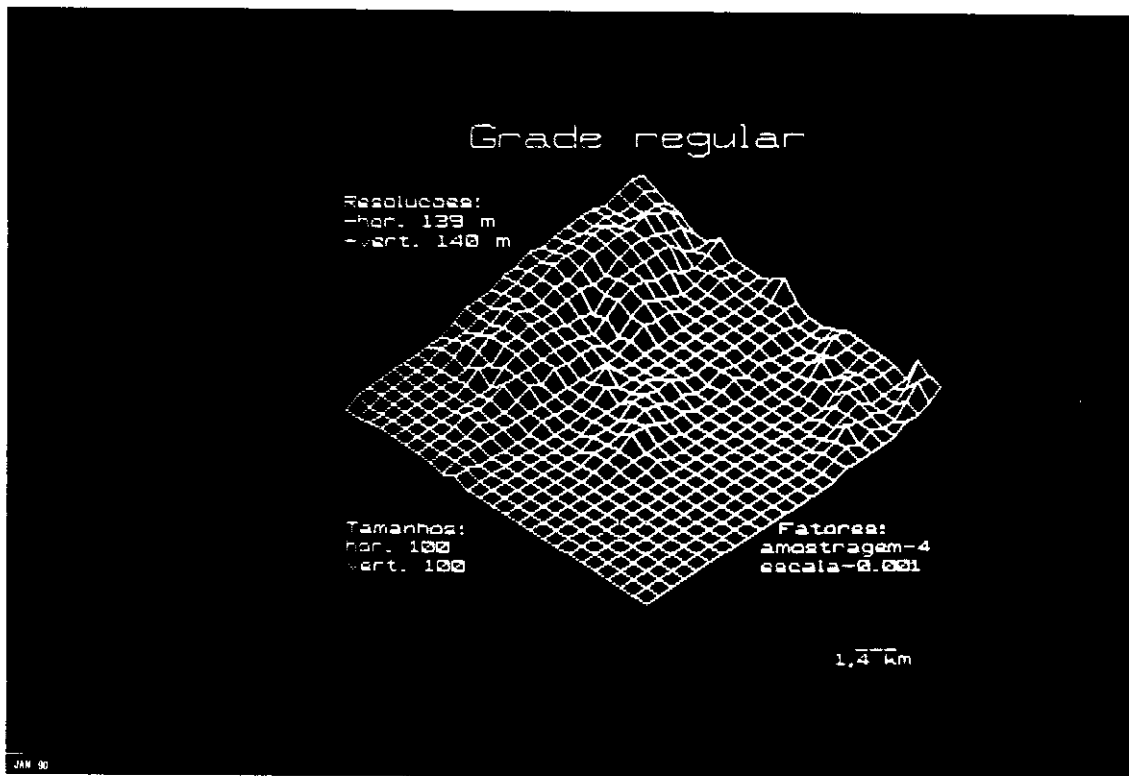


Fig. 4.3 - Grade regular referente ao plano de informação declividade.



Fig. 4.4 - Imagem geocodificada referente ao Modelo Digital de Terreno.

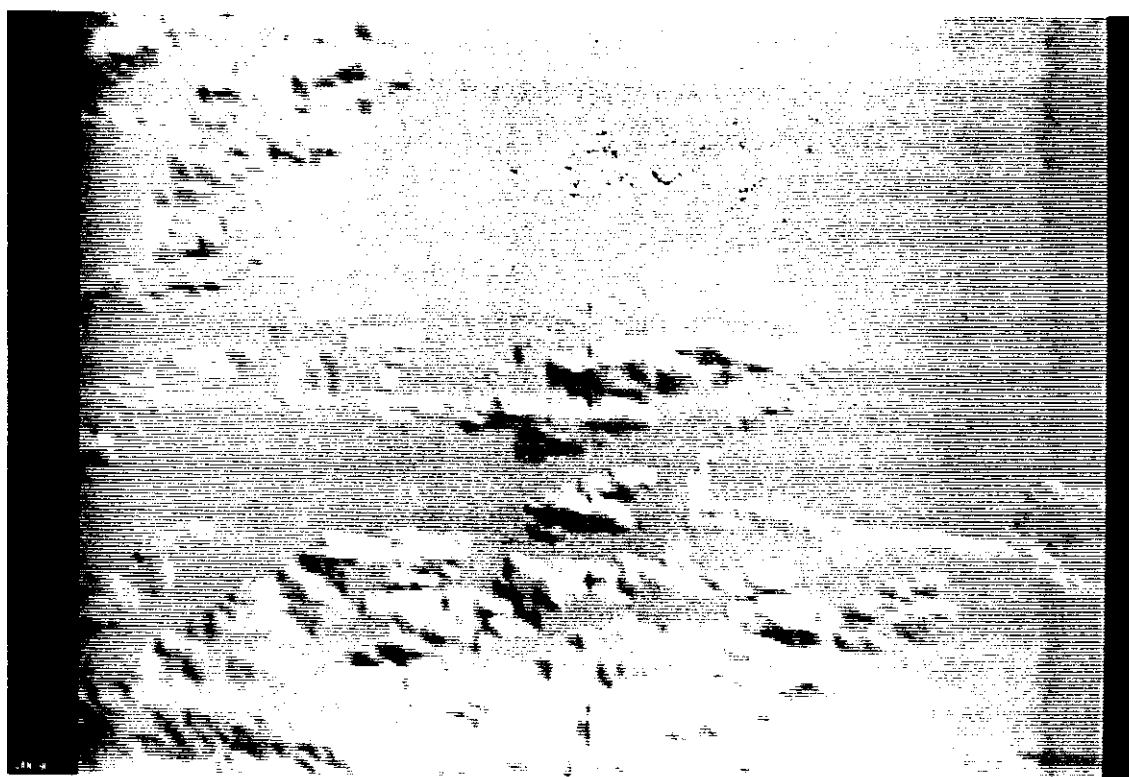


Fig. 4.5 - Modelo digital de terreno com relevo sombreado.

A grade refinada (formato varredura) foi submetida ao programa "Fatiar", que gera um plano de informação com regiões que agrupam classes de intervalos de cota de um Modelo Digital de Terreno (MDT).

Na geração do plano de informação declividade, os 256 níveis de cinza correspondentes ao Modelo Digital de Terreno no formato varredura, mapeiam o intervalo de 0 a 90 graus. Para o SIG/INPE a declividade representa o valor do ângulo da normal do terreno com respeito à uma linha vertical. Sendo assim, os valores correspondentes às classes de declividade definidas para o plano de informação correspondente tem que ser convertidos para "graus" e então fornecidos ao sistema para a geração do plano de informação declividade.

Na Tabela 4.1 estão descritas as classes de declividade definidas originalmente e os valores em "graus" para entrada no SIG/INPE.

Após definidas as classes foi utilizado o programa "Gerar declividade". Este programa gera a declividade correspondente a um MDT que representa o valor do ângulo da normal do terreno com respeito à uma linha vertical, conforme salientado anteriormente.

Foi realizada uma análise comparativa entre o plano de informação contendo as classes de declividade (Figura 4.6) obtidas pelo programa "Gerar declividade" e as curvas de nível digitalizadas (Figura 4.1), e observou-se que há uma relação entre a concentração das curvas de nível e o plano de informação declividade gerado a partir delas. Isto demonstra que a geração do plano de informação declividade através do Sistema de Informações Geográficas é satisfatória, considerando a escala utilizada (1:100.000).

TABELA 4.1

CLASSES DO PLANO DE INFORMAÇÃO DECLIVIDADE

CLASSES	PERCENTUAIS	GRAUS
1	0 - 3%	0 - 1,7
2	3 - 8%	1,7 - 4,6
3	8 - 20%	4,6 - 11,3
4	20 - 45%	11,3 - 24,2
5	> 45%	> 24,2

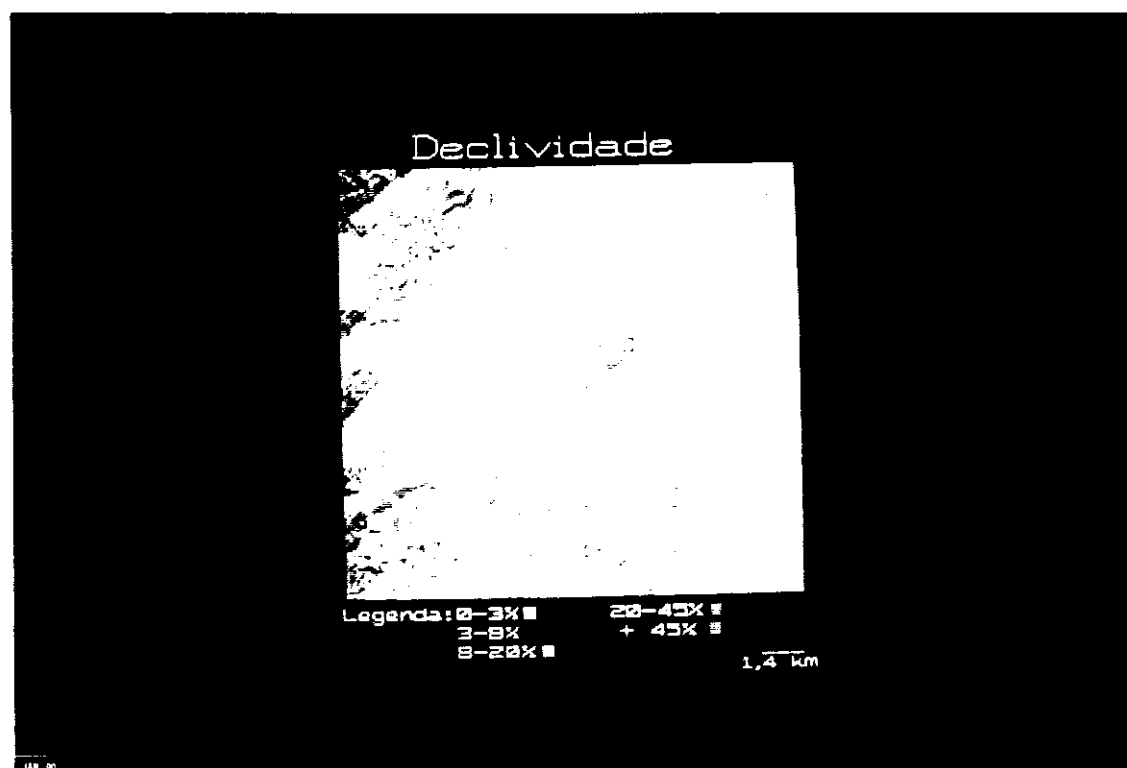


Fig. 4.6 - Plano de informação declividade.

O comportamento da declividade no plano de informação correspondente, está relacionado às curvas de nível existentes em um mapa topográfico na escala 1:100.000. Isto portanto, explica porque grande parte da área de estudo, que apresenta relevo plano ou quase plano, esteja incluída na classe de declividade de 0 - 3%.

Devido ao comportamento das curvas de nível digitalizadas na escala utilizada (1:100.000), onde o relevo encontra-se mais acidentado ocorrem áreas planas nos topos, com declives entre 0 e 3%.

B) Erodibilidade do solo

Este plano de informação foi elaborado com o objetivo de apresentar as características do solo como um fator interveniente nos processos de erosão. Por sua vez a erodibilidade (fator K de Wishmeier) é a propriedade que representa a suscetibilidade à erosão de cada tipo de solo e é condicionada pelas suas características peculiares.

Assim, conforme já salientado na Seção 3.3.5, item B, com base nos valores de erodibilidade obtidos por Silva et al. (1981), considerou-se que o solo Bruno Não Cálcico existente na área de estudo apresenta erodibilidade superior (0,20 fator erodibilidade) ao solo Litólico Eutrófico (entre 0,10 e 0,20 fator erodibilidade). A maior erodibilidade apresentada pelo solo Bruno Não Cálcico, segundo os autores acima citados está relacionada com maiores teores de areia muito fina mais silte existentes no horizonte superficial deste solo.

Tomando-se como referência um mapa de solos na escala 1:400.000, a área de estudo foi subdividida em duas classes:

- A) erodibilidade alta, representada pelo solo Bruno Não Cálculo.
- B) erodibilidade baixa, representa pelo solo Litólico Eutrófico.

A distribuição espacial dos referidos solos foi inserida no SIG/INPE, via mesa digitalizadora, no formato vetorial, como categoria área (Figura 4.7).

Os dados vetoriais foram convertidos para o formato varredura (imagem), (Figura 4.8) através do programa "Conversão vetor-varredura", com resolução de 30 x 30 metros e dimensão de 462 linhas x 461 colunas.

Os referidos solos existentes na área de estudo apresentam pequena espessura, são pouco desenvolvidos ou mesmo ausentes, conforme mostram as Figuras 4.9 e 4.10. Estas são características de solos desenvolvidos em regiões semi-áridas onde ocorre escassez de umidade em determinado período do ano em função da concentração das chuvas, dificultando o intemperismo e o consequente desenvolvimento dos solos.

A pequena profundidade apresentada por estes solos, bem como a existência sobre a superfície de uma camada de pedras de tamanho variado demonstra a influência exercida pela erosão, concentrada principalmente na época das chuvas, que remove partículas menores e deixa aquelas de maior tamanho.

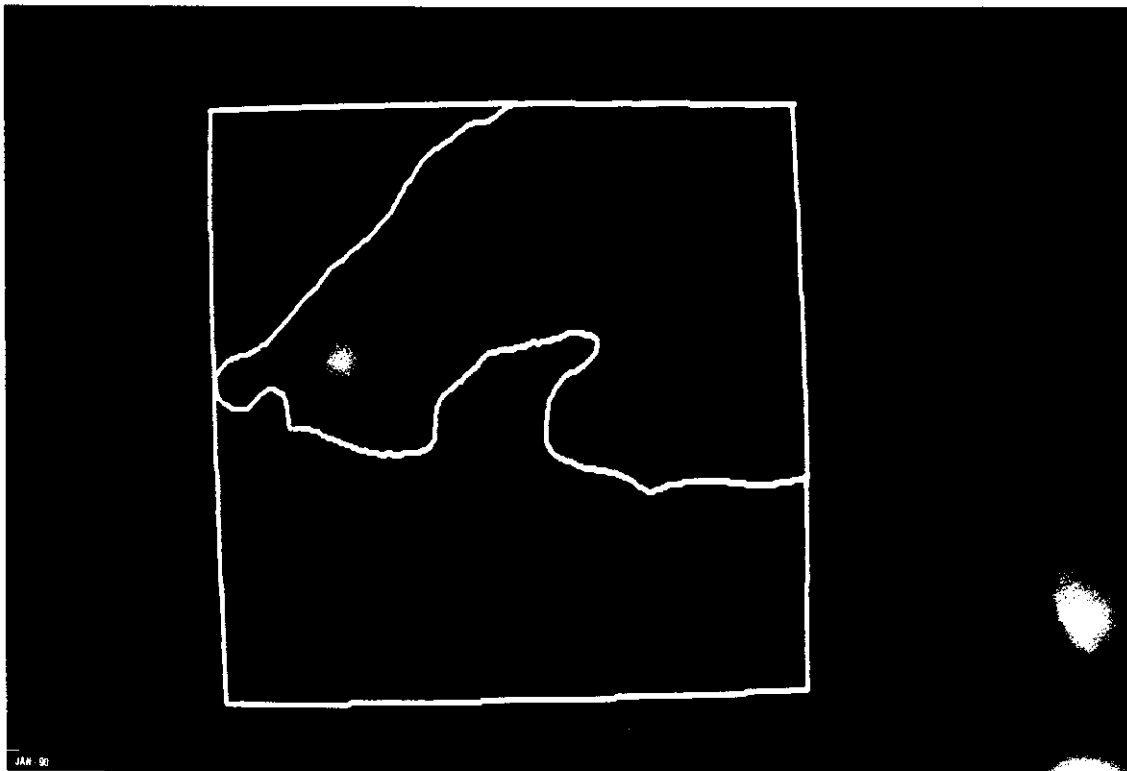


Fig. 4.7 - Plano de informação erodibilidade no formato vetorial.



Fig. 4.8 - Plano de informação erodibilidade no formato varredura.

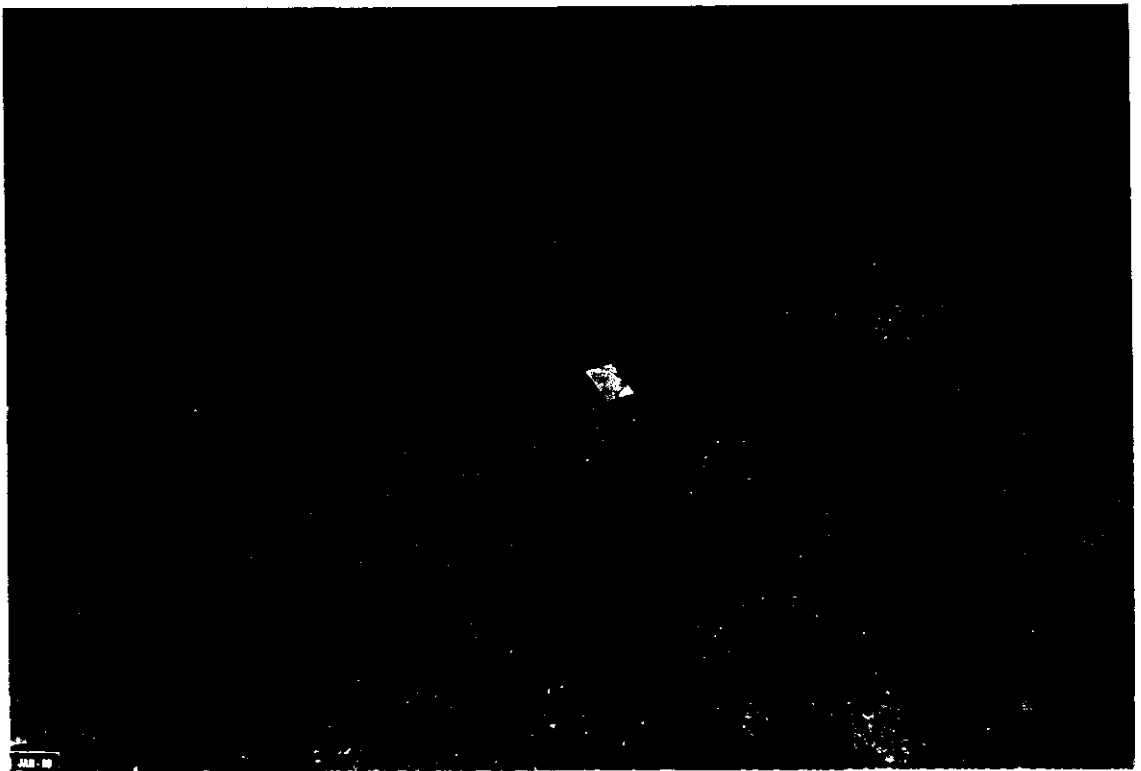


Fig. 4.9 - Perfil mostrado a pequena espessura do solo.



Fig. 4.10 - Perfil mostrado a pequena espessura do solo.

O solo Litólico Eutrófico ocorre em locais onde o relevo é muito movimentado, nos quais a velocidade da erosão é igual ou maior que a velocidade de transformação da rocha em solo, o que justifica seu fraco desenvolvimento.

O solo Bruno Não Cálcico, por sua vez, ocorre onde o relevo é pouco movimentado e portanto onde há condições mais propícias ao seu desenvolvimento.

Desta forma, constata-se que a ocorrência dos solos na área de estudo não depende dos litotipos aí existentes, mas dos processos morfogenéticos que ocorrem na região, característicos do domínio morfoclimático do semi-árido.

A maior erodibilidade apresentada pelo solo Bruno Não Cálcico pode estar relacionada a uma maior quantidade de materiais mais finos em seu horizonte superficial, conforme pode ser observado nas características de um perfil deste tipo de solo na área de estudo, mostrado na Tabela 3.4 e que concorda com a observação feita por Silva et al. (1981). Isto pode ser justificado pelo seu maior grau de desenvolvimento, particularmente em relação ao solo Litólico Eutrófico.

No que se refere aos processos erosivos existentes na área de estudo, verificou-se que o escoamento laminar ou difuso predomina em vertentes de fraco declive (Figura 4.11), enquanto nos declives fortes o escoamento é concentrado em talvegues individualizados dando origem a ravinas (Figura 4.12).



Fig. 4.11 - Ocorrência de escoamento difuso em terreno de fraco declive.



Fig. 4.12 - Ocorrência de escoamento concentrado em terre
nos de forte declive.

Devido a relação que há entre a distribuição dos solos existentes área de estudo e o relevo, observa-se que nas áreas de relevo fortemente ondulado ocorrem os menores valores de erodibilidade, referentes ao solo Litólico Eutrófico, por outro lado, nas áreas de relevo plano e rebaixado ocorre os maiores valores de erodibilidade, referentes ao solo Bruno Não Cálcico.

Independentemente das características apresentadas pelos solos, a cobertura vegetal exerce uma grande influência na proteção dos mesmos contra o desencadeamento dos processos erosivos. A vegetação mais densa que predomina nas áreas de relevo ondulado contribui, de certa forma, para proteger o solo Litólico aí existente, contra processos mais intensos. A existência, por outro lado, de vegetação mais aberta e da prática de atividades agrícolas, bem como da existência de terrenos desprovidos de cobertura vegetal nas áreas de relevo plano, proporciona a ocorrência mais frequente da erosão do tipo laminar.

C) Erosividade da chuva

Este plano de informação foi gerado com objetivo de obter-se a informação espacial da capacidade potencial da chuva em causar erosão (erosividade da chuva). Para a geração do mesmo, inicialmente foram obtidos os valores de precipitação pluviométrica média anual de um período de 44 anos referentes às estações meteorológicas mais próximas da área de estudo (Aguiar, Itaporanga, Piancó e Serra Grande - Figura 3.5), conforme mostra a Tabela 4.2.

Em seguida, foram obtidos os valores da erosividade média anual referente às quatro estações meteorológicas, conforme mostra a Tabela 4.3.

Os dados de erosividade foram plotados em uma carta na escala 1:100.000. As linhas de mesmo valor de erosividade, traçadas manualmente, foram referentes aos valores de 550 e 600 (fator erosividade). A área de estudo foi então subdividida em três classes:

- abaixo de 550 - erosividade baixa,
- entre 550 e 600 - erosividade média,
- acima de 600 - erosividade alta.

Os dados da distribuição espacial da erosividade foram inseridos no SIG/INPE, via mesa digitalizadora, inicialmente no formato vetorial como mostra a Figura 4.13. Posteriormente, através do programa de Conversão vetor-varredura existente no módulo de conversão do SIG/INPE, foi obtida uma imagem (formato varredura) a partir dos dados vetoriais, com resolução de 30 x 30 metros e tamanho de 462 linhas x 461 colunas (Figura 4.14).

A distribuição da erosividade correlaciona-se com a da precipitação tanto no tempo como no espaço, pois constatou-se que os meses mais chuvosos são também aqueles em que aumenta a taxa de erosão e que nos locais de maior precipitação há maior poder erosivo das chuvas.

TABELA 4.2

VALORES DA MÉDIA DO TOTAL ANUAL DE PRECIPITAÇÃO
PLUVIOMÉTRICA EM MILÍMETROS, DAS ESTAÇÕES
METEOROLÓGICAS DE AGUIAR, ITAPORANGA
PIANCÓ E SERRA GRANDE

LOCALIDADE	PRECIPITAÇÃO MÉDIA ANUAL (mm)
Aguiar	838,4
Itaporanga	897,2
Piancó	932,1
Serra Grande	718,6

TABELA 4.3

CALORES DO FATOR R DE WISHMEIER (EROSIVIDADE MÉDIA
ANUAL) PARA AS ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS DE
AGUIAR, ITAPORANGA, PIANCÓ E
SERRA GRANDE

LOCALIDADE	FATOR R DE WISHMEIER (EROSIVIDADE DA CHUVA)
Aguiar	548,3
Itaporanga	596,4
Piancó	625,3
Serra Grande	452,9

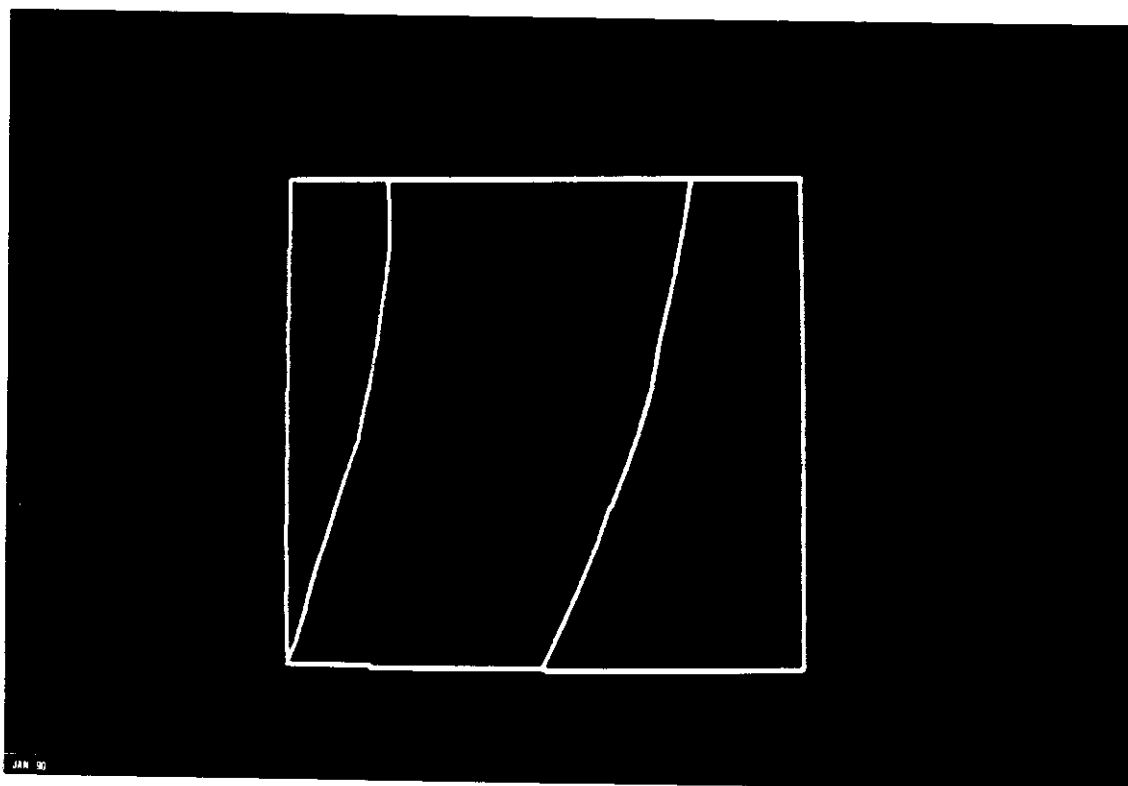


Fig. 4.13 - Plano de informação erosividade no formato vetorial.



Fig. 4.14 - Plano de informação erosividade no formato varredura.

Entre outros, os fatores climáticos explicam as paisagens existentes atualmente. Desta forma, exercem importante papel na esculturação do relevo através de processos, entre os quais estão aqueles diretamente relacionados aos processos erosivos, tais como o escoamento superficial das águas, sob as formas difusa, concentrada, etc.

A cobertura vegetal, geralmente mais densa nas áreas mais aguçadas do relevo, exerce importante papel na proteção do solo contra o poder erosivo das chuvas, e contribui para a relativa preservação deles nesta porção do terreno.

A ocorrência de maiores valores de erosividade onde o relevo apresenta-se predominantemente plano, confere aos solos menor suscetibilidade à erosão, em relação a áreas mais acidentadas. Em terrenos acidentados há maior tendência ao escoamento superficial, principalmente o concentrado.

Assim sendo, observa-se que embora a erosividade possa, individualmente, representar riscos significativos ao desencadeamento de processos erosivos, a contribuição de outros fatores como a declividade pode acentuar ou atenuar os efeitos causados pelo potencial erosivo da chuva.

D) Litologia

O plano de informação litologia foi gerado tendo em vista sua importância como fator interveniente nos processos erosivos, principalmente no semi-árido nordestino, onde os solos são pouco profundos e em alguns casos até inexistentes.

A equipe de geologia do Projeto RADAMBRASIL (1981), salientando que as características da água subterrânea, entre elas o volume, refletem o comportamento integrado dos fatores ambientais interferentes na trajetória da água, definiram o potencial hidrogeológico das diferentes litologias, baseados nos seguintes parâmetros: litologia, estratigrafia, solos, vegetação, geomorfologia, uso atual da terra, precipitação, excedente hídrico, infiltração e escoamento superficial.

O potencial hidrogeológico, então, exprime a capacidade que cada litologia tem, de permitir a infiltração da água.

No que se refere à área de estudo, os xistos e gnaisses apresentam maior potencial do que as rochas granitóides. Desta forma nas áreas de ocorrência dos xistos a água proveniente das chuvas tem maior possibilidade de infiltração do que nas rochas granitóides. Em virtude disto, nas áreas onde ocorre esta última litologia há maior suscetibilidade de escoamento superficial das águas havendo portanto maiores riscos de desencadeamento de processos erosivos, principalmente em terrenos de maior declive.

A ocorrência de falhas, fraturas e diáclases é um fator que também contribui para a maior ou menor infiltração da água nos diferentes litotipos. Assim sendo, rochas com baixo potencial hidrogeológico e apresentando número pequeno de fraturas tendem a ser mais resistentes ao intemperismo e dão origem a relevos aguçados. Por outro lado, rochas que apresentam maior potencial hidrogeológico e maior ocorrência de fraturas tendem a oferecer maior resistência ao intemperismo e

portanto podem ocorrer como superfície arrasada, plana ou suavemente ondulada.

Neste trabalho não foi verificada a existência de falhas, fraturas ou diáclases nos diferentes litotipos. Entretanto, de acordo com o exposto anteriormente, este é um fator que pode ser também considerado para a avaliação do potencial que cada litotipo apresenta no que diz respeito à infiltração da água.

Com base no mapa geológico da CPRM, escala 1:100.000, as referidas unidades litológicas foram inseridas, via mesa digitalizadora, no SIG/INPE, no formato vertical, como categoria área (Figura 4.15).

Em seguida, os dados vetoriais foram convertidos para o formato varredura (imagem) através do programa de "Conversão vetor-varredura", com resolução de 30 x 30 metros e dimensão de 462 linhas x 461 colunas (Figura 4.16).

Conforme análise que pode ser feita no plano de informação litologia e no Modelo Digital de Terreno, verifica-se que as rochas granitóides localizadas nas porções central e sul da área de estudo apresentam formas de relevo onduladas e fortemente onduladas.

Por outro lado, a ocorrência deste litotipo na porção nordeste da área de estudo não apresenta as mesmas características quanto ao relevo.

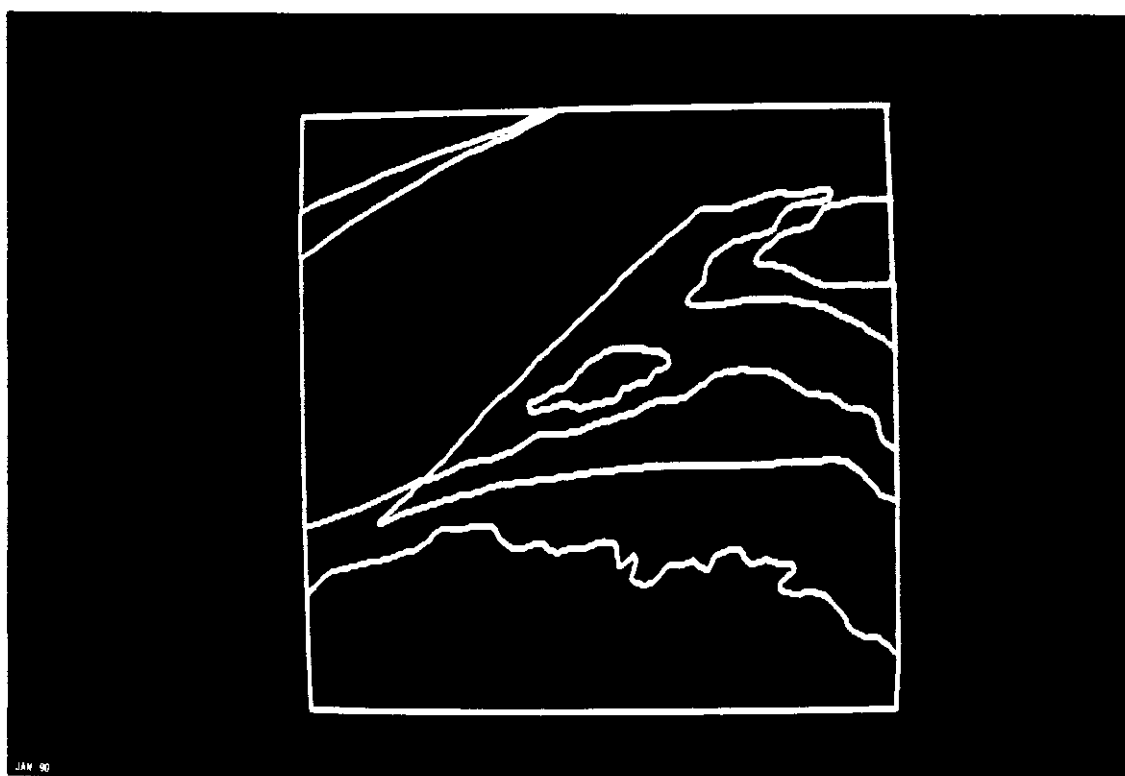


Fig. 4.15 - Plano de informação litologia no formato vetorial.

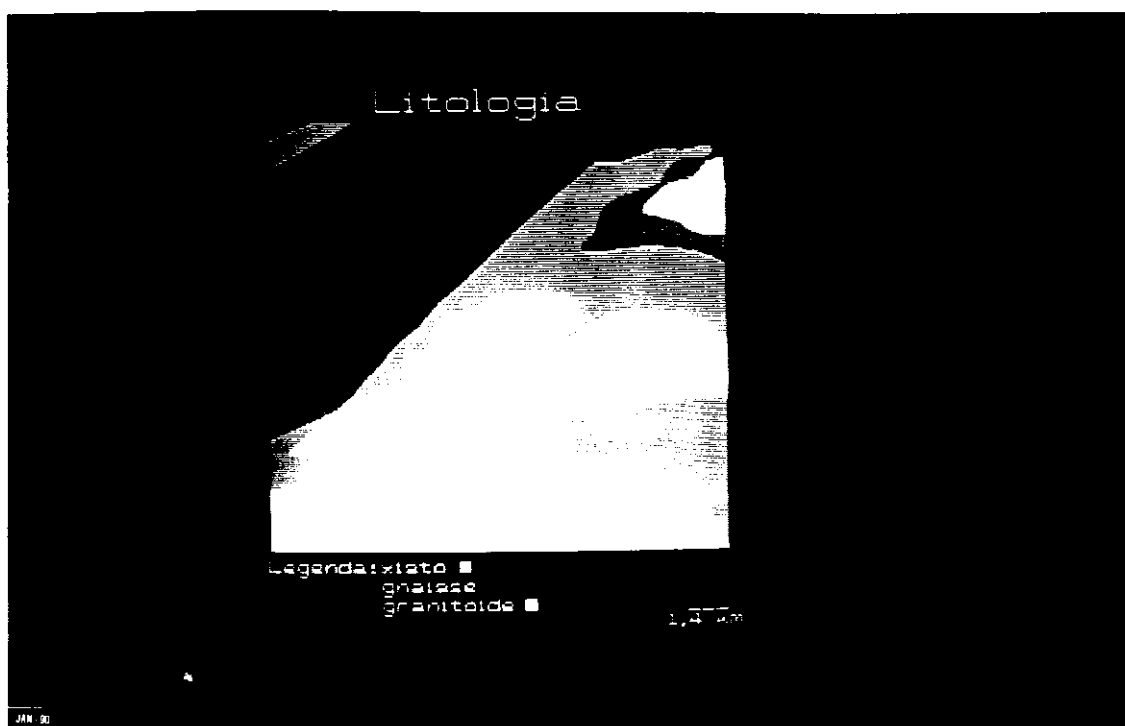


Fig. 4.16 - Plano de informação litologia no formato varredura.

As formas de relevo associadas aos litotipos xisto e gnaiss são também variadas, ocorrendo desde a superfície arrasada na porção norte da área de estudo, até a existência de cristas e "serrotes" na porção noroeste.

A origem destas formas de relevo, entretanto, deve estar associada, de certa forma, a influência das condições climáticas sobre as rochas, bem como à influência tectônico-estrutural.

As rochas granitóides, que caracterizam-se por serem duras, maciças e impermeáveis, quando apresentam-se menos diaclasadas originam formas de relevo aguçadas, representando saliências topográficas, como os inselbergues e os grandes maciços denominados localmente de "serras".

A ocorrência de um maior ou menor número de planos de diaclasamento nas rochas granitóides, pode provocar a sua desagregação, originando assim os chamados campos de pedras (matacões). Em consequência, tendem a constituir porções menos aguçadas do relevo.

As saliências topográficas representadas pelas cristas (Figura 3.2), que ocorrem nas áreas dos litotipos xisto e gnaiss, estão associadas geralmente a rochas quartzíticas, de grande resistência e homogeneidade.

E) Cobertura vegetal

Os resultados alcançados na obtenção das imagens digitais, que representam os planos de informação referentes à cobertura vegetal, serão descritos a seguir.

1) Correção geométrica das imagens

Foi realizada a correção geométrica das imagens referentes às passagens de 21/01/86 e 17/08/86, considerando-se como documento padrão, cartas topográficas na escala 1:10.000, projeção UTM.

Para tanto foi utilizado o programa "Registro" (imagem x mapa), implementado no Sistema de Tratamento de Imagens - SITIM.

Foram adquiridos 14 pontos de controle para ambas passagens, com o intuito de se determinar o coeficiente do polinômio a ser utilizado no mapeamento. Segundo Araújo e D'Alge (1986) o método mais comum de correção geométrica de imagens de satélite faz uso de um modelo polinomial, por ser mais simples e exigir um menor esforço computacional.

No programa "Registro", disponível no SITIM-150, existem apenas duas opções, os polinômios de 1º e 2º graus. O número mínimo de pontos de controle necessários para o cálculo do polinômio é maior, quanto maior for o grau do polinômio, sendo três pontos para o de 1º grau e seis para o de 2º.. Na prática, adquire-se um número maior de pontos e os coeficientes são obtidos empregando o método de ajuste dos mínimos quadrados.

No registro realizado foi utilizado o polinômio de 1º grau, uma vez que o de 2º grau é mais preciso apenas nas vizinhanças dos pontos de controle, não sendo nas regiões externas a esses pontos.

A precisão do registro, obtida para as duas passagens está descrita nas Tabelas 4.4 e 4.5 .

TABELA 4.4

RESULTADOS OBTIDOS NA CORREÇÃO GEOMÉTRICA
DE IMAGENS (21.01.86)

DATA : 21/01/86

ERRO INTERNO PARA OS PONTOS UTILIZADOS NO MAPEAMENTO:

HORIZONTAL : 0,246

VERTICAL : 0,279

TOTAL : 0,372

ERRO INTERNO PARA OS PONTOS NÃO UTILIZADOS NO MAPEAMENTO:

HORIZONTAL : 1,007

VERTICAL : 0,813

TOTAL : 1,294

RESÍDUO EM MÓDULO PARA CADA PONTO

PONTO	RESÍDUO EM X	RESÍDUO EM Y
1	0,3	0,9
2	0,0	1,2
3*	0,1	0,6
4	1,5	1,0
5*	0,2	0,1
6	0,8	0,4
7*	0,3	0,1
8	1,1	1,1
9	1,1	0,1
10*	0,2	0,2
11*	0,5	0,2
12*	0,1	0,2
13*	0,0	0,3
14	1,2	0,1

Obs.: Unidade = "pixel" do TM/Landsat-5 (30 m).

* = pontos utilizados no mapeamento.

TABELA 4.5

RESULTADOS OBTIDOS NA CORREÇÃO GEOMÉTRICA
DE IMAGENS (17.08.86)

DATA: 17/08/86

ERRO INTERNO PARA OS PONTOS UTILIZADOS NO MAPEAMENTO:

HORIZONTAL: 0,102

VERTICAL: 0,251

TOTAL: 0,271

ERRO INTERNO PARA OS PONTOS NÃO UTILIZADOS NO MAPEAMENTO:

HORIZONTAL: 0,629

VERTICAL: 0,989

TOTAL: 1,172

RESÍDUO EM MÓDULO PARA CADA PONTO

PONTO	RESÍDUO EM X	RESÍDUO EM Y
1	0,2	0,5
2	0,5	0,7
3*	0,0	0,1
4	0,0	1,7
5*	0,1	0,3
6*	0,2	0,3
7*	0,0	0,4
8*	0,1	0,3
9	0,5	0,8
10	0,7	0,5
11	1,3	0,0
12*	0,1	0,1
13*	0,0	0,1
14	0,4	1,6

Obs.: Unidade = "pixel" do TM/Landsat-5 (30 m).

* = pontos utilizados no mapeamento.

Foi selecionado um número grande de pontos de controle para que, em seguida, fossem escolhidos aqueles que apresentassem menores erros para a definição do coeficiente do polinômio, empregando-se o método de ajuste dos mínimos quadrados.

De acordo com os resultados obtidos, a precisão do registro pode ser considerada boa, principalmente em relação a precisão obtida, por exemplo, por Araújo e D'Alge (1986) que conseguiram um resultado de 232 metros de erro médio quadrático para um produto digital TM corrigido com polinômio de 10 grau.

As Figuras 4.17 e 4.18 mostram imagens da banda TM 3, geometricamente corrigidas, de 21/01/86 e 17/08/86, respectivamente. A deformação verificada na imagem é produzida pelo programa "Registro" apenas para fins de visualização e não afeta a imagem armazenada na memória do sistema.

Após a aplicação do registro, as imagens foram inseridas no SIG/INPE, e foram digitalizadas feições dos mapas originais (estradas) que serviram de documento padrão, com a finalidade de verificar se o resultado, do ponto de vista visual, estava compatível com o do relatório obtido. Verificou-se em ambas passagens que o resultado foi altamente satisfatório.

2) Correção atmosférica das imagens

As imagens referentes as duas passagens foram submetidas à correção atmosférica através do método do valor mínimo do histograma (Chavez Jr., 1975). Foram determinados os valores digitais apresentados na Tabela 4.5, como sendo efeitos aditivos em cada cena.

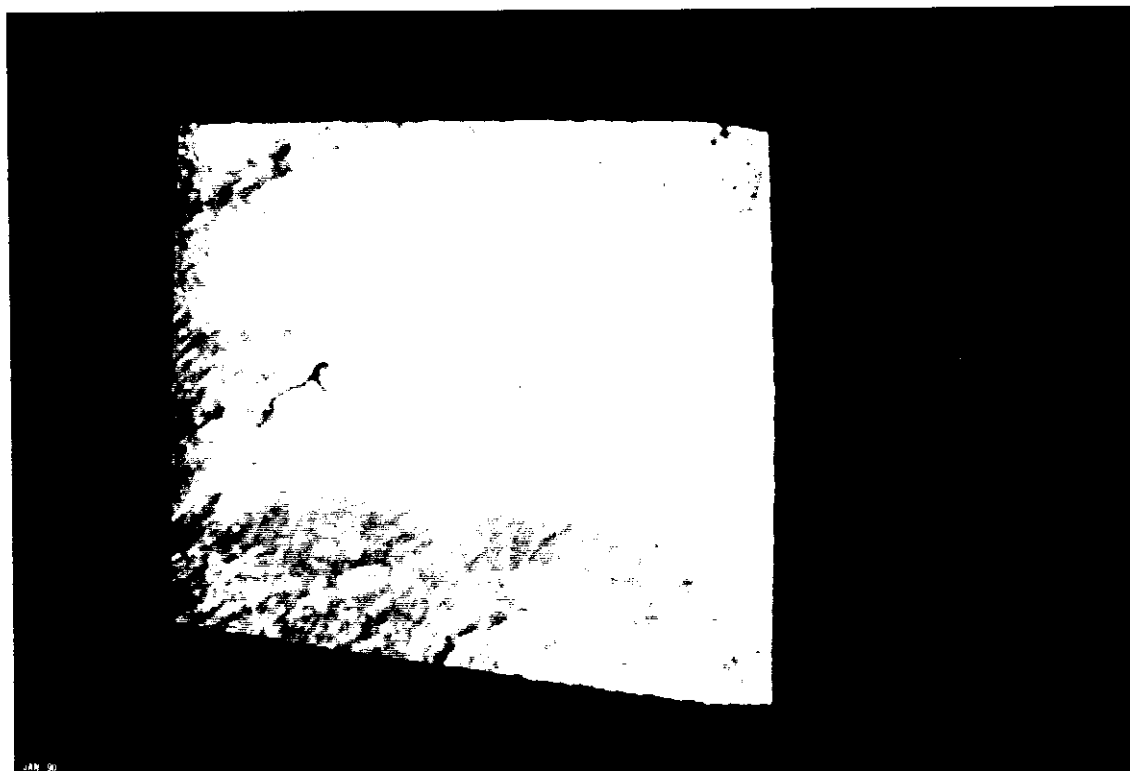


Fig. 4.17 - Imagem da banda TM 3, de 21.01.86 geométricamente corrigida.

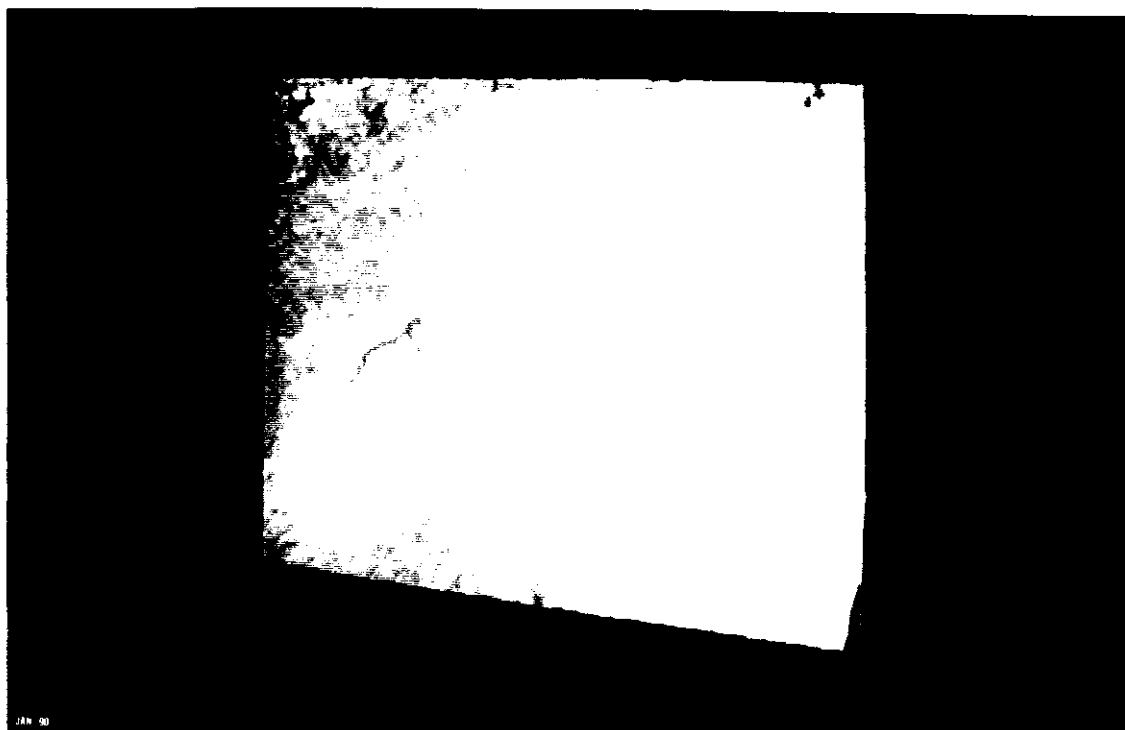


Fig. 4.18 - Imagem da banda TM 3, de 17.08.86 geometricamente corrigida.

A subtração desses valores das imagens, foi efetuada através do seguinte programa: Banda A = Banda A - constante, disponível no SITIM-150.

De acordo com os valores subtraídos de cada banda, o realce obtido foi mais perceptível na banda de menor comprimento de onda (TM 3), isto porque o efeito do retroespalhamento atmosférico diminui da região do visível para a região do infravermelho.

Efetuada a correção atmosférica as imagens estavam prontas para a aplicação do programa de Diferença Normalizada entre as bandas TM 3 e TM 4.

3) Obtenção das imagens índice de vegetação

Conforme análise visual preliminar das imagens e da realização de trabalho de campo, havia sido definida a legenda referente aos planos de informação de cobertura vegetal. A legenda definida contém 3 classes: caatinga densa, caatinga aberta e atividades agrícolas.

A obtenção dos planos de informação de cobertura vegetal, entretanto, estava condicionada à geração das imagens índice de vegetação, que são indicadores da densidade de cobertura vegetal.

Para a obtenção das imagens índice de vegetação referentes as duas passagens foram utilizados os valores de ganho e "offset" apresentados na Tabela 4.7.

TABELA 4.6

VALORES DIGITAIS OBTIDOS ATRAVÉS DO MÉTODO DO
VALOR MÍNIMO DO HISTOGRAMA

PASSAGEM	VALORES DIGITAIS	
	TM 3	TM 4
21/01/86	17	7
17/08/86	15	5

TABELA 4.7

VALORES DE GANHO E "OFFSET" UTILIZADOS PARA A OBTENÇÃO
DAS IMAGENS ÍNDICE DE VEGETAÇÃO

PASSAGEM	GANHO	"OFFSET"
21/01/86	3	75
17/08/86	3	75

Após várias tentativas foram definidos os referidos valores de ganho que proporcionaram a obtenção das imagens índice de vegetação com apenas seis valores de nível de cinza, sendo que três destes eram numericamente dominantes na imagem (Tabela 4.8), e que representam digitalmente as classes de cobertura vegetal anteriormente determinadas.

O valor de "offset" adotado serviu para centralizar o histograma das imagens, que em seguida foram submetidas ao realce por ampliação linear de contraste.

Considerando que, no caso específico da área de estudo, onde as práticas agrícolas de baixa tecnologia, dependentes de trabalho braçal e tração animal, não exercem influência importante nos processos erosivos, as imagens índice de vegetação podem ser utilizadas porque estimam um dos parâmetros mais importantes que exerce a cobertura vegetal nos processos erosivos, ou seja, a densidade de cobertura do solo.

4) Realce por ampliação linear de contraste

As imagens índice de vegetação quando geradas apresentavam-se com contraste extremamente baixo, comprometendo inclusive a visualização das classes nelas contidas.

Assim sendo, após verificados os respectivos histogramas as imagens foram submetidas à técnica de realce por ampliação linear de contraste. Os resultados estão nas Figuras 4.19 e 4.20.

TABELA 4.8

VALORES DOS NÍVEIS DE CINZA NAS IMAGENS
ÍNDICE DE VEGETAÇÃO

PASSAGEM	VALORES DOS NÍVEIS DE CINZA
21/01/86	0,5, 31*, 61*, 90, 116*
17/08/86	0,5, 34*, 66*, 98, 127*

* valores dos níveis de cinza numericamente dominantes.

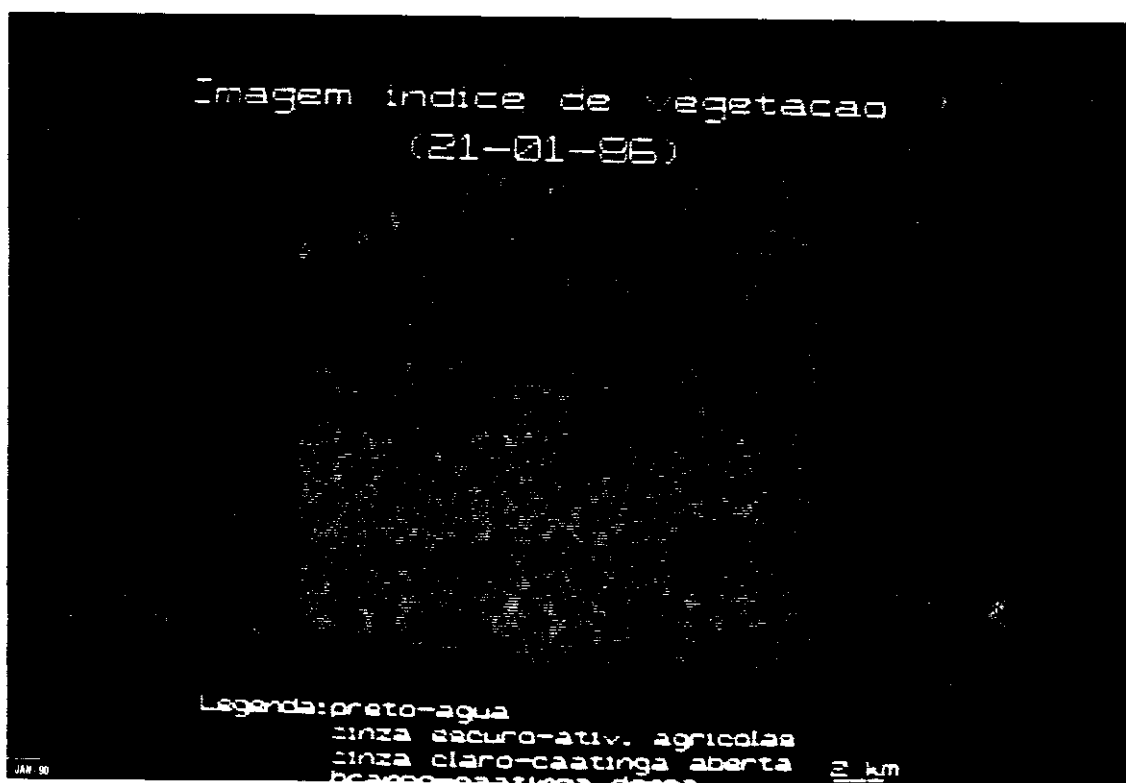


Fig. 4.19 - Imagem índice de vegetação referente à data de 21.01.86, submetida à técnica de realce por ampliação linear de contraste.

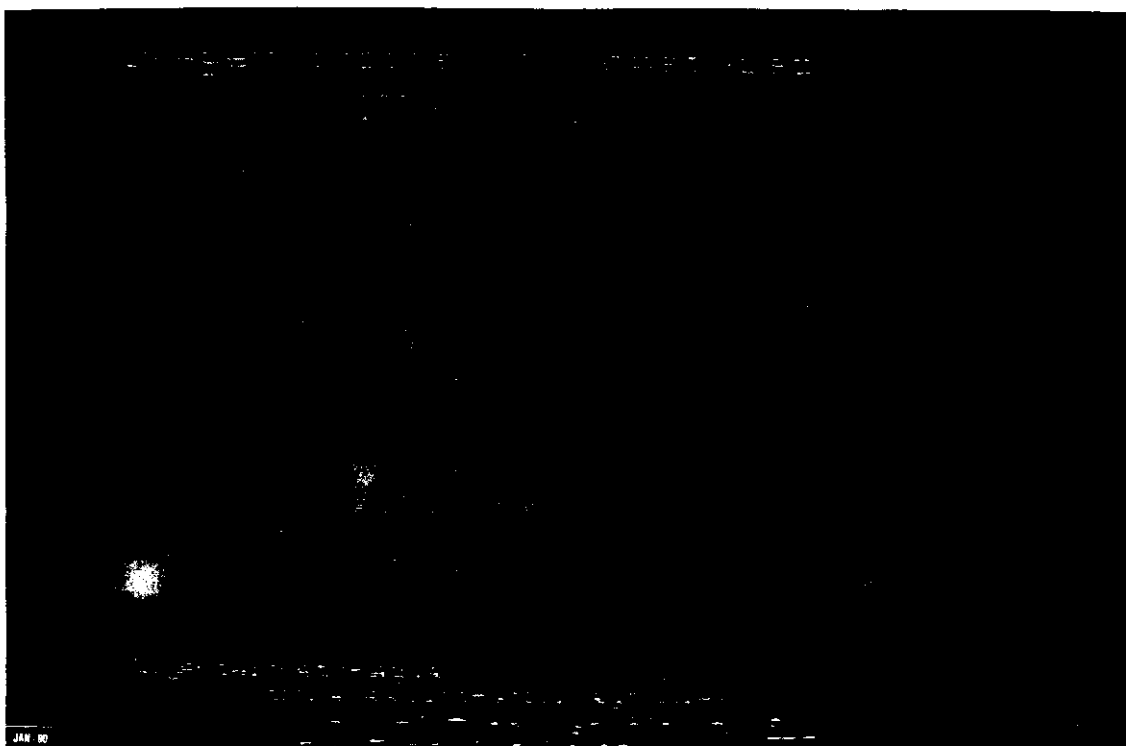


Fig. 4.20 - Imagem índice de vegetação referente à data de 17.08.86, submetida à técnica de realce por ampliação linear de contraste.

A geração das imagens índice de vegetação atendeu ao objetivo de obter informações sobre a densidade de cobertura do solo desempenhada pela vegetação. De acordo com os trabalhos de campo realizados, observa-se que nas áreas mais elevadas ocorre a vegetação do tipo caatinga densa, representada pela tonalidade mais clara nas imagens, que indica o maior índice de vegetação apresentado por este tipo de cobertura vegetal. As atividades agrícolas são representadas pela tonalidade cinza escuro, uma vez que apresentam menor índice de vegetação. Estas últimas são desenvolvidas nas áreas planas e próximas aos cursos d'água existentes (Figuras 4.21 e 4.22).

Convém salientar que para a área de estudo deste trabalho, onde ocorre uma fraca ocupação da terra com pequena diversificação de culturas e a predominância de um único tipo de vegetação, imagens que estimam apenas a densidade de cobertura do solo satisfazem ao objetivo do trabalho. O mesmo não ocorreria, provavelmente, para áreas onde houvesse intensa ocupação humana com grande diversificação de culturas e a ocorrência de grande diversidade de tipos de vegetação.

Observando a imagem índice de vegetação referente à passagem de 21.01.86, verifica-se grande percentual da área de estudo apresentando muito baixa densidade de cobertura vegetal. Isto justifica-se porque, com base no calendário agrícola da região, o período de dezembro à fevereiro de cada ano é destinado ao preparo do solo para o plantio, o que representa na maioria dos casos, a abertura de novos campos de cultivo através da total retirada da vegetação natural ou de antigas culturas (geralmente as de algodão) abandonadas em função da drástica redução na produtividade provocada pela exaustão do solo.



Fig. 4.21 - Área com ocorrência de caatinga densa na porção central da área de estudo.

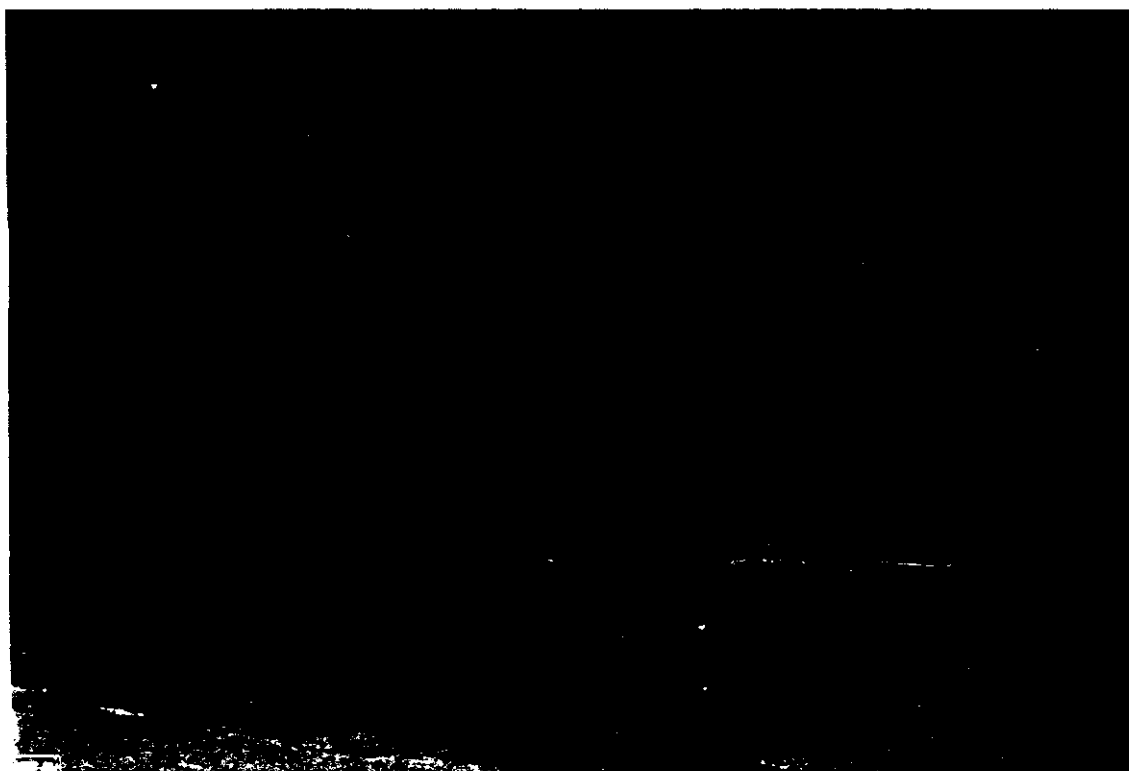


Fig. 4.22 - Área de cultura do algodão na porção mais plana da área de estudo.

No que se refere à imagem índice de vegetação referente à passagem de 17.08.86, verifica-se, com relação à imagem de janeiro, um menor percentual da área de estudo que apresenta muito baixa densidade de cobertura vegetal. Neste período do calendário agrícola regional, determinadas culturas tem alcançado um estágio avançado do seu desenvolvimento e portanto apresentam uma "boa" densidade de cobertura do solo.

Quanto à caatinga densa, verifica-se um menor percentual de ocorrência na passagem referente ao mês de agosto. Isto pode ser justificado pela redução da superfície foliar da vegetação como mecanismo de resistência das espécies de caatinga à carência d'água, que neste período do ano é bastante acentuada, conforme pode ser observado nas Figuras 3.6 a 3.9. Em consequência disto há um aumento significativo da área ocupada pela caatinga aberta.

5) Transformação das imagens índice de vegetação em imagens temáticas

Após submetidas à técnica de realce por ampliação linear de contraste, as imagens índice de vegetação foram submetidas ao programa "Fatiamento de Níveis de Cinza", disponível no SITIM-150.

Os limiares adotados para a definição das classes das imagens temáticas estão descritos na Tabela 4.9.

TABELA 4.9

LIMIARES DOS NÍVEIS DE CINZA E CLASSES DEFINIDAS
NAS IMAGENS TEMÁTICAS

PASSAGEM	LIMIARES	CLASSES
21/01/86	0 - 0 5 - 31 61 - 61 90 - 116	água atividades agrícolas caatinga aberta caatinga densa
17/08/86	0 - 0 5 - 34 66 - 66 98 - 127	água atividades agrícolas caatinga aberta caatinga densa

Os seis valores de nível de cinza utilizados para o fatiamento de ambas as passagens são exatamente os que constam do histograma de cada imagem, após o realce de contraste, e que foram citados no item E.3.

Em seguida, nas imagens temáticas obtidas, foi utilizado o programa "Uniformização de Temas" (UNITOT) disponível no SITIM-150 que eliminou ruídos gerados na classificação (Figuras 4.23 e 4.24).

6) Entrada das imagens temáticas no SIG/INPE

As imagens índice de vegetação após serem transformadas em imagens temáticas foram inseridas no SIG/INPE através do programa entrada de imagens. Automaticamente cada imagem passou a representar um plano de informação no formato varredura. Para cada imagem foi criado, também automaticamente, um arquivo tabela onde constam as informações sobre as classes existentes nas imagens.

4.2 - INTEGRAÇÃO DOS DADOS

a) Primeira fase (geração do mapa de suscetibilidade à erosão)

O mapa de suscetibilidade à erosão obtido com a integração dos planos de informação erodibilidade, erosividade, declividade e litologia pode ser visto na Figura 4.25.

Analizando o mapa de suscetibilidade à erosão, observa-se que as classes nele contidas estão relacionadas com as classes de declividade, conforme foi definido no arquivo de regras usado para gerá-lo.

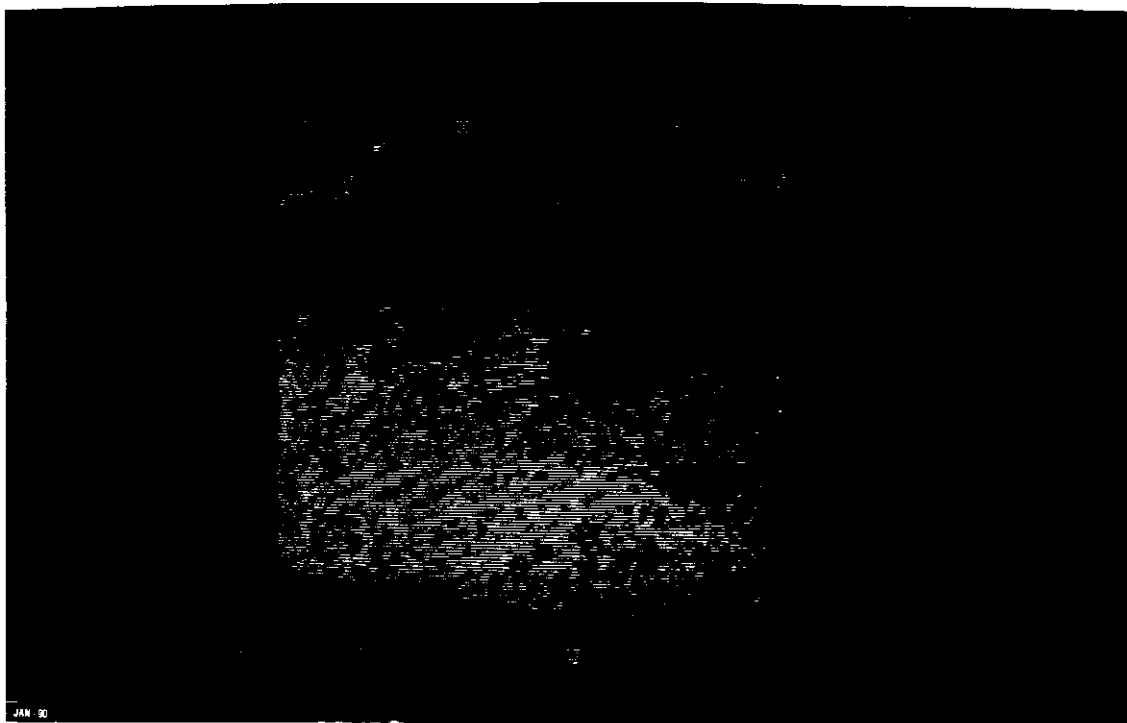


Fig. 4.23 - Imagem índice de vegetação de 21.01.86 transformada em imagem temática e submetida ao programa Uniformização de Temas.

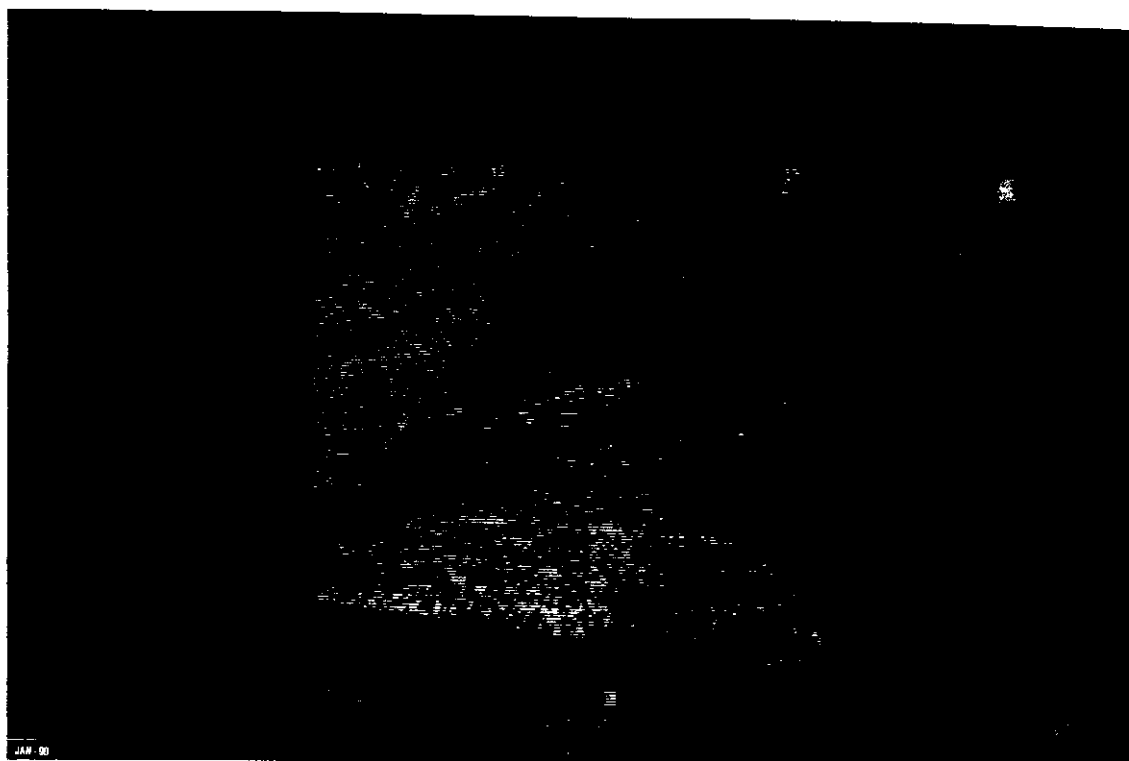


Fig. 4.24 - Imagem índice de vegetação de 17.08.86 transformada em imagem temática e submetida ao programa Uniformização de Temas.



Fig. 4.25 - Mapa de suscetibilidade à erosão.

O mapa foi gerado desta forma uma vez que a declividade foi considerada o fator mais importante para o desencadeamento dos processos erosivos. Nesse sentido, embora os outros fatores considerados contribuam para a ocorrência da erosão do solo, o fator declividade exerce influência decisiva, inclusive devido a existência de fortes declives na área de estudo.

Stocking (1972) e Pinto (1982), levando em consideração parâmetros do relevo e de cobertura vegetal/uso da terra salientam que a declividade é o fator que mais se correlaciona com problemas de intensidade de erosão.

No caso específico da área de estudo, conforme foi observado em campo e como salientam Brasil.MA.SNPA (1978) e Leprun (1981), o fator declividade assume papel de destaque como desencadeador dos processos erosivos. Dessa forma, quanto mais forte o declive, maiores são as limitações por suscetibilidade à erosão apresentada pelo terreno.

Assim sendo, os terrenos com declives entre 0 - 3%, independentemente da influência exercida pela erodibilidade, erosividade e litologia praticamente não são suscetíveis à erosão, uma vez que trata-se de relevo plano ou quase plano.

Em terrenos com declives superiores a 45% ocorre muito forte suscetibilidade à erosão, independentemente da influência dos fatores erodibilidade, erosividade e litologia. São áreas localizadas nas vertentes íngremes das formas de relevo aguçadas.

Terrenos com declives entre 3 e 8%, 8 e 20% e, 20 e 45% apresentam respectivamente, ligeira, moderada e forte suscetibilidade à erosão. Entretanto, estes terrenos apresentam maiores limitações por suscetibilidade à erosão quando os outros fatores considerados erodibilidade, erosividade e litologias são desfavoráveis à conservação do solo.

Conforme foi salientado anteriormente sobre a relação que existe entre a distribuição das classes nos mapas de declividade e de suscetibilidade à erosão, observa-se que os terrenos não suscetíveis à erosão abrangem grande parte da área de estudo, correspondendo a um relevo plano ou quase plano. As demais classes de suscetibilidade à erosão apresentam-se espacialmente pequenas, em virtude do comportamento de algumas porções do relevo, que são bastante acidentadas.

Convém salientar que a metodologia adotada para a geração do mapa de suscetibilidade à erosão, assim como dos mapas de risco de erosão do solo, deveu-se aos tipos de dados disponíveis e à finalidade dos referidos mapas.

Desta forma, em função da disponibilidade de mapas temáticos com classes relativas de erodibilidade, erosividade e litologia, a sobreposição dos planos de informação foi realizada através de uma operação lógica, denominada de cruzamento, que representa, na prática, a intersecção dos planos de informação.

Os resultados apresentados pelos mapas de suscetibilidade à erosão, apesar de serem válidos, considerando-se que são resultados relativos, diferem quanto à disposição espacial das classes resultantes, dos

mapas obtidos, como exemplo, por Chrisman (1984), Pelletier (1985), Hession e Shanholtz (1988) e Ventura et al. (1988).

A elaboração de mapas de potencial de erosão pelos autores anteriormente citados, baseia-se na sobreposição de dados temáticos quantitativos, utilizando operações aritméticas, entre as quais a equação universal de perdas de solo. Os resultados apresentados por estes mapas são, portanto, absolutos.

A metodologia desenvolvida no presente trabalho apresenta a vantagem de ser extremamente rápida e prática.

B) Segunda fase (geração dos mapas de risco de erosão do solo)

Os mapas de risco de erosão do solo, referentes às passagens de 21/01/86 e 17/08/86 são mostrados nas Figuras 4.26 e 4.27, respectivamente.

Estes mapas de risco de erosão do solo mostram a influência que pode exercer a cobertura vegetal como um fator dinâmico, no desencadeamento dos processos erosivos.

Embora ocorram geralmente em terrenos planos, de pouca ou inexistente suscetibilidade à erosão, as áreas com práticas agrícolas e ocorrência de solo exposto provocam ligeiro risco de erosão, uma vez que exercem pequena ou nenhuma proteção ao solo por longo período de tempo.

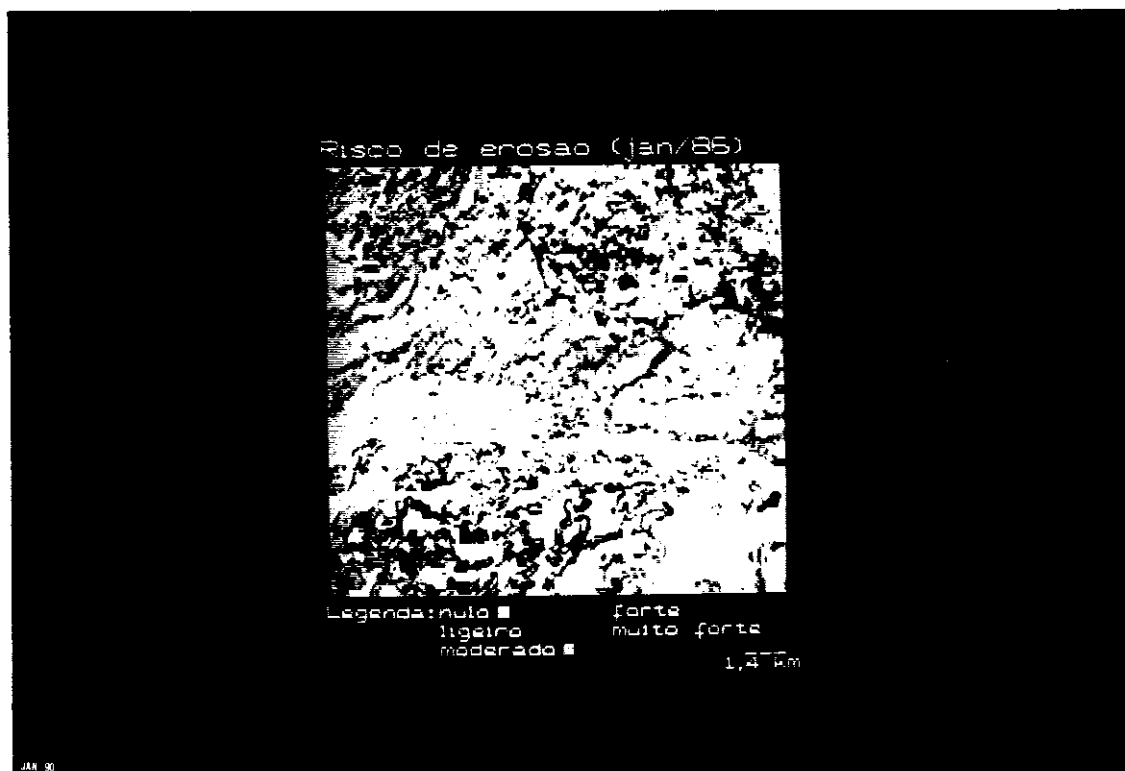


Fig. 4.26 - Mapa de risco de erosão do solo referente à passagem de 21.01.86.

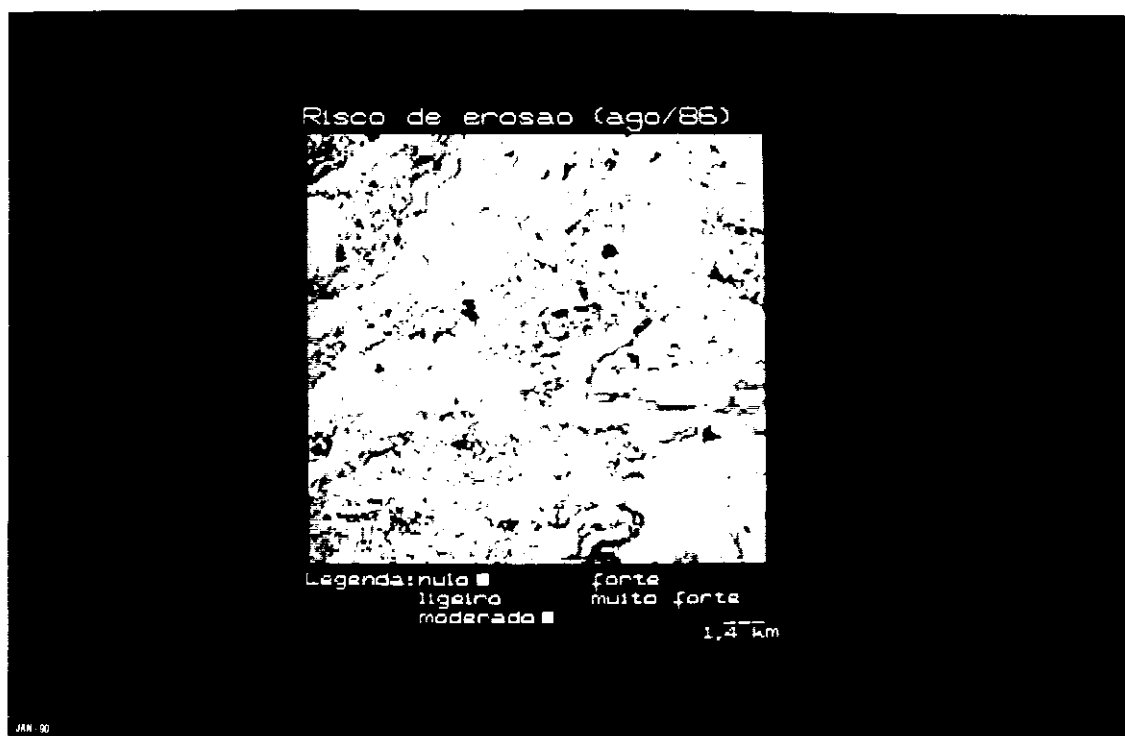


Fig. 4.27 - Mapa de risco de erosão do solo referente à passagem de 17.08.86.

A Figura 4.28 exemplifica a situação mencionada anteriormente, onde a existência de uma área com solo exposto em terreno plano permite a ocorrência de processos erosivos oriundos de escoamento superficial difuso.

A ocorrência de caatinga aberta e densa em terrenos planos, de inexistente suscetibilidade à erosão, faz com que não haja risco de erosão do solo nestas áreas, embora a vegetação de caatinga aberta não exerça grande proteção do solo.



Fig. 4.28 - Área de solo exposto com a ocorrência de ero
são laminar severa.

Nas áreas de declives mais fortes, onde existe maior suscetibilidade à erosão, geralmente ocorre a vegetação de caatinga densa, que proporciona grande proteção ao solo.

Estes fatores podem justificar a relativa boa conservação dos solos na área de estudo, como foi verificado nos trabalhos de campo, apesar destes serem rasos e apresentarem baixa tolerância de perda de seus materiais constituintes, o que ratifica os comentários realizados por Leprun (1981) a este respeito.

Os riscos muito fortes de erosão do solo existem em áreas onde há muito forte suscetibilidade à erosão e ao mesmo tempo onde ocorrem práticas de atividades agrícolas e a vegetação de caatinga aberta.

Conforme salienta Leprun (1981), os maiores riscos de erosão do solo na área de estudo ocorrem devido a prática de preparo do solo morro abaixo. Além disso, a prática das atividades agrícolas em áreas pouco favoráveis durante longo período de tempo (10 a 20 anos), resulta numa perda significativa do horizonte superficial dos solos, podendo torná-los impróprios para estas atividades, bem como exigindo práticas de controle de erosão que podem tornar-se de difícil execução e muito dispendiosas.

Vale salientar que a prática de uma agricultura tradicional, de cultivo manual ou de tração animal permite que de certa forma, os solos na área de estudo estejam relativamente protegidos contra a ocorrência de processos intensivos de erosão. Entretanto, a intensificação das atividades agrícolas associada à retirada indiscriminada da vegetação natural pode provocar o rápido desaparecimento dos solos.

Realizando uma análise comparativa entre os dois mapas de risco de erosão do solo, verifica-se que a classe de risco nulo à erosão aumenta significativamente de janeiro para agosto, principalmente na porção mais plana da área de estudo. Em janeiro os riscos de erosão são maiores nesta área, uma vez que existem muitos terrenos sendo preparados para o plantio e portanto totalmente desnudos. Os riscos tendem a ser inclusive maiores nesta época do ano em virtude do aumento dos índices de precipitação, como pode ser observado nas Figuras 3.6 a 3.9.

Na porção sul da área de estudo, onde ocorrem formas de relevo bastante movimentadas, as classes de maiores riscos de erosão aumentam de janeiro para agosto em virtude das características de menor densidade de cobertura do solo apresentada pelas espécies de caatinga, em função do período de escassez de umidade. Entretanto, vale salientar que os baixíssimos índices de precipitação observados neste período do ano permitem que estas áreas sejam, de certa forma, protegidas contra o desencadeamento dos processos erosivos.

Diante do exposto constata-se que os mapas de risco de erosão do solo se tornam extremamente necessários de serem elaborados durante o período de ocorrência dos mais elevados índices de precipitação, uma vez que neste período ocorrem as maiores taxas de perda significativa de solos nas áreas mais favoráveis à prática das atividades agrícolas. Ainda assim, a identificação de áreas de forte risco de erosão em locais pouco favoráveis, pode contribuir para evitar, não só a perda de solos, mas ao mesmo tempo o assoreamento de corpos d'água localizados nesta região.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES/CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 - CONCLUSÕES

Após o término do trabalho foi possível chegar-se as seguintes conclusões:

- A metodologia proposta neste trabalho permitiu a elaboração dos mapas de suscetibilidade e de risco de erosão do solo.
- A geração do plano de informação de declividade mostrou-se satisfatória, uma vez que foi possível a aquisição de grande número de pontos cotados nas cartas topográficas padrão, na escala 1:10.000. Assim sendo, o plano de informação apresentou bom resultado para a escala de 1:100.000, demonstrando o potencial que oferece o SIG/INPE na geração deste tipo de documento na escala mencionada.
- A obtenção das imagens índice de vegetação mostrou-se satisfatória, uma vez que permitiu definir o número desejado de classes de cobertura vegetal definidos através da análise visual dos produtos do TM/Landsat-5 e de trabalho de campo.
- A integração de dados através do programa "Cruzar" permite que sejam efetuadas quaisquer mudanças no arquivo de regras, possibilitando a aquisição de novas classes no mapa resultante de forma muito prática e rápida. Isto se tornaria mais difícil no caso de mapas em papel ou overlay.

- O cruzamento de informações de cobertura vegetal (obtidas de imagens de satélite) e de suscetibilidade à erosão possibilita a geração de mapas de risco de erosão do solo, que fornecem informações sobre as áreas com potencial de ocorrência de processos erosivos.

5.2 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

A obtenção do mapa de suscetibilidade à erosão demonstrou que:

- 1) Para a integração de planos de informação com as classes não coincidentes, é necessária a elaboração de um arquivo de regras com todas as combinações possíveis entre as classes, para que não ocorram áreas sem informação no mapa resultante.
- 2) É possível integrar informações originalmente quantitativas, como são os casos da erodibilidade, erosividade e declividade com informações qualitativas, como no caso da litologia. Para tanto, torna-se necessário "fatiar" os valores em classes, atribuindo-lhes rótulos, como por exemplo, diferentes graus de limitação.
- 3) O mapa de suscetibilidade à erosão pode ficar armazenado no SIG/INPE, podendo ser integrado com outras informações, para gerar mapas derivados.

Levando-se em consideração a ocupação das terras como um fator dinâmico, as imagens de satélite se

constituem em importante fonte de dados para a geração dos mapas de risco de erosão do solo. Dessa forma, os dados orbitais possibilitariam que se dispusesse de informações sempre atualizadas sobre os riscos de erosão, permitindo a adoção de práticas conservacionistas nos locais onde apresentassem os maiores riscos.

Da forma como esta proposta a metodologia, sugere-se a aplicação para grandes áreas, de forma a utilizar o importante recurso da visão sinótica que oferece os dados de sensoriamento remoto orbital.

Poder-se-ia inclusive trabalhar com áreas correspondentes a cartas na escala 1:100.000. A entrada de dados poderia ser feita nesta escala e a saída, na tela do SIG/INPE ou Plotter, em escala menor.

Existem entretanto, limitações que devem ser levadas em consideração, que são:

- disponibilidade de pouco espaço de memória de computador para o armazenamento de grande número de informações;
- o problema da cobertura de nuvens nos dados de sistemas sensores óticos como TM e SPOT;
- a disponibilidade de informações de precipitação e erodibilidade dos solos.

Além disso, a metodologia da forma como está proposta neste trabalho sugere a elaboração de mapas de suscetibilidade e de risco de erosão com a existência de classes diferentes para uma mesma área, em função, por exemplo, dos tipos de solos e litotipos considerados.

Esta metodologia pode ser, entretanto, aplicada para qualquer área, levando-se em consideração a especificidade de cada uma para a elaboração do arquivo de regras adequado a ser utilizado no cruzamento dos dados.

Os mapas de suscetibilidade e risco de erosão do solo gerados neste trabalho, de acordo com os objetivos propostos, mostram-se úteis, principalmente no fornecimento de informações sobre os danos que pode sofrer a cobertura vegetal e as atividades agrícolas com a ocorrência da erosão além do que, fornece informações sobre áreas que merecem estudos mais detalhados sobre os processos erosivos.

Vale salientar que os resultados obtidos nos referidos mapas tendem a ser mais precisos se as informações da distribuição espacial das classes de solo, erosividade, litologia e cobertura vegetal estiverem na mesma escala.

No que se refere à declividade, sugerimos a elaboração manual do mapa, procurando, inclusive, conforme o método utilizado, obter classes de declividade espacialmente maiores, o que "melhoraria" consequentemente os resultados apresentados nos mapas de suscetibilidade e de risco de erosão do solo.

Para utilização efetiva, sugerimos que sejam avaliados, por parte de órgãos do Estado da Paraíba e Universidades, mapas mais atualizados de risco de erosão do solo.

Assim sendo, a metodologia proposta neste trabalho permitirá que Órgãos governamentais responsáveis pela proteção ambiental e pelo desenvolvimento e planejamento regional possam aplicá-la de forma efetiva.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AHLRICHS, J.S.; BAUER, M.E. Relation of agronomic and multispectral reflectance characteristics of spring wheat canopies. **Agronomy Journal**, 75(6):987-993, Nov./Dec. 1983.
- ALVES, D.S.; ERTHAL, G.J.; CÂMARA NETO, G.; FELGUEIRAS, C.A.; PAIVA, J.; OLIVEIRA, E.; DIAS, L.A.V.; GODOY JR., M.; ABRAHÃO, A. Sistemas de Informação Geográfica. In: CONGRESSO NACIONAL DE INFORMÁTICA, 21., Rio de Janeiro, 22-26 ago. 1988. **Anais**. Rio de Janeiro, SUCEU, 1988, v. 2, p. 915-920.
- AOKI, H.; SANTOS, J.R. dos **Estudos da vegetação do cerrado na área do Distrito Federal, a partir de dados orbitais**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto e Aplicações) - Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, maio 1980, 152 p. (INPE-1730-TDL/026).
- ARAÚJO, C.A.G.; D'ALGE, J.C.L. Correção geométrica de imagens: uma abordagem para o registro de imagens digitais TM/Landsat apoiado em cartas topográficas de grande e média escala. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 4., REUNION PLENARIA SELPER, 6., Gramado, 10-15 ago. 1986. **Anais**. São José dos Campos, INPE, 1986, p. 526-530.
- ATLAS CLIMATOLÓGICO DO ESTADO DA PARAÍBA. Universidade Federal da Paraíba, 1984.
- BARBOSA, M.P. **Tratamento automático de imagens**. São José dos Campos, INPE, fev. 1984. 56 p. (INPE-3001-MD/024).
- BERGSMA, E. Rainfall erosion surveys for conservation planning. **ITC Journal**, (2):166-174, 1983.

- BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. **Conservação do solo.** Piracicaba, Livroceres, 1985, 392 p.
- BERTONI, J.; PASTANA, F.I.; LOMBARDI NETO, F.; BENATI JR., R. **Conclusões gerais das pesquisas sobre conservação do solo no Instituto Agrônômico.** Campinas, Instituto Agrônômico, 1972, 56 p. (Circular, 20).
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Secretaria Nacional de Planejamento Agrícola - (Brasil.MA.SNPA). **Aptidão agrícola das terras da Paraíba.** Brasília, 1978. v. 3.
- _____. Ministério das Minas e Energia. Departamento Nacional da Produção Mineral. **Projeto Cachoeirinha: Relatório Final.** Recife, 1985. v. 2; Anexo 1, Folha Itaporanga.
- BRINCK, J.N. VAN DEN; BECK, R.; RIJKS, H. Thematic Mapping by satellite - A new tool for planning and management. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING FOR RESOURCES DEVELOPMENT AND ENVIRONMENT MANAGEMENT, 7., Enshed, Netherlands, Aug. 25-29, 1986. **Proceedings.** Rotterdam, A.A. Balkema, 1986, p. 93-95.
- CHAVEZ JR., P. Atmospheric, solar and MTF corrections for ERTS digital imagery. **American Society of Photogrammetry Convention,** Phoenix, AZ, Oct. 1975.
- CHRISMAN, W.R.; MEZERA, D.F.; MOYER, D.D.; NIEMANN JR., B.J.; SULLIVAN, J.G.; VONDEROHE, A.P. Soil erosion planning in Wisconsin: an application and evaluation of a multipurpose land information system In: ACSM-ASPRS ANNUAL CONVENTION, Washington, DC, Mar. 16-21, 1986. **Technical Papers.** Falls Church, VA, 1986, p. 240-249.
- COLWELL, J.E. Vegetation canopy reflectance. **Remote Sensing Environment,** 3(3):175-183, 1974.

DEGLÓRIA, S.D.; COLWELL, R.N. Characterization of Landat-4 TM and MSS image quality for interpretation of agricultural and forest. In: BARKER, J., ed. **Landsat-4 science investigations summary**. Maryland, NASA, July 1984, p. 98-99, v. 2. (NASA-CP 2326).

DYKSTRA, I.D.; SHEFFIELD, C.A.; EVETT, J.R. Evaluation of Landsat-4 Thematic Mapper Data as applied to geologic exploration: summary of results. In: BARKER, J., ed. **Landsat-4 Science Investigations Summary**. Maryland, NASA, July 1984, p. 103-108, v. 2. (NASA-CP 2326).

DUTRA, L.V.; SOUZA, R.C.M. DE; MITSUO II, F.A.; MOREIRA, J.C. **Análise automática de imagens multiespectrais**. São José dos Campos, INPE, ago. 1981. 40 p. (INPE-2212-MD/009).

ENGEL, J.L.; WEINSTEIN, O. Thematic Mapper: an overview. **IEEE Transaction on Geosciences and Remote Sensing**, GE-21(3):258-265, July 1983.

ENGESPAÇO. **Manual do usuário do Sistema de Tratamento de Imagens, SITIM-150**. São José dos Campos, 1987a.

Manual do usuário do Sistema de Informações Geográficas. São José dos Campos, 1987b .

EPIPHANIO, J.C.N.; FORMAGGIO, A.R. **TM/Landsat-5 Data to evaluate wheat and beam percent soil cover and leaf area index**. São José dos Campos, INPE, June 1988. 10 p. (INPE-4609-PRE/1332).

- FORESTI, C.; CREPANI, E.; MARTINI, P.R.; HERNANDEZ FILHO, P.; PINTO, S.A.F.; CARVALHO, V.C. Avaliação das imagens Landsat no reconhecimento de domínios naturais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 1., São José dos Campos, nov. 1978. **Anais.** São José dos Campos, INPE, 1981, p. 372-387.
- GATES, D.M. Physical and Physiological properties of plants. In: National Research Council. In: **Remote sensing with special reference to agriculture and forestry.** Washington, DC, National Academic of Sciences, 1970. p. 224-252.
- GAUSMAN, H.W. Leaf reflectance of wear infrared. **Photogrammetric Engineering**, 40(2):18-192, Feb. 1974.
- HERNANDEZ FILHO, P. **Metodologia da análise visual de dados de sensoriamento remoto - vegetação.** São José dos Campos, INPE, set. 1988. 24 p. (INPE-4696-MD/037).
- HESSION, W.C.; SHANHOLTZ, V.O. A Geographic Information System for Targeting nonpoint - source agricultural pollution. **Journal of Soil and Water Conservation**, 43(3):264-266, May-June 1988.
- HOFFER, R.M. Spectral characteristics of natural resource materials. In: Purdue University. **LARS, remote sensing and technology and applications.** Lafayette, 1972. (Short Course Outline).
- HUETE, A.R.; JACKSON, R.D.; POST, D.F. Spectral response of a plant canopy with different soil backgrounds. **Remote Sensing of Environment**, 17(1):37-53, 1985.
- JACCON, G. **As precipitações anuais da região paraibana: homogeneização e análise regional.** Recife, SUDENE, 1972. 92 p.

JACKSON, R.D.; SLATER, P.N.; PINTER JR., P.J.

Discrimination of grow and water stress in wheat by various vegetation indices through clear and turbid atmospheres. **Remote Sensing of Environment**, 13(3):187-208, July 1983.

KEECH, M.A. Soil erosion survey techniques. **Separata de Proceedings of Transactions of the Rhodesia Scientific Association**, 53:13-16, 1968.

KNIPLING, E.B.; LAURBERCK, P.F.; CRIST, E.P. Physical and Physiological basis for the reflectance on visible and near infrared radiation from vegetation. **Remote Sensing of Environment**, 1(3):155-159, 1970.

LEPRUN, J.C. **A erosão, a conservação e o manejo do solo no nordeste do Brasil: balanço, diagnóstico e novas linhas de pesquisa.** Recife, SUDENE, Departamento de Recursos Naturais, 1981. 105 p. (Brasil. SUDENE; Recursos de Solo, 15).

LOMBARDI NETO, F.; MOLDENHAUER, W.C. Erosividade da chuva: sua distribuição e relação com perdas de solo em Campinas, SP. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 3., Recife, 1980. **Anais.** Recife, SUDENE/UFRPE, 1981, p. 13-17.

LUCHIARI, A. **Avaliação de dados obtidos pelo TM/Landsat para implantação de projetos de colonização da microregião do Alto Purus, Estado do Acre.** Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, maio 1986. 78 p. (INPE-3907-TDL/226).

- MARBLE, D.F. Geographic Information Systems: an overview. In: PECORA SYMPOSIUM ON SPATIAL INFORMATION ON TECHNOLOGIES FOR REMOTE SENSING TODAY AND TOMORROW, 9., Sioux Falls, 1984. **Proceedings**. Silver Spring, IEEE Computer Society Press, 1984, p. 18-24.
- MEDEIROS, J.S. de **Desenvolvimento metodológico para a detecção de alterações da cobertura vegetal através da análise digital de dados do MSS-Landsat**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, maio 1986. 127 p. (INPE-4123-TDL/262).
- MELO, A.S.T. Uso do solo e vegetação atual. In: UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA. **Atlas Geográfico do Estado da Paraíba**. Joao Pessoa, UFPb, 1985, p. 48-53.
- MENDES, W. Relação entre os graus de limitações do uso do solo por suscetibilidade à erosão e às unidades de mapeamento de solo. **Revista Brasileira de Geografia**, 44(3):445-476, jul./set. 1982.
- MULDERS, M.A.; EPEMA, G.F. The Thematic Mapper: A new tool for soil mapping in arid areas. **ITC Journal**, (1):24-29, 1986.
- NICHOLAS, T.; MCCOLL, J. **Maps of soil erosion potential: and aid in land-use planning in range and wildlands**. California Agriculture, Mar. 1976. p. 12-14.
- NIERO, M.; NOVO, E.M.L. DE M.; CUSTÓDIO, P.; NASCIMENTO, M.A.M.; TOLLEDANO, N.S.A. **Projeto Amazonas: aplicação das técnicas de sensoriamento remoto para levantamento integrado dos recursos naturais do Amazonas**. São José dos Campos, INPE, mar. 1981. 65 p. (INPE-2019-NTE/166).

- NOVO, E.M.L. de M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações.** São Paulo, Edgard Blücker, 1989, 308 p.
- PARADELLA, W.R. **Discriminação das unidades litológicas no baixo vale do Curaçá (Bahia) através do realce por processamento digital de dados MSS/Landsat-3.** Tese (Doutorado) - Instituto de Geociências, São Paulo, 1983.
- PARAÍBA. Secretaria da Agricultura e Abastecimento. Comissão Estadual de Planejamento Agrícola - Pb. Zoneamento Agropecuário do Estado da Paraíba; Anexo de Pedologia. João Pessoa, 1978.
- PELLETIER, R.E. Evaluating nonpoint pollution using remotely sensed data in soil erosion models. **Journal of Soil and Water Conservation**, 40(4):332-335, July/Aug. 1985.
- PEREIRA, M.D.B.; BATISTA, G.T. **Correlação de fitomassa verde de campo cerrado com dados espectrais obtidos pelos sistemas MSS/Landsat e por radiometria de campo.** São José dos Campos, INPE, mar. 1985. 13 p. (INPE-3467-PRE/710).
- PINTO, S.A.F. **Utilização de técnicas de sensoriamento remoto para a caracterização de erosão do solo no sul do Estado de São Paulo.** Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, abr. 1983. 122 p. (INPE-2694-TDL/128).
- PROJETO RADAMBRASIL. **Levantamento de recursos naturais.** v. 23, Folha sb-24/25, Rio de Janeiro, DNPM, 1981.
- _____ v. 31, Folha SE-22, Rio de Janeiro, DNPM, 1983.

- RAO, D.P. Applied geomorphological mapping for erosion survey: the example of the Oliva basin, Calabria. **ITC Journal**, (3):341-351, 1975.
- RIPPLE, W.J. Landsat Thematic Mapper bands for characterizing fescue grass vegetation. **International Journal of Remote Sensing**, 6(8):1373-1384, 1985.
- SANTOS, A.P.; NOVO, E.M.L. de M. **Uso de dados do Landsat-1 na implantação, controle e acompanhamento de projetos agropecuários no sudeste da Amazônia Legal**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, jan. 1977. 207 p. (INPE-1044-TPT/056).
- SANTOS, A.P.; FORESTI, C.; NOVO, E.M.L. DE M.; NIERO, M.; LOMBARDO, M.A. **Metodologia de interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicações no uso da terra**. São José dos Campos, INPE, 1981. (INPE-2261-MD/016).
- SANTOS, A.P.; KUX, H.J.H.; SAUSEN, T.M.; BUENO, A.M.T.R.; SOUZA, L.F.A.E.; NUNES, J.S.D. **Mapeamento do uso da terra e da geomorfologia na área do Projeto Araporé, MS, através de dados do satélite Landsat**. São José dos Campos, INPE, nov. 1982. 77 p. (INPE-2564-RPE/423).
- SANTOS, J.R.; HERNANDEZ FILHO, P.; SHIMABUKURO, Y.E. **Metodologia de interpretação de dados de sensoriamento remoto e aplicações em vegetação**. São José dos Campos, INPE, ago. 1981. 59 p. (INPE-2215-MD/010).
- SATTERWHITE, M.B; HENLEY, J.P. Spectral characteristics of selected soils and vegetation in northern Nevada and their discrimination using band ratio techniques. **Remote Sensing of Environment**, 23(20):155-175, 1987.

- SAUSEN, T.M. **Estudo da dinâmica do alto rio São Francisco e reservatório de Três Marias, através de imagens MSS/Landsat.** Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto e Aplicações) - Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, out. 1981. 272 p. (INPE-2249-TDL/066).
- SAYAGO, J.M. Small scale erosion hazard mapping using Landsat information in the northwest of Argentina. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING FOR RESOURCES DEVELOPMENT AND ENVIRONMENT MANAGEMENT, 7., Enshede, Netherlands, Aug. 25-29, 1986. **Proceedings.** Rotterdam, A.A. Balkema, 1986, p. 669-674.
- SHOWENGERDT, R.A. **Techniques for image processing and classification in remote sensing.** New York, Academic Press, 1983.
- SILVA, I.F. DA; CHAVES, I. DE B.; MONTENEGRO, J.O. Erodibilidade dos solos do Estado da Paraíba. In: ENCONTRO NACIONAL DE PESQUISA SOBRE CONSERVAÇÃO DO SOLO, 3., Recife, 1980. **Anais.** Recife, SUDENE/UFRPE, 1981, p. 192-199.
- STOCKING, M.A. Relief analysis and soil erosion in Rhodesia using multivariate techniques. **Zeitschrift fur Geomorphologie**, 16(4):432-443, 1972.
- TROILER, L.S.; PHILLIPSON, W.P. Visual analysis of Landsat Thematic Mapper images for hydrologic land use and cover. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, 52(9):1531-1538, Sept. 1986.
- TUCKER, C.J.; SELLERS, P.J. Satellite remote sensing of primary production. **International Journal of Remote Sensing**, 7(11):1395-1416, 1986.

- UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA. Levantamento, Planejamento, Manejo e Uso da Terra da Região Semi-árida do Estado da Paraíba. Convênio BID/CNPq/UFPb. Campina Grande, 1988 (Trabalho em andamento).
- VALENZUELA, C.R.; BAUMGARDNER, M.F.; PHILLIPS, T.L. Soils an important component in a digital Geographic Information System. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING FOR RESOURCES DEVELOPMENT AND ENVIRONMENT MANAGEMENT, 7., Enshede, Netherlands, Aug. 25-29, 1986. **Proceedings**. Rotterdam, A.A. Balkema, 1986, p. 939-945.
- VALERIANO, D.M.; PEREIRA, M.D.B. **Relationships between spectral reflectance and phytomass of the ground layer community of neotropical savanna (cerrado)**. São José dos Campos, INPE, Ago. 1988. 10 p. (INPE-4635-PRE/1347).
- VALÉRIO FILHO, M.; HIGA, N.T.; CARVALHO, V.C. **Avaliação das imagens orbitais (Landsat-1) como base para levantamento de solos**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto e Aplicações) - Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, jul. 1976. 276 p. (INPE-912-TPT/030).
- VENTURA, S.J.; CHRISMAN, N.R.; CONNORS, K.; GUIDA, R.F.; MARTIN, R.W. A land information system for soil erosion control planning. **Journal of Soil and Water Conservation**, 43(3):230-233, May-June 1988.
- WILLIAMS, O.L.; IRONS, J.R.; MARKAM, B.L.; NELSON, R.P.; TOLL, D.L. Impact of Thematic Mapper sensor characteristics on classification accuracy. In: BARKER, J., ed. **Landsat-4 science investigations summary**. Maryland, NASA, July 1984, p. 93-97, v. 2. (NASA-CP 2326).

APÊNDICE A

FICHA DE CAMPO

I - DADOS DE IDENTIFICAÇÃO DO PONTO

N. DO PONTO:
LOCALIZAÇÃO:
ALTITUDE:
MUNICÍPIO:
DIA/MÊS/HORA:
OBSERVAÇÕES:

II - DADOS SOBRE TOPOGRAFIA

II.1 - SITUAÇÃO TOPOGRÁFICA _____

- A - TERRENO PLANO
- B - SUAVEMENTE ONDULADO
- C - CUME AGUDO (PICO, SALIÊNCIA, PONTA)
- D - ESCARPA (DESPENHADEIRO)
- E - CUME ARREDONDADO (COLINA, MORRO, CIMO, LOMBADA)
- F - RAMPA ÍNGRIME (TÁLUS)
- G - MEIA ENCOSTA
- H - TERRAÇO
- I - BAIXA ENCOSTA
- J - DEPRESSÃO ABERTA
- K - DEPRESSÃO FECHADA
- L - GRACIS OU PENDENTE SUAVE

II.2 - DECLIVIDADE _____

- A - 0 - 3%
- B - 3 - 5%
- C - 5 - 10%
- D - 10 - 20%
- E - 20 - 30%
- F - 30 - 45%
- G - + DE 45%

II.3 - FORMA PREDOMINANTE DAS VERTENTES _____

- A - RETILÍNEAS
- B - CONVEXAS
- C - CÔNCAVAS
- D - CÔNCAVO - CONVEXAS

III - DADOS SOBRE EROSÃO

III.1 - TIPO DE EROSÃO _____

- A - NÃO IDENTIFICADA
- B - LAMINAR
- C - EM VOÇOROCAS
- D - EM SULCOS

III.2 - ACUMULAÇÕES

- A - ACUMULAÇÃO RECENTE POR DEPOSIÇÃO DE COLÚVIO OU SEDIMENTOS DA EROSÃO
- B - ACUMULAÇÃO ANTIGA POR DEPOSIÇÃO DE COLÚVIO OU SEDIMENTOS DA EROSÃO
- C - ACUMULAÇÃO OU DEPOSIÇÃO DE SEDIMENTOS NOCIVA OU PREJUDICIAL ÀS EXPLORAÇÕES AGRÍCOLAS

D - ACUMULAÇÃO OU DEPOSIÇÃO DE SEDIMENTOS NOCIVA AOS
CORPOS D'ÁGUA

III.3 - FATORES QUE CONTRIBUEM PARA ACELERAR OU RETARDAR AS
FORMAS DE EROÇÃO:

IV - DADOS SOBRE USO DO SOLO

IV.1 - AGRICULTURA: - PERMANENTE: _____ PRODUTO: _____
- TEMPORÁRIA: _____ PRODUTO: _____

IV.2 - SISTEMA AGRÁRIO:

- ROTAÇÃO DE TERRAS:
- ROTAÇÃO DE PRODUTOS:
- ITINERANTE:

IV.3 - MANEJO:

IV.4 - SILVICULTURA: _____ ESPÉCIE _____

IV.5 - PASTAGEM: - NATURAL: _____ ESPÉCIE: _____
- CULTIVADA: _____ ESPÉCIE _____

IV.6 - DESTRUIÇÃO PARCIAL DA VEGETAÇÃO _____

- A - FOGO
- B - MACHADO
- C - COLETA DE LENHA, CARVÃO, ETC.
- D - RARA OU NULA

IV.7 - ATIVIDADE AGRÍCOLA NA ÁREA _____

- A - CULTIVADO 2 ANOS
- B - CULTIVADO ENTRE 2 E 5 ANOS
- C - CULTIVADO ENTRE 5 E 10 ANOS
- D - CULTIVADO 10 ANOS
- E - RARA OU NULA
- F - INDETERMINADA

V - DADOS SOBRE VEGETAÇÃO

V.1 - CATEGORIA DOS VEGETAIS DOMINANTES _____

- A - HERBÁCEO (H)
- B - LENHOSO BAIXO (B) 2 mts
- C - LENHOSO ALTO (LA) 2 mts
- D - VEGETAÇÃO RALA OU NULA

V.2 - REGULARIDADE DA ESTRUTURA _____

- A - EST. VERTICAL REGULAR E HORIZONTAL REGULAR
- B - EST. VERTICAL IRREGULAR E HORIZONTAL REGULAR
- C - EST. VERTICAL REGULAR E HORIZONTAL IRREGULAR
- D - EST. VERTICAL IRREGULAR E HORIZONTAL IRREGULAR

V.3 - FORMAÇÃO VEGETAL _____

- A - FORMAÇÃO SIMPLES DE LENHOSOS BAIXOS
- B - FORMAÇÃO SIMPLES DE LENHOSOS ALTOS
- C - FORMAÇÃO HERBÁCEA
- D - FORMAÇÃO COMPLEXA DE LENHOSOS ALTOS E LENHOSOS BAIXOS
- E - FORMAÇÃO COMPLEXA DE HERBÁCEOS E LENHOSOS ALTOS
- F - FORMAÇÃO COMPLEXA DE HERBÁCEOS E LENHOSOS BAIXOS
- G - FORMAÇÃO COMPLEXA DE HERBÁCEOS E LENHOSOS BAIXOS E LENHOSOS ALTOS

V.4 - GRAU DE ABERTURA DOS ESTRATOS PRINCIPAIS _____

- A - FECHADA (90%)
- B - POUCO ABERTO (75 A 90%)
- C - BASTANTE ABERTA (50 A 75%)
- D - ABERTO (25 A 50%)
- E - MUITO ABERTO (10 A 25%)
- F - EXTREMAMENTE ABERTO (5 A 10%)
- G - TOTALMENTE ABERTO (1 A 5%)

VI - MATERIAL FOTOGRÁFICO

- N. DA(S) FOTO(S):
- N. DO FILME:
- ORIENTAÇÃO:

APÊNDICE B

ARQUIVOS DE REGRAS

ARQUIVO DE REGRAS PARA OBTENÇÃO DO MAPA DE SUSCETIBILIDADE À EROSÃO

- a) nome do arquivo de regras - ca (cruzamento a)
- b) nome do plano de saída - susc (susctibilidade)

DECLARAÇÃO DOS PI's DE ENTRADA

= solo S; erodibilidade
= declividade D; declividade
= litologia L; litologia
= erosividade E; erosividade

CLASSES DO PI RESULTADO (SUSCETIBILIDADE)

* n = nula
* l = ligeira
* m = moderada
* f = forte
* mf = muito forte

DECLARAÇÃO DAS REGRAS DE CRUZAMENTO:

: n = L1 E1 S1 D1
: l = L1 E1 S1 D2
: m = L1 E1 S1 D3
: f = L1 E1 S1 D4
: mf = L1 E1 S1 D5
: n = L2 E1 S1 D1
: n = L2 E1 S1 D2

: l = L2 E1 S1 D3
: m = L2 E1 S1 D4
: mf = L2 E1 S1 D5
: n = L3 E1 S1 D1
: n = L3 E1 S1 D2
: l = L3 E1 S1 D3
: m = L3 E1 S1 D4
: mf = L3 E1 S1 D5
: n = L1 E2 S1 D1
: m = L1 E2 S1 D2
: m = L1 E2 S1 D3
: f = L1 E2 S1 D4
: mf = L1 E2 S1 D5
: n = L1 E3 S1 D1
: m = L1 E3 S1 D2
: f = L1 E3 S1 D3
: f = L1 E3 S1 D4
: mf = L1 E3 S1 D5
: n = L1 E1 S2 D1
: m = L1 E1 S2 D2
: m = L1 E1 S2 D3
: f = L1 E1 S2 D4
: mf = L1 E1 S2 D5
: n = L2 E2 S1 D1
: l = L2 E2 S1 D2
: m = L2 E2 S1 D3
: f = L2 E2 S1 D4
: mf = L2 E2 S1 D5
: n = L3 E2 S1 D1
: l = L3 E2 S1 D2
: m = L3 E2 S1 D3
: f = L3 E2 S1 D4
: mf = L3 E2 S1 D5
: n = L3 E1 S2 D1
: l = L3 E1 S2 D2
: m = L3 E1 S2 D3

: f = L3 E1 S2 D4
: mf = L3 E1 S2 D5
: n = L2 E3 S1 D1
: m = L2 E3 S1 D2
: m = L2 E3 S1 D3
: f = L2 E3 S1 D4
: mf = L2 E3 S1 D5
: n = L3 E3 S1 D1
: m = L3 E3 S1 D2
: m = L3 E3 S1 D3
: f = L3 E3 S1 D4
: mf = L3 E3 S1 D5
: n = L1 E2 S2 D1
: m = L1 E2 S2 D2
: f = L1 E2 S2 D3
: f = L1 E2 S2 D4
: mf = L1 E2 S2 D5
: n = L2 E2 S2 D1
: m = L2 E2 S2 D2
: m = L2 E2 S2 D3
: f = L2 E2 S2 D4
: mf = L2 E2 S2 D5
: n = L3 E2 S2 D1
: m = L3 E2 S2 D2
: m = L3 E2 S2 D3
: f = L3 E2 S2 D4
: mf = L3 E2 S2 D5
: n = L1 E3 S2 D1
: m = L1 E3 S2 D2
: f = L1 E3 S2 D3
: mf = L1 E3 S2 D4
: mf = L1 E3 S2 D5
: n = L2 E3 S2 D1
: m = L2 E3 S2 D2
: f = L2 E3 S2 D3
: f = L2 E3 S2 D4

```
: mf = L2 E3 S2 D5
: n  = L3 E3 S2 D1
: m  = L3 E3 S2 D2
: f  = L3 E3 S2 D3
: f  = L3 E3 S2 D4
: mf = L3 E3 S2 D5
: n  = L2 E1 S2 D1
: l  = L2 E1 S2 D2
: m  = L2 E1 S2 D3
: f  = L2 E1 S2 D4
: mf = L2 E1 S2 D5
```

Os valores que acompanham as letras "L", "E", "S" e "D" no arquivo de regras, representam as classes referentes a cada plano de informação. A Tabela mostra quais são estas classes (Tabela B.1).

TABELA B.1

CLASSES DOS PLANOS DE INFORMAÇÃO LITOLOGIA,
EROSIVIDADE, ERODIBILIDADE E DECLIVIDADE

PLANO DE INFORMAÇÃO	CLASSES
Litologia	1 - granitóide 2 - xisto 3 - gnaisse
Erosividade	1 - erosividade baixa 2 - erosividade média 3 - erosividade alta
Erodibilidade	1 - erodibilidade baixa 2 - erodibilidade alta
Declividade	1 - 0 - 3% 2 - 3 - 8% 3 - 8 - 20% 4 - 20 - 45% 5 - > 45%

ARQUIVO DE REGRAS PARA OBTENÇÃO DOS MAPAS DE
RISCO DE EROSÃO

- a) nome do arquivo de regras - cb (cruzamento b)
b) nome do arquivo de saída - R1 (risco de erosão 1 - janeiro); R2 (risco de erosão 2 - agosto)

DECLARAÇÃO DOS PI S DE ENTRADA

= susc S; suscetibilidade

= C C; cobertura vegetal (imagens temáticas)

DECLARAÇÃO DAS CLASSES DO PI RESULTADO

* n = nula

* l = ligeira

* m = moderada

* f = forte

* mf = muuito forte

DECLARAÇÃO DAS REGRAS DE CRUZAMENTO

: n = S1 C2

: n = S1 C3

: l = S1 C4

: n = S2 C2

: l = S2 C3

: m = S2 C4

: l = S3 C2

: m = S3 C3

: f = S3 C4

: m = S4 C2

: f = S4 C3

: mf = S4 C4

: m = S5 C2
: mf = S5 C3
: mf = S5 C4

Os valores que acompanham as letras "S" e "C" no arquivo de regras, representam, como na primeira fase de integração de dados, as classes referentes a cada plano de informação. A Tabela mostra quais são estas classes (Tabela B.2)

TABELA B.2

CLASSES DE PLANOS DE INFORMAÇÃO SUSCETIBILIDADE
À EROSÃO E COBERTURA VEGETAL

PLANO DE INFORMAÇÃO	CLASSES
Suscetibilidade à erosão	1 - suscetibilidade nula à erosão 2 - suscetibilidade ligeira à erosão 3 - suscetibilidade moderada à erosão 4 - suscetibilidade forte à erosão 5 - suscetibilidade muito forte à erosão
Cobertura vegetal	2 - caatinga densa 3 - caatinga aberta 4 - atividades agrícolas