UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
ESCOLA DE ENGENHARIA DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CARTOGRÁFICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS GEODÉSICAS E TECNOLOGIAS DA GEOINFORMAÇÃO

NEISON CABRAL FERREIRA FREIRE
Arquiteto, Universidade Santa Úrsula, 1987

DESERTIFICAÇÃO NA REGIÃO DE XINGÓ: MAPEAMENTO E ANÁLISE ESPECTRO-TEMPORAL

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, do Centro de Tecnologia e Geociências da Universidade Federal de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do grau de Mestre em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Área de Concentração: Cartografia e Sistemas de Geoinformação.

Orientador: Prof. Dr. Admilson da Penha Pachêco

Recife, 2004

Desertificação na Região de Xingó : mapeamento e análise espectro- temporal / Neison Cabral Ferreira Freire. – Recife: O Autor, 2004.
xv, 168 folhas: il., tab., fig., quadros.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Ciências Geodésicas e Tecnologia da Geoinformação, 2004.

Inclui bibliografia e anexos.

1.Desertificação - Semi-árido . 2 . Sensoriamento remoto. 3. Cartografia . 4. Sistemas de Geoinformação. I. Título.

UFPE

526.982 CDD (21 .ed) **BCTG/2004-11**

DESERTIFICAÇÃO NA REGIÃO DE XINGÓ: MAPEAMENTO E ANÁLISE ESPECTRO-TEMPORAL

POR

NEISON CABRAL FERREIRA FREIRE

Dissertação defendida e aprovada em 05.02.04.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. ADMILSON DA PENHA PACHÊCO (Orientador)
Departamento de Engenharia Cartográfica - Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. CARLOS ALBERTO BORBA SCHULER
Departamento de Engenharia Cartográfica - Universidade Federal de Pernambuco

Profª Drª EUGÊNIA CRISTINA GONÇALVES PEREIRA
Departamento de Geografia - Universidade Federal de Pernambuco

Profª Drª REGINA DULCE BARBOSA LINS
Departamento de Arquitetura e Urbanismo – Universidade Federal de Alagoas

Olhou a caatinga amarela, que o poente avermelhava. Se a seca chegasse, não ficaria planta verde. Arrepiou-se. Chegaria, naturalmente. Sempre tinha sido assim, desde que ele se entendera. E antes de se entender, antes de nascer, sucedera o mesmo – anos bons misturados com anos ruins.

...

Um dia... Sim, quando as secas desaparecessem e tudo andasse direito... Seria que as secas iriam desaparecer e tudo andar certo? Não sabia.

Graciliano Ramos. "Vidas Secas" (1932).

À Salete, minha mãe, professora, historiadora e também pós-graduanda, incansável incentivadora da educação e do progresso dos filhos.

Agradecimentos

Ao Corpo Docente da Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Nível Mestrado, do Departamento de Engenharia Cartográfica da Universidade Federal de Pernambuco, em especial à Profa. Dra. Verônica Maria Costa Romão, pelo apoio contínuo à pesquisa científica, e ao Prof. Dr. Admilson da Penha Pachêco, orientador acadêmico; à CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior; ao INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – que, através do CPTEC – Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos – na pessoa do Sr. Eleutério Fernandes, forneceu as imagens e os dados necessários à realização da pesquisa, e ao Prof. Mestre Eduardo Camargo pelos ensinamentos no *Spring*; ao Instituto de Desenvolvimento Científico e Tecnológico de Xingó que, através do GeoXingó – Laboratório de Geoprocessamento de Xingó – possibilitou as pesquisas de campo na vasta região em estudo, cujo colega e amigo Eng. Cartógrafo Helder Gama trouxe uma valiosa contribuição ao processamento e análise dos dados, além do Eng. Agrônomo Adriano Amorim que muito colaborou na coleta de dados locais, da Profa. Mestra Wbaneide Andrade pelo valioso material bibliográfico sobre desertificação e do Administrador Ronaldo Melo que viabilizou a pesquisa de campo; à Geógrafa Débora Moura, mestra em Gestão e Políticas Ambientais também pela UFPE pela contribuição na extensa revisão bibliográfica de Xingó; e ao amigo Administrador Rafael Luiz Durães de Sant'Anna, pelo apoio na pesquisa.

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO 1

CAPÍTULO 2 – A TRANSDISCIPLINARIDADE DA DESERTIFICAÇÃO 7
2.1 – Uma conceituação enquanto fenômeno antrópico 7
2.2 – Os indicadores dos processos desertificatórios 15
2.3 – O domínio da Caatinga 23
2.3.1 – Descrição Geográfica 23
2.3.2 – Clima 25
2.3.3 – Relevo 27
2.3.4 – Solos 27
2.3.5 – Hidrografia 27
2.3.6 – Vegetação 29
2.4 – O desafio do Desenvolvimento Sustentável no semi-árido nordestino 32

CAPÍTULO 3 – O SENSORIAMENTO REMOTO E OS SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA NO MONITORAMENTO AMBIENTAL 35
3.1 – O Processamento Digital de Imagens (PDI) na detecção de áreas degradadas 35
3.1.1 – Princípios do Sensoriamento Remoto 35
3.1.2 – PDI e Extração de Informações em imagens de satélite 42
3.1.3 – Detecção de áreas degradadas 45
3.2 – O Comportamento Espectral dos alvos naturais da Caatinga 46
3.3 – A epistemologia dos Sistemas de Geoinformação na dinâmica dos processos espaço-temporais 50
3.3.1 Generalidades 50
3.3.2 Abordagem crítica sobre mapeamento espaço-temporal 53
3.3.3 Teoria Geográfica e Geoprocessamento 56
3.4 – A dinâmica evolutiva em modelagem de sistemas ambientais 57

CAPÍTULO 4 – A REGIÃO DE XINGÓ NO CONTEXTO DA PESQUISA 61
4.1 – Caracterização da área de estudo 61
4.1.1 – Generalidades 61
4.1.2 – Localização geográfica 65
4.1.3 – Principais características e informações municipais 67
4.1.3.1 – Alagoas 67
4.1.3.2 – Sergipe 74

4.2 – O Instituto Xingó: uma proposta para mudar o semi-árido nordestino? 79
4.3 – A importância das geotecnologias para a sustentabilidade de Xingó 81

CAPÍTULO 5 – A DEGRADAÇÃO AMBIENTAL EM XINGÓ: UMA VISÃO SINÓTICA NUMA PERSPECTIVA ESPECTRO-TEMPORAL 84
5.1 – Generalidades 84
5.2 – Materiais 85
5.2.1 – Dados 85
5.2.2 – Equipamentos 88
5.2.3 – Programas Computacionais 89
5.3 – Metodologia 91
5.3.1 – Tratamento dos Dados 91
5.3.2 – O Sistema Geodésico Brasileiro – SGB 91
5.3.3 – Processamento dos Dados 95
5.3.4 – Mapeamento Temático 129
5.4 – Resultados Obtidos 132
5.5 – Validação em Campo 135

CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES 137
6.1 – Energia e pobreza: a dualidade intrínseca de Xingó – uma discussão 137
6.2 – 1989 – 2003: o recrudescimento dos indicadores ambientais nas áreas desertificadas 138
6.3 – Algumas proposições de políticas públicas para o combate à desertificação em Xingó 141

Referências Bibliográficas 143

Anexo 1 –Carta-Imagem das Áreas de Risco à Desertificação na Região de Xingó 153
Anexo 2 – Dados Pluviométricos 154
Anexo 3 – Acervo Fotográfico 161
Anexo 4 – Tabela de Setores Censitários 2000 167

RESUMO

FREIRE, Neison Cabral Ferreira. **Desertificação na Região de Xingó: Mapeamento e Análise Espectro-Temporal**. Recife, 2004, 188p. Dissertação (Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco.

A humanidade vem interagindo com o meio ambiente de forma complexa, modificando *habitats* naturais. Em países pobres, o consumo dos recursos naturais não isenta a população do ciclo vicioso da pobreza e da degradação ambiental. No Brasil, o semi-árido é uma das regiões mais afetadas pelo problema, ocasionando processos desertificatórios crescentes com graves conseqüências sócio-ambientais. Assim, o objetivo desta pesquisa foi mapear e analisar as áreas de risco passíveis de desertificação numa porção do semi-árido brasileiro denominada de Região de Xingó, utilizando-se das tecnologias proporcionadas pelo Sensoriamento Remoto e pelos Sistemas de Geoinformação. Considerou-se que o desafio atual consiste em conciliar a exploração eficiente e reciclável dos limitados recursos naturais do semi-árido nordestino - o "capital natural" - e a necessidade urgente de crescimento material das comunidades sertanejas - o "capital construído pelo homem". Através do cruzamento de séries temporais de imagens de satélite (1989 – 1995 – 2003) e dados demográficos recentes (Censo 2000), estabeleceu-se uma metodologia para detecção de áreas de risco e passíveis de desertificação nos seis municípios circunvizinhos à Usina Hidrelétrica de Xingó, situada no rio São Francisco entre os estados de Alagoas e Sergipe. Pesquisas de campo validaram os resultados obtidos em laboratório, apoiados em extensa literatura sobre os indicadores de desertificação. Como resultado, após a manipulação de dados georreferenciados em diversas técnicas de Processamento Digital de Imagens e elaboração de um Sistema de Informações Geográficas, evidenciou-se um quadro desolador de degradação ambiental na extensa área em estudo, com significativa devastação da Caatinga, aumento de solo exposto e diminuição de áreas agropastoris. Enfim, concluiu-se que em janeiro de 2003, dos 4.405,29 km² da área de estudo, cerca de 985,44 km², ou 22,37%, apresentaram problemas ambientais significativos quanto ao risco de desertificação.

Palavras-chave: Desertificação, Sensoriamento Remoto, Caatinga, semi-árido.

ABSTRACT

FREIRE, Neison Cabral Ferreira. **Desertification in Xingó Region: Espectro-Temporal Mapping and Analysis**. Recife, 2004, 188p. Dissertation (Master Degree in Geodetic Science and Geoinformation Technologies) – Center of Technology and Geosciencies, Federal University of Pernambuco, Brazil.

This research aims to map and analyse the desertification process of part of the Brazilian semi-arid region called Xingó, using technologies of Remote Sensing and Geoinformation Systems. Historically, the Brazilian semi-arid region is inserted in a development model whose economical basis was not linked to the region's social, cultural and environmental contingents. The current challenge consists of conciliating an efficient and recyclable exploration of the limited natural resources of the North-eastern semi-arid region – the "natural capital" – and the urgent necessity for some material development in the rural communities – the "man-made capital". Through the combination of the seasonal series of satelite images and current demographic data, a methodology was estabilished to detect areas, which are degraded or prone to desertification in the six areas surrounding the Xingó Hidroeletric power station, situated between the States of Alagoas and Sergipe. Field research validates the laboratory results, supported by extensive literature regarding the indicators of desertification and geoinformation technologies. After mapping, evaluating and analysing the deserted areas and manipulating the georeferenced data, using a variety of digital processing techniques and developing a Geographic Information System (GIS), the picture of growing human poverty as well as the environment degradation in the large study area analysed became evident. In the period between 1989 and 2003 there was also significant devastation of the natural vegetation called "Caatinga", an increase in exposed soil and decrease in the farming and pasturing land.

Key-Words: Desertification, Remote Sensing, Caatinga, environmental degradation, Northeastern Brazil.

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Solo salinizado em Cabrobó/PE 10

Figura 02 – Desmatamento da Caatinga para extração de madeira – Olho D'Água do Casado/AL 11

Figura 03 – Extração clandestina de madeira da Caatinga para produção de carvão vegetal – Olho D'Água do Casado/AL 11

Figura 04 – Localização do Trópico do Semi-árido no Brasil 12

Figura 05 – Mapa de Suscetibilidade à Desertificação no Brasil 13

Figura 06 – Mapa de Ocorrência de Desertificação no Brasil 14

Figura 07 – "Seca, devastação e abandono." 15

Figura 08 – A biodiversidade da Caatinga na Reserva Ecológica de Xingó/AL 24

Figura 09 – O domínio da Caatinga no Nordeste brasileiro 26

Figura 10 – Caatinga Arbórea aberta, Reserva Ecológica de Xingó/AL 30

Figura 11 – Caatinga Arbórea densa, Reserva Ecológica de Xingó/AL 30

Figura 12 – Caatinga Arbustiva pouco-densa, Reserva Ecológica de Xingó/AL 31

Figura 13 – O paradigma do "Biocubo" 33

Figura 14 – Espectro Eletromagnético 35

Figura 15 – Espectro da emissão do Sol e da Terra e absorção pelos elementos da atmosfera 36

Figura 16 – “Causas das atenuações da energia solar ao atravessar a atmosfera terrestre” 37

Figura 17 – Curvas espectrais de diferentes alvos 38

Figura 18 – Órbitas de satélites artificiais 40

Figura 19 – Estação de Recepção LandSAT do INPE em Cuiabá/MT 41

Figura 20 – Vista aérea do Centro Espacial de Cachoeira Paulista/SP 42

Figura 21 – Variáveis da geometria de aquisição de dados que afetam as medidas de reflectância 47

Figura 22 – Geoprocessamento como um conjunto de técnicas 52

Figura 23 – SIG como elemento integrador 52

Figura 24 – Fases do processo de modelagem em SIG 53

Figura 25 – Modelo representativo dos impactos causados pelo crescimento demográfico sobre a emissão dos gases estufa, em relação com as atividades agrícolas e desmatamentos 60

Figura 26 – Mapa de localização da Região de Xingó em relação ao Brasil e América do Sul 62

Figura 27 – Antiga estação ferroviária em Piranhas – AL, construída entre 1878-1881 64

Figura 28 – Área de estudo (em vermelho) com relação à área de abrangência de Xingó . 64

Figura 29 – Mapa da Área de Estudo (digitalizado e editado com AutoCAD Map 2004) – Datum SAD 69, Projeção UTM, Fuso 24 66

Figura 30 – Vista aérea panorâmica da cidade de Olho D’Água do Casado/AL 68

Figura 31 – Vista da cidade de Pão-de-Açúcar/AL 70

Figura 32 – Vista da cidade Piranhas (de Baixo)/AL 72

Figura 33 – Vista parcial da cidade de Canindé de São Francisco/SE 74

Figura 34 – Praça Arnoldo, no Centro de Poço Redondo/SE 76

Figura 35 – Vista da cidade de Porto da Folha/SE 79

Figura 36 – Gráfico com os dados de médias mensais pluviométricas da Região de Xingó e datas escolhidas das imagens (azul) 86

Figura 37 – Cena inteira do LandSAT (Órbita/Ponto: 215/067, Data: 06/10/95) com os seis municípios da área de estudo 89

Figura 38 – Elipsóide Geocêntrico 93

Figura 39 – Elipsóides Convencional e Local 94

Figura 40 – Fluxograma geral da metodologia utilizada na pesquisa 96

Figura 41 – Distribuição dos pontos de controle para o registro das imagens LandSAT: à esquerda, os pontos em relação à cena inteira; à direita, em relação à área de estudo (Data: 11/03/89) 99

Figura 42 – Recorte geográfico nas cenas originais, delimitando a área de estudo (Data: 06/10/95) 100

Figura 43 – Aplicação da técnica de realce linear: ao alto, antes da manipulação do histograma; acima, após a manipulação, observando-se a melhoria da qualidade na imagem resultante com o deslocamento do histograma ao longo do eixo de NC's (Combinação Espectral RGB 543 – Falsa Cor; Data: 05/01/03) 102

Figura 44 – Ao alto, a imagem original, onde os alvos aparecem com pouca definição; após aplicar-se o realce linear do histograma (acima), a distinção entre vegetação e solo exposto fica mais nítida numa Combinação Espectral RGB 543 – Falsa Cor (Data: 06/10/95); observa-se um pequeno brilho em azul no centro da figura, significando a abertura do vertedouro da represa da UHE Xingó no momento da aquisição da cena 103

Figura 45 – Na imagem original (ao alto), os alvos aparecem com pouca definição; após aplicar-se o realce linear do histograma (acima), o lago e a represa da UHE Xingó, bem como outros alvos, aparecem com melhor qualidade visual (Combinação Espectral RGB 321 – Cor Natural; Data: 05/01/03) 104

Figura 46 – Equalização de Histograma: à esquerda, a imagem e o histograma originais; à direita a imagem e o histograma modificados; observa-se o destaque para a vegetação em verde (Combinação Espectral RGB 543; Data: 11/03/89) 105

Figura 47 – Realce de Imagem TM: à esquerda, a imagem original; à direita a imagem modificada; observa-se uma discreta melhoria na definição das bordas dos alvos (Combinação Espectral RGB 543; Data: 11/03/89) 105

Figura 48 – Filtro Passa-Alta: à esquerda, a imagem original; à direita a imagem filtrada; entre as imagens, a matriz utilizada; observa-se a distinção das margens no cânion do São Francisco (Combinação Espectral RGB 543; Data: 06/11/95) 106

Figura 49 – Razão entre as bandas TM 2 e TM 5 para detecção de corpos d'água: excelentes resultados com a perfeita identificação do leito do rio São Francisco e outros pequenos corpos d'água (em branco); ao alto à esquerda, a banda TM 2 original; ao alto à direita, a banda TM 5 original; na figura maior, a imagem resultante (Data: 11/03/89..... 107

Figura 50 – NDVI: áreas claras indicam presença de vegetação (Data: 05/01/03)..... 109

Figura 51 – Após o NDVI, aplicação de Pseuco-Color com Fatiamento em Arco-Íris - áreas em vermelho indicam presença de vegetação; observa-se na região central da figura o destaque para o projeto de irrigação Califórnia, em Canindé de São Francisco/SE 109

Figura 52 – Quadro estatístico da banda NDVI 1989 110

Figura 53 – Igualando a média da banda NDVI 2003 (esquerda) à banda NDVI 1989 (direita) 110

Figura 54 – Detecção no padrão de cobertura vegetal entre 1989 e 2003 a partir de NDVI: ao alto, a banda resultante; para efeito de comparação, a figura do centro mostra uma pequena área onde havia vegetação em 1989 e a figura acima mostra a mesma área com o solo praticamente exposto, comprovando, assim, eficácia da técnica 111

Figura 55 – Transformação da rotação dos eixos de atributos originais em CP: a figura mostra que a transformação de componente principal em duas dimensões corresponde à rotação do eixo original da coordenada para coincidir com as direções de máxima e mínima variância no dado 113

Figura 56 – Dados estatísticos sobre amostras da imagem multiespectral de 1989 114

Figura 57 – 1ª. CP da imagem de 11/03/89, com realce de contraste aplicado; no detalhe, uma composição colorida RGB 543 da mesma imagem 114

Figura 58 – Realce por Decorrelação de CP na cena de 1989: 1ª. CP = azul; 2ª. CP = verde; 3ª. CP = vermelho; no detalhe, uma composição colorida RGB 543; a vegetação, por ter uma faixa espectral mais ampla, aparece na 1ª. CP em azul, enquanto as áreas antropizadas (estradas, núcleos urbanos e canteiros de obras) aparecem em magenta (Data: 11/03/89) 115

Figura 59 – Cálculo de IHS nas três bandas (5, 4 e 3) originais de 11/03/89 116

Figura 60 – Realce de contraste na componente I (intensidade) para melhorar a qualidade de brilho na imagem resultante 116

Figura 61 – Reversão de IHS para RGB, utilizando a componente I realçada 116

Figura 62 – Reversão de IHS para RGB: ao alto, a imagem original; acima, a mesma imagem transformada RGB → IHS;observa-se maior facilidade na distinção dos alvos da cena (Data: 11/03/89) 117

Figura 63 – Análise da Matriz de Erros da Classificação: ao alto, as amostras da imagem de 1989; ao centro, 1995; acima, 2003 120

Figura 64 – Avaliação visual das amostras de treinamento para a classificação supervisionada, considerando-se os diversos PDI's anteriormente realizados (Data: 11/03/89): ao alto, análise de uma amostra da classe "Solo Exposto" sobre uma composição colorida RGB 543; ao centro, a mesma amostra sobre uma Equalização de Histograma; acima, a mesma amostra sobre o NDVI com Contraste Linear aplicado 121

Figura 65 – Limiar de decisão entre duas classes supervisionadas 122

Figura 66 – Mapeamento temático obtido a partir de Classificação Supervisionada na imagem de 11/03/89, identificando as classes de interesse 122

Figura 67 – Mapeamento temático obtido a partir de Classificação Supervisionada na imagem de 06/10/95, onde se observa uma discreta presença de nuvens na área 123

Figura 68 – Mapeamento temático obtido a partir de Classificação Supervisionada na imagem de 05/01/03 123

Figura 69 – Quantificação das classes temáticas em 1989, 1995 e 2003 124

Figura 70 – Contribuição das Classes Temáticas em 2003 na área de estudo 124

Figura 71 – Contribuição das Classes Temáticas em 1989 na área de estudo 125

Figura 72 – Cruzamento de dados 1989 – 2003: este gráfico mostra o porcentual conquistado pelo solo exposto em 2003 em relação às classes de 1989 125

Figura 73 – Diagrama da Análise Espacial para o período 1989 – 2003: dados de entrada com as imagens classificadas, a programação em LEGAL e a saída gráfica como uma imagem-síntese da Análise Espacial 126

Figura 74 – Imagem-síntese gerada em LEGAL, a partir dos dados das imagens classificadas de 1989, 1995 e 2003: observa-se a expressiva degradação ambiental ocorrida no período (na cor magenta), a redução significativa da caatinga em decorrência do aumento das pastagens e áreas agrícolas e da ocorrência de processos desertificatórios (na cor vermelha), principalmente na margem direita do rio São Francisco (SE) 127

Figura 75 – Gráfico os porcentuais das classes temáticas, obtidos através da Análise Espacial em LEGAL com o cruzamento de dados das imagens classificadas de 1989, 1995 e 2003 129

Figura 76 – Mapa Temático: Densidade Demográfica em 2000, por quantis e desvio-padrão = 1 130

Figura 77 – Mapa Temático: Densidade Demográfica em 2000, pelo método de Média Móvel, na área de estudo 131

Figura 78 – Gráfico de Dispersão dos Dados: Solo Exposto *versus* Pasto/Agricultura 133

Figura 79 – Gráfico das Classes Temáticas da Carta-Síntese da Desertificação em Xingó 136

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 – Indicadores de Situação 20

Quadro 02 – Indicadores de Desertificação 21

Quadro 03 – Solos predominantes na Caatinga 28

Quadro 04 – Características principais dos sistemas sensores LandSAT 5 e 7 41

Quadro 05 – Níveis de Correção disponibilizados pelo INPE para imagens LandSAT 42

Quadro 06 – Características e aplicações das bandas espectrais do LandSAT 5 43

Quadro 07 – Efeito das variáveis da geometria de aquisição de dados de Sensoriamento Remoto sobre as medidas de reflectância 48

Quadro 08 – Relação dos municípios com a população residente da área de estudo 65

Quadro 09 – Relação das folhas do Mapeamento Sistemático do Brasil, na escala de 1:100.000, utilizadas nesta pesquisa 67

Quadro 10 – Imagens LandSAT disponíveis para a área de estudo (Cena/Órbita: 215/067) com cobertura de nuvens <10% (em vermelho as datas escolhidas) 87

Quadro 11 – Relação dos CD's adquiridos junto ao IBGE para a pesquisa 89

Quadro 12 – Pontos de Controle extraídos das cartas do Ministério do Exército/DSG, na escala de 1:100.000, SGB SAD-69, projeção UTM, Fuso 24 L, utilizados para o georreferenciamento das imagens LandSAT 99

Quadro 13 – Algoritmo "Degradação", desenvolvido em LEGAL, objetivando uma Análise Espacial sobre áreas degradadas em Xingó, no período 1989 – 1995 – 2003; executado no *Spring,* sendo necessário 01h48min12s para o processamento dos dados 128

Quadro 14 – Algoritmo "Desertificacao", desenvolvido em LEGAL 135

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 - Categorias de clima de acordo com o índice de aridez 8

Tabela 02 – Dados Pluviométricos 154

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAD – *Computer Aided Design*

CBERS – *China-Brazil Earth Remote Sensing*

CD – *Compact Disk*

CHESF – Companhia Hidroelétrica do São Francisco

CNPq – Conselho Nacional de Pesquisa Científica e Tecnológica

CNUMAD - Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento – Eco'92, Rio de Janeiro

CP – Componente Principal

CPTEC – Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos

DGI – Divisão de Geração de Imagens, INPE, Cachoeira Paulista/SP

DIGEO – Divisão de Geociências

DLIS – Desenvolvimento local, integrado e sustentável

DSG-3a.DL – Diretoria de Serviço Geográfico/3ª. Divisão de Levantamentos, Ministério do Exército, Governo do Brasil

DSG-5a.DL – Diretoria de Serviço Geográfico/5ª. Divisão de Levantamentos, Ministério do Exército, Governo do Brasil

DXF – *Data Exchange Format* (Autodesk, Inc.)

EEM – Espectro Eletromagnético

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

EMBRATUR – Empresa Brasileira de Turismo, Governo do Brasil

ETM+ - *Enhanced Thematic Mapper Plus*

ETP – Evapo-Transpiração Potencial

FAO – *Food and Agriculture Organization of the United Nations*

FIG – Federação Internacional dos Geômetras

GPS – *Global Positioning System*

HD – *Hard Disk*

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IBGE/DIGEO – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística/Divisão de Geociências

IHS – *Intensity, Hue, Saturation* (intensidade, matiz e saturação)

IMOV – Média Espacial Móvel

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IX – Instituto de Desenvolvimento Científico e Tecnológico de Xingó

LEGAL – Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algébrico

MAXVER – Máximo Verossimilhança

MMA – Ministério do Meio Ambiente, Governo do Brasil

MSB – Mapeamento Sistemático Brasileiro

NASA – *North American Spacial Agency*, Governo dos EUA

NC – Nível de Cinza

NDVI – Índice da Diferença Normalizada de Vegetação

ONU – Organização das Nações Unidas

PC – Ponto de Controle

PDI – Processamento Digital de Imagens

PEC – Padrão de Exatidão Cartográfica

PI – Plano de Informação

PNCD/MMA – Programa Nacional de Combate à Desertificação/Ministério do Meio Ambiente, Governo do Brasil

PNUMA – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente

RGB – *Red, Green, Blue* (respectivamente, canais do vermelho, do verde e do azul)

RMSE – Erro Médio Quadrático

SEBRAE – Serviço Brasileiro de Apoio a Pequena e Média Empresa

SAD-69 – *South American Datum 1969* (Datum Sul-Americano 1969)

SGB – Sistema Geodésico Brasileiro

SVH – Sistema Visual Humano

SIG – Sistema de Informações Geográficas

SIGT – Sistema de Informações Geográficas Temporais

SPRING – Sistema para Processamento de Informações Georreferenciadas

SUDENE – Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste

TM – *Thematic Mapper*

UFAL – Universidade Federal de Alagoas

UFPE – Universidade Federal de Pernambuco

UFS – Universidade Federal de Sergipe

UHE Xingó – Usina Hidrelétrica de Xingó

UTM – *Universal Transverse Mercator*

1. INTRODUÇÃO

Desde tempos imemoriais, o ser humano luta contra as adversidades do meio ambiente, seja modelando o meio físico ou consumindo seus limitados recursos naturais, numa infinita busca por riqueza e bem-estar materiais. A humanidade vem interagindo de forma complexa sobre a biosfera, modificando *habitats* naturais e colocando novos desafios às atuais e futuras gerações. Sob o pretexto do crescimento econômico, processos relativamente recentes de modernização vêm trazendo graves desequilíbrios sócio-ambientais a diversas regiões do planeta, notadamente aquelas situadas em países pobres.

Embora muitas vezes detentores de alto patrimônio ecológico, estas regiões não conseguem escapar do círculo vicioso da pobreza e da destruição ambiental, aumentando a exclusão social e diminuindo a capacidade de carga dos ecossistemas locais. Neste contexto, Sociedade e Natureza precisam estar intimamente correlacionadas num novo paradigma de desenvolvimento sustentável, baseado em princípios da transdisciplinaridade sistêmica de uma "nova" visão desse binômio.

No caso brasileiro, uma das regiões mais afetadas pela crise do modelo de consumo extensivo dos recursos naturais é o semi-árido nordestino, cuja **degradação ambiental** crescente vem ocasionando **processos de desertificação** cada vez mais significativos, trazendo como conseqüências imediatas, dentre outras, a perda da fertilidade do solo e da biodiversidade, a destruição de *habitats* naturais e o êxodo rural. Segundo o Censo Demográfico de 2000 (IBGE, 2003), cerca de 18 milhões de pessoas (ou 42% da população nordestina, ou, ainda, 11% da população brasileira) vivem em regiões de clima semi-árido.

Uma discussão conceitual sobre o tema da desertificação evoluiu desde a década de 60 do século passado e se consolidou através do documento intitulado *Agenda 21*, elaborado durante a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, realizada na cidade do Rio de Janeiro em 1992 – a Eco'92 -, onde, no seu Capítulo 12, definiu-se a desertificação como sendo "a degradação da terra nas zonas áridas, semi-áridas e sub-úmidas secas, resultante de vários fatores, incluindo as variações climáticas e as atividades humanas " (SACHS, 1993). A preocupação com o tema é de tal ordem que a Organização das Nações Unidas aprovou em 26 de dezembro de 1996 a Convenção Internacional de Combate a Desertificação, sendo ratificada pelo Congresso Nacional Brasileiro no dia 12 de junho de 1997. Desde então, diversas

instituições de pesquisa e organizações não-governamentais brasileiras têm se dedicado ao assunto, destacando os esforços desenvolvidos pela Oficina de Trabalho sobre Ciência e Tecnologia para a Sustentabilidade do Semi-árido do Nordeste do Brasil, realizada em novembro de 1999 na cidade do Recife.

Mais recentemente, em setembro de 2003, vários países da África, América Latina e Caribe discutiram o problema durante a 6ª. Conferência das Nações Unidas sobre Desertificação e Seca, realizada em Havana, Cuba. Na ocasião, ao analisar as áreas de risco à desertificação, constatou-se que "o processo de degradação do solo e redução de sua cobertura vegetal provoca prejuízos de US$ 42 bilhões por ano em todo o mundo e afeta diretamente mais de 250 milhões de pessoas" (Folha OnLine, 2003).

Sem dúvida estas conferências internacionais representam um grande esforço político que precisa estar aliado à ação executiva para enfrentar a magnitude do problema, exigindo seu profundo conhecimento para equacionar soluções viáveis, onde a Ciência e a Tecnologia cumprem papel primordial, além da efetiva participação popular que, através dos mecanismos da sociedade civil organizada, devem decidir até onde se pode aproveitar os recursos do meio ambiente sem comprometer irreversivelmente sua utilização pelas futuras gerações.

Historicamente, a região do semi-árido brasileiro inseriu-se dentro de um modelo de desenvolvimento cuja base econômica não estava atrelada às condicionantes sociais, culturais e ambientais da região. As populações sertanejas atingidas pelo problema da desertificação, por exemplo, estão entre as mais pobres do país, com índices de desenvolvimento humano muito abaixo da média nacional. O desafio atual consiste em propor instrumentos tecnológicos que possibilitem análises alternativas e adequadas para a melhoria da qualidade de vida e bem-estar social das populações que habitam essas áreas do semi-árido do Nordeste, visando estabelecer um ponto focal de desenvolvimento regional auto-sustentável de forma multidisciplinar e a partir da compreensão de que o dinamismo da região virá em função do nível de conhecimento, aliado à pesquisa aplicada e às inovadoras técnicas de produção em consonância com as vocações sócio-econômicas da área, escolhendo formas de desenvolvimento sensíveis à questão ambiental e buscando conciliar a exploração eficiente e reciclável dos limitados recursos naturais do semi-árido nordestino - o "capital natural" - e a necessidade urgente de crescimento material das comunidades sertanejas - o "capital construído pelo homem".

A pesquisa partiu da hipótese que quando ocorre um determinado processo de desertificação, verifica-se um recrudescimento dos indicadores sócio-econômicos, através de relacionamentos geoambientais e antrópicos diretamente vinculados ao fenômeno observado, sendo possível sua identificação através de imagens de satélite e dados censitários.

Neste contexto, portanto, este estudo teve o objetivo de contribuir com a pesquisa aplicada ao mapear e analisar as áreas de risco passíveis de desertificação no semi-árido brasileiro, tomando como estudo de caso uma área geográfica denominada de Região de Xingó, utilizando-se das tecnologias proporcionadas pelo Sensoriamento Remoto e Sistemas de Geoinformação, identificando as possíveis interações entre os meios físico e sócio-econômico e espacializando as ocorrências deste fenômeno ambiental de causas antrópicas.

Objetivou-se, então, avaliar o potencial destes instrumentais tecnológicos para tais finalidades, através de séries temporais e multiespectrais de imagens de satélite combinadas com mapas digitais e dados descritivos dos indicadores sócio-econômicos, onde, no transcorrer da pesquisa, pretendeu-se estabelecer as relações de causa e efeito e documentar a evolução do fenômeno no período em estudo, para então finalizar com algumas proposições de prevenção e combate aos processos de desertificação, consciente de que em um sistema vivo, a compreensão das partes não leva necessariamente à compreensão do todo, pois este necessita de uma contextualização transdisciplinar e integrada.

Além disso, uma proposta metodológica foi formulada no sentido de integrar diversas tecnologias de tratamento da informação espacial com o objetivo de contribuir para a detecção e o combate à desertificação no semi-árido nordestino – um tema atual e em constante evolução no meio acadêmico que desperta um profundo interesse não apenas para a agenda governamental brasileira, como também para todas as nações que lidam com o problema.

Os aspectos conceituais referentes à desertificação como um fenômeno nitidamente antrópico foram tratados no **Capítulo 2**, passando pela análise de seus indicadores de situação (sócio-econômicos e climáticos) e especificamente de desertificação (vegetação, solos e recursos hídricos), ambos consagrados pela literatura científica atual. Características físicas e suscetibilidades da região semi-árida foram descritas, identificando os núcleos de desertificação e enfocando a questão das secas

como um fator importante, embora não determinante, dos processos de desertificação, além dos impactos ambientais, sociais e econômicos. Pela importância espectro-textual, os ecossistemas onde predominam a cobertura vegetal de Caatinga foram descritos detalhadamente em seus domínios naturais com relação às diferenças fisionômicas (porte, densidade, espécie e xerofilismo). Assim, a Caatinga foi definida como uma mata tropical seca, que apresenta características relacionadas à deficiência hídrica, com plantas herbáceas anuais, suculência, acúleos e espinhos, sendo constituída de vegetais lenhosos e com uma composição florística não uniforme, resultando num alto grau de biodiversidade. Foi também tratada a questão do desafio do desenvolvimento sustentável no semi-árido nordestino brasileiro, onde a dialética dos limitados recursos naturais e a necessidade de crescimento econômico das populações vem se convertendo numa preocupação prioritária de programas governamentais.

O **Capítulo 3** estudou o potencial do instrumental geotecnológico disponível sob o ponto de vista do meio ambiente, uso do solo e análises espaciais baseadas em processos espaço-temporais e modelos físicos e sócio-econômicos. O Sensoriamento Remoto com o Processamento Digital de Imagens, suas técnicas e resultados obtidos em relevantes trabalhos científicos sobre o tema foram abordados detalhadamente. Complementou o capítulo um ensaio sobre a dinâmica evolutiva ma modelagem de sistemas ambientais.

No **Capítulo 4**, foram tratados os aspectos físicos, ambientais e sócio-econômicos da área de estudo escolhida: a Região de Xingó. Inserida no encontro de quatro estados (Alagoas, Bahia, Pernambuco e Sergipe), a região é cortada pelo rio São Francisco e tem expressiva representação na matriz energética do Nordeste brasileiro, através das usinas hidrelétricas da CHESF instaladas na região. Neste contexto, foi concebido, em meados de 1996, o Programa Xingó, hoje conhecido como Instituto Xingó, apoiado numa inserção institucional representada por uma iniciativa intergovernamental de fomento à Ciência e Tecnologia em prol do desenvolvimento regional, integrado e sustentável, unindo a CHESF, o CNPq e a SUDENE, além de diversas universidades federais e estaduais da região e outros órgãos governamentais. Tratou-se, dentre outros aspectos importantes, de uma abordagem crítica das ações deste instituto sob o ponto de vista de sua viabilidade geotecnológica.

Para a extração das informações espaciais e devido à extensa natureza geográfica da região, tornou-se imprescindível a visão sinótica proporcionada pelas imagens de satélite, aliadas às possibilidades de análises temporais e espectrais dos

sensores remotos. Foram coletados dados ambientais referentes aos índices pluviométricos do período em estudo, verificando-se quais as melhores datas de aquisição das cenas orbitais, considerando-se picos mensais acumulados de mínimo e de máximo em ciclos climáticos. Os dados, métodos, parâmetros, programas computacionais, equipamentos eletrônicos, procedimentos, análises, pesquisa de campo e resultados obtidos na experimentação laboratorial foram, então, detalhados no **Capítulo 5**. Datas, imagens de satélite, mapas, rotinas, programas e rotinas específicos, dados pluviométricos, censitários e sócio-econômicos foram utilizados dentro de um modelo metodológico e conceitual visando a implementação de um SIG que pudesse modelar o mundo real da área de estudo e, assim, tornar-se capaz de responder às demandas objeto desta pesquisa. Através do cruzamento de diversos dados espaciais e descritivos em séries temporais (1989 – 1995 – 2003), foi então estabelecida uma metodologia para abordar o problema acadêmico sob um ponto de vista alicerçado em um novo paradigma tecnológico: a integração do Sensoriamento Remoto e dos Sistemas de Geoinformação, apoiando-se em suas técnicas de classificação supervisionada e de análise espacial. Para validar os resultados obtidos em laboratório, um conjunto de pontos-objeto georreferenciados foi identificado no campo e então documentado por fotografias digitais do ambiente em estudo.

Observando-se a literatura sobre o tema e de posse dos resultados originados no capítulo anterior, o **Capítulo 6** concluiu a pesquisa ao analisar, inicialmente, o paradoxo existente na região entre a modernidade representada pela geração de energia elétrica que alimenta boa parte do Nordeste a partir da instalação da Usina Hidrelétrica de Xingó em 1996 e, por outro lado, o recrudescimento dos indicadores sócio-ambientais nos municípios circunvizinhos à usina. Os dados mostraram, enfim, que embora utilizando um poderoso recurso natural, a geração de energia não trouxe riqueza econômica às populações desta porção do semi-árido nordestino, mas sim um agravamento da degradação ambiental, inserindo a região num contexto crescente de suscetibilidade à desertificação e conseqüente aumento dos índices de pobreza. O capítulo finalizou ao observar algumas proposições de políticas públicas de convivência com a seca e combate à desertificação, evitando, assim, o lugar comum da catástrofe, tão presente nesta área do conhecimento aplicado.

Desse modo, a experimentação laboratorial validada em pesquisas de campo evidenciou o agravamento do problema da degradação ambiental na região de Xingó na última década do século passado, onde se constatou, por exemplo, o aumento de cerca de 91% de solo exposto no período 1989 – 2003, já representando 1.715,71 km² da área

total de estudo (4.405,29 km²) entre os seis municípios circunvizinhos à Usina Hidrelétrica de Xingó (em Alagoas: Olho D'Água do Casado, Piranhas e Pão-de-Açúcar, e em Sergipe: Poço Redondo, Canindé do São Francisco e Porto da Folha). Assim, observou-se, por exemplo, que a classe Caatinga Arbustiva foi totalmente degradada em mais de 69% - índice ambiental alarmante com grandes prejuízos à biodiversidade, à fertilidade do solo e ao aumento do êxodo rural, dentre outras conseqüências negativas. Considerando-se a fragilidade dos ecossistemas da Caatinga e a lenta restauração dos recursos ambientais desta biota, o problema ganha uma dimensão ainda maior.

Concluindo, a pesquisa apresentou os principais resultados obtidos, fazendo uma abordagem final panorâmica sobre o conjunto referenciado, sua contribuição científica e relevância para o conhecimento científico sobre o tema da **desertificação**, especialmente na Região de Xingó.

2. A TRANSDISCIPLINARIDADE DA DESERTIFICAÇÃO

2.1 Uma conceituação enquanto fenômeno antrópico

O termo **desertificação** tem uma definição oficial estabelecida pela ONU. Durante a CNUMAD, em 1992, na cidade do Rio de Janeiro, a Assembléia Geral da ONU aprovou a negociação da "Convenção Internacional de Combate a Desertificação", iniciada em janeiro de 1993 e concluída em Paris em 17 de junho de 1994 – data estabelecida como o "Dia Mundial de Luta Contra a Desertificação". Posteriormente, o documento foi aprovado por cerca de 155 países em dezembro de 1996, incluindo o Brasil, sendo finalmente ratificado pelo Congresso Nacional Brasileiro em dezembro de 1997. A Convenção, em seu Capítulo 12, afirma que: "**A desertificação deve ser entendida como a degradação da terra nas zonas áridas, semi-áridas e sub-úmidas, resultante de vários fatores, incluindo as variações climáticas e as atividades humanas**" (SAMPAIO & SAMPAIO, 2002).

O texto da Convenção também define que a desertificação pode ocorrer em função da degradação da terra, das zonas climáticas específicas e dos fatores resultantes de processos antrópicos, podendo se manifestar em qualquer parte do planeta, com exceção das zonas polares e subpolares, sendo tecnicamente estabelecido que o Índice de Aridez (ou seja, uma razão entre a precipitação anual e a evapo-transpiração potencial) compreendida entre 0,05 e 0,65 caracteriza regiões enquadradas no escopo de aplicação da Convenção, sendo este índice adotado para o Atlas Mundial da Desertificação do PNUMA – uma referência mundial sobre o tema. Conforme esta definição, "o grau de aridez de uma região depende da quantidade de água advinda da chuva (P) e da perda máxima possível de água através da evaporação e transpiração (ETP)" (BRASIL, 1999), cuja fórmula estabelecida por Thornthwaite em 1941 foi posteriormente ajustada por Penman a fim de que se elaborasse a classificação que é hoje aceita internacionalmente (Tabela 01).

Da Tabela 01, verifica-se que a atuação da Convenção restringe-se, portanto, às regiões áridas, semi-áridas e sub-úmidas secas do mundo, somando cerca de 1/3 de toda a superfície do planeta, ou mais de 5 bilhões de ha (51.720.000 km²), afetando direta e indiretamente mais de 100 países, excluindo desse total os desertos, que somam 9.780.000 km², ou 16% da superfície do globo (BRASIL, 2003).

ANDRADE (1999) afirma que o grau de aridez de uma região para outra, no entanto, é muito variável, “havendo aquelas classificadas como hiper-áridas, onde a umidade é muito baixa durante todo ano” e outras consideradas apenas áridas com chuvas esporádicas e, ainda, outras áreas semi-áridas, “quando a estação úmida é curta, de três a quatro meses por ano, permitindo o desenvolvimento de culturas de ciclo vegetativo curto”, situação esta mais próxima da realidade do semi-árido brasileiro.

Tabela 01 - Categorias de clima de acordo com o índice de aridez

Categoria	Índice de Aridez
Hiper-Árido	< 0,05
Árido	0,05 - 0,20
Semi-Árido	0,21 - 0,50
Sub-úmido seco	0,51 - 0,65
Sub-úmido e úmido	> 0,65

Fonte: MMA, 2003.

Entretanto, convém observar que “a aridez ou a semi-aridez, não tornam estas terras improdutivas, apesar da pobreza dos solos em matéria orgânica, uma vez que os mesmos podem ser enriquecidos com adubos orgânicos ou podem ser irrigados” (ANDRADE, 1999), como ocorre em diversos países do mundo. Isto permite afirmar, então, que a variação da suscetibilidade à desertificação não pode ser unicamente expressa pelo índice de aridez, uma vez que outros fatores, como por exemplo, as atividades humanas sobre os recursos naturais, podem intervir. Assim, há que se considerar que mesmo atendendo aos pesquisadores, a Convenção da ONU precisa de adequações às diversas realidades regionais, podendo haver uma ampliação posterior do conceito de desertificação então adotado.

Apesar dos diversos estudos realizados, não há, contudo, um consenso científico sobre a dimensão e abrangência do problema, cujo desencontro de interpretações do texto da Convenção sobre Desertificação por parte da mídia tem causado certa confusão sobre o tema perante a sociedade. Segundo SAMPAIO & SAMPAIO (2002), estes desencontros têm três causas principais: 1) O conceito de desertificação não foi desenvolvido pelo uso, mas sim de entendimentos diplomáticos, gerando ambigüidades; 2) o termo remete à formação do deserto nos moldes da expansão do Saara africano - situação pouco provável de vir a existir, por exemplo, no semi-árido brasileiro e

necessitando, portanto, de uma melhor significação científica; e, 3) as explicações do texto são vagas e carecem de melhor aplicabilidade para a realidade brasileira.

De acordo com o IBAMA (2003), "no Brasil, a desertificação encontra-se especialmente considerada na 'Política Nacional de Controle à Desertificação', cujas diretrizes destacam, entre seus marcos referenciais, 'a necessidade do fortalecimento da base de conhecimentos e desenvolvimento de sistemas de informação e monitoramento para as regiões susceptíveis à desertificação e à seca'".

Por outro lado, apesar de séculos de colonização européia do semi-árido brasileiro, ainda não há pesquisas científicas em larga escala que evidenciem "até onde os processos de uso dos recursos naturais podem sustentar-se sem promover a degradação e tão pouco se sabe em quanto a extração de lenha e produção de carvão, a pecuária e a agricultura influenciam na perda de biodiversidade, da produtividade do solo ou em outros fatores de degradação da terra" (ARAÚJO *et alli*, 2002).

Nas justificativas da própria Convenção da ONU consta que "o crescimento da população e da densidade populacional contribuem para a exploração dos recursos naturais além de sua capacidade de suporte" (BRASIL, 1999). Desse modo, este aumento populacional, alimentar e energético, além do consumo cada vez maior dos recursos naturais, vem provocando importante impacto nas regiões semi-áridas. Contribui para o problema a inadequação dos sistemas produtivos que agrava o quadro social e leva população a migrar para os centros urbanos, trazendo, em última instância, um desequilíbrio regional.

No caso brasileiro, a desertificação está nitidamente vinculada ao fator de degradação da terra, implicando em redução ou perda de produtividade biológica ou econômica. Um exemplo típico é o caso do município de Cabrobó (Figura 01), em Pernambuco, onde "o desaparecimento das camadas de solo fértil da ilha (de Assunção) foi resultado direto da ação desastrosa do homem", onde "projetos de irrigação mal conduzidos levaram água em excesso para o terreno e alteraram drasticamente a composição química do solo. Com as altas temperaturas do Sertão e sem um sistema de drenagem adequado, a água evaporou rapidamente e ficaram apenas os sais concentrados na terra, numa quantidade tão alta que praticamente nenhuma planta consegue sobreviver", resultando na salinização e erosão de diversas áreas (Jornal do Commercio, 1999).

Figura 01 – Solo salinizado em Cabrobó/PE.

Fonte: Jornal do Commercio, Recife-PE, ed. 14/11/99.

Neste contexto, SAMPAIO & SAMPAIO (2002) afirmam que “desertificação é um processo, o resultado de uma dinâmica” e “para ser caracterizada precisa-se de uma série temporal de dados”, pois um quadro instantâneo não permite avaliar uma variação no tempo.

De acordo com a FAO (2003), as degradações da terra induzidas pelo homem têm cinco componentes:

a) Degradação das populações animais e vegetais (degradação biótica ou perda da biodiversidade) de vastas áreas do semi-árido devido à caça e extração de madeira (Figuras 02 e 03);

b) Degradação do solo, que pode ocorrer por efeito físico (erosão hídrica ou eólica e compactação causada pelo uso da mecanização pesada) ou por efeito químico (salinização ou sodificação);

c) Degradação das condições hidrológicas de superfície devido à perda da cobertura vegetal;

d) Degradação das condições geohidrológicas (águas subterrâneas) devido a modificações nas condições de recarga;

e) Degradação da infraestrutura econômica e da qualidade de vida dos assentamentos humanos.

Figura 02 – Desmatamento da Caatinga para extração de madeira – Olho D'Água do Casado/AL.

Fonte: MOURA, 2003.

Figura 03 – Extração clandestina de madeira da Caatinga para produção de carvão vegetal – Olho D'Água do Casado/AL.

Fonte: MOURA, 2003.

No Brasil, segundo o IBAMA (2003), as áreas sujeitas aos processos de desertificação correspondem, basicamente, àquelas oficialmente delimitadas como "Polígono das Secas", ocupando cerca de 1.083.790,7 km^2, pois estão sujeitas a períodos curtos ou prolongados de estiagens. Estende-se por boa parte do Nordeste brasileiro, atingindo também uma pequena porção ao norte do Estado de Minas Gerais, conforme ilustra a Figura 04. Trata-se do "Trópico Semi-árido", incorporando

características climáticas do semi-árido e do sub-úmido seco, possuindo estruturas geológicas referentes ao escudo cristalino e às bacias sedimentares, morfoestruturas com blocos soerguidos e depressões apresentando formações de Caatinga e de Cerrado. Segundo dados do Censo Demográfico 1991 (IBGE, 2003), a área tem cerca de 18,5 milhões de habitantes, sendo 8,6 milhões na zona rural, com densidade demográfica de 20 hab/km². Isto representa 42% da população do Nordeste, ou, ainda, 11% da população brasileira.

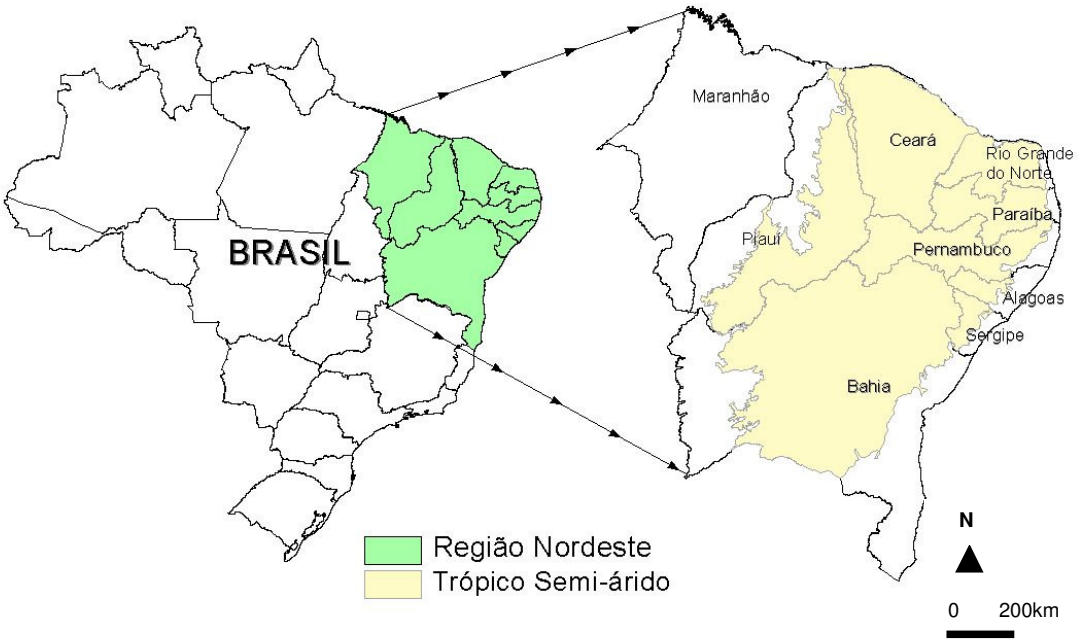


Figura 04 – Localização do Trópico do Semi-árido no Brasil.
Fonte: IBAMA, 2003.

O Governo brasileiro adotou, então, um padrão de predisposição ou suscetibilidade à desertificação que varia entre áreas consideradas de elevado, moderado e baixo riscos à desertificação, conforme a classe de grandeza do Índice de Aridez e os processos antrópicos de degradação da terra no semi-árido nordestino brasileiro, como ilustra a Figura 05.

O MMA (BRASIL, 2003) considera que “o processo da desertificação na região semi-árida brasileira vem comprometendo de forma ‘muito grave’ uma área de 98.595 km² e de forma ‘grave’ área equivalente a 81.870 km², totalizando 181.000 km², com a geração de impactos difusos e concentrados sobre o território”.

Para ilustrar o problema, o IBAMA (2003) elaborou um mapa de ocorrência de áreas desertificadas, onde classifica as áreas “moderadas”, “grave” e “muito grave”, com Núcleos de Desertificação", conforme mostra a Figura 06.

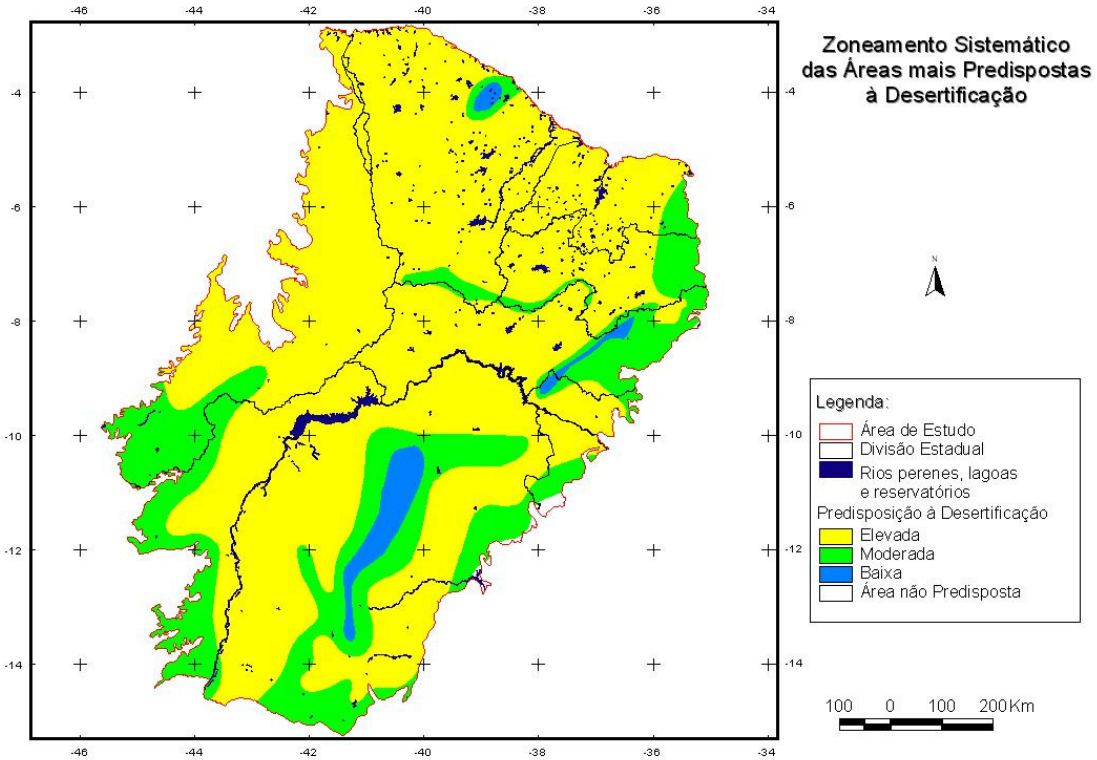


Figura 05 – Mapa de Suscetibilidade à Desertificação no Brasil.

Fonte: IBAMA, 2003.

Segundo o MMA (BRASIL, 2003), os núcleos de desertificação são áreas limitadas onde os danos são de profunda gravidade, identificando-se quatro núcleos principais, onde tais processos podem ser considerados extremamente graves. São eles: Gilbués/PI, Irauçuba/CE, Seridó/RN e Cabrobó/PE, totalizando cerca de 15.000 km².

Ampliando essa vertente internacional que conceitua a desertificação enquanto fenômeno antrópico, a 6ª. Convenção das Nações Unidas de Combate a Desertificação e Seca, realizada em Havana, Cuba, em setembro de 2003, constatou que “o processo de degradação do solo e redução de sua cobertura vegetal provoca prejuízos de US$ 42 bilhões por ano em todo o mundo e afeta diretamente mais de 250 milhões de pessoas” (Folha OnLine, 2003).

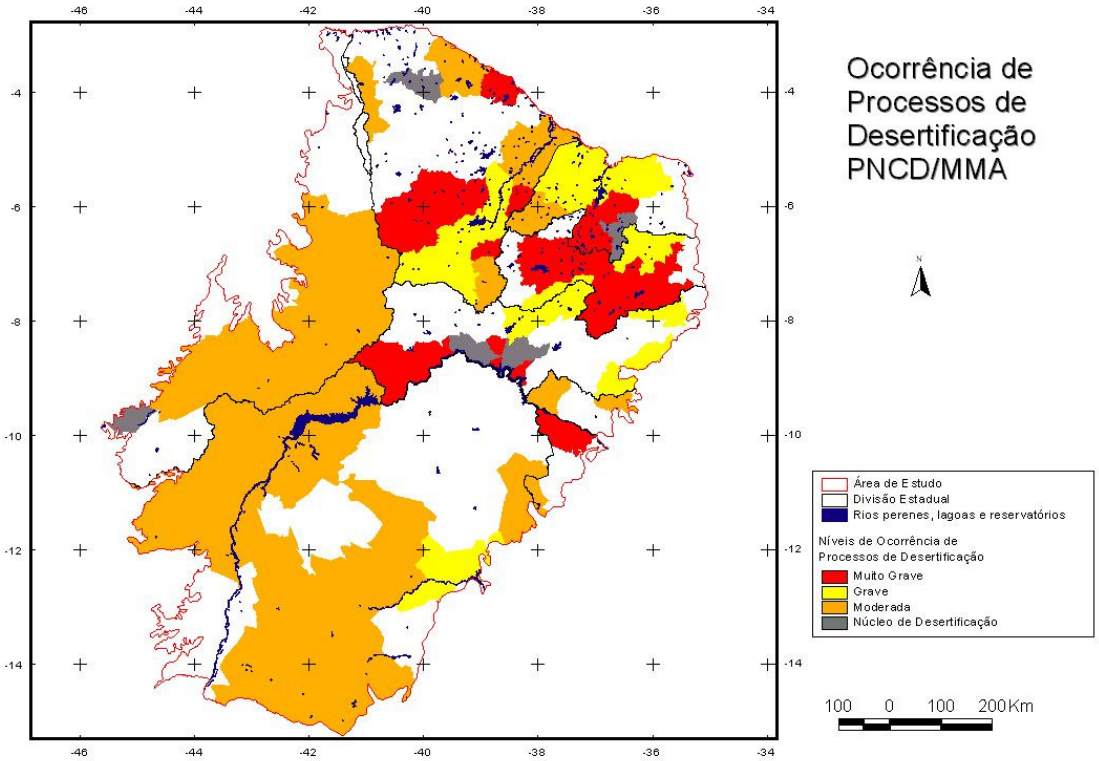


Figura 06 – Mapa de Ocorrência de Desertificação no Brasil.

Fonte: IBAMA, 2003.

A imprensa vem registrando continuamente o sofrimento das comunidades sertanejas atingidas pelo problema da desertificação e da seca e suas já conhecidas conseqüências: pobreza, miséria, desnutrição, mortalidade infantil elevada e êxodo rural (Figura 07), dentre outras . De fato, ao longo do tempo, a mídia vem encarando a questão como uma fatalidade geográfica, quando na verdade um conjunto cada vez maior de trabalhos científicos evidencia substancialmente as ações predatórias do homem sobre o meio ambiente como um fator primordial no agravamento da situação sócio-econômica (SACHS, 2000).

Trata-se de um sério e crescente problema de âmbito mundial, onde o Brasil está social, econômico, cultural e ambientalmente inserido, cabendo um papel primordial ao binômio “Ciência & Tecnologia” no sentido de prover os instrumentos, técnicas, dados e procedimentos adequados e necessários à identificação, localização, quantificação e avaliação das ações e resultados das políticas públicas de combate à desertificação, tanto no Brasil, como no mundo, esperando-se uma contribuição significativa das Tecnologias da Geoinformação ao permitir uma análise espacial do problema.

Jornal do Commercio

2ª EDIÇÃO

Exposição

Parque do Cordeiro volta a ser palco do melhor em animais

Trânsito

Acidente de carro mata quatro jovens e deixa outro ferido

Balanço

Empreiteiras deram grande contribuição à campanha eleitoral

Assentamentos

Maior desafio da reforma agrária está na produtividade

SECA, DEVASTAÇÃO E ABANDONO

Ela está de volta com sua sede de devastação. A seca destrói culturas dos pequenos agricultores do Sertão, tal como no século passado. E o cenário de fome transforma pobres em miseráveis.

Figura 07 – "Seca, devastação e abandono".

Fonte: Jornal do Commercio, Recife-PE, ed. 10/11/2002.

2.2 Os indicadores de desertificação

Determinar com precisão quais são os indicadores de desertificação não é uma tarefa fácil, devido, por um lado, à falta de consenso entre os pesquisadores no âmbito mundial e, por outro, às diversas particularidades regionais. O assunto, porém, reveste-se de fundamental importância, pois os critérios adotados serão primordiais na delimitação das regiões desertificadas e, conseqüentemente, no estabelecimento de ações que darão suporte às medidas de prevenção, reabilitação e recuperação das áreas degradadas, por parte do poder público e da sociedade civil organizada, além de definir a prioridade geográfica de maior urgência de intervenção no combate à desertificação.

O processo de desertificação pode ser caracterizado como um ciclo vicioso, onde "suas causas também são seus efeitos" (ARAÚJO *et alli*, 2002). O fenômeno se inicia com a degradação crescente da cobertura vegetal para suprir, essencialmente, demandas enérgicas (carvão vegetal) da população ou aberturas de novas áreas para pastagem. A partir deste início, com o curto regime de chuvas irregulares e torrenciais típico do semi-árido nordestino, começa a erosão nas áreas atingidas, que por sua vez causa a diminuição da capacidade de retenção de água pelos solos e a conseqüente redução de biomassa, uma vez que menores aportes de matéria orgânica chegam ao solo. No processo, a vegetação se torna cada vez mais rala e pobre em biodiversidade e porte, favorecendo a radiação solar que, por sua vez, disseca ainda mais o solo e acelera a erosão, aumentando a aridez, e retroalimentando um processo de "simplificação ecológica, onde a ação do homem tem tido papel fundamental".

Detalhando suas causas, o IBAMA (2003) lista os principais agentes considerados desencadeadores da desertificação:

- Expansão e intensificação de uso agrícola sobre terras secas, não respeitando sua capacidade de suporte;
- Redução dos períodos de pousio dos campos de cultivo ou pastagem, não atendendo o tempo necessário à sua recomposição;
- Utilização de técnicas de irrigação mal dimensionadas, não dispondo de adequado sistema de drenagem ou baseando-se na utilização de águas de qualidade duvidosa;
- Intensa coleta ou corte de plantas para alimentos, fins medicinais, energéticos, de construção civil ou assemelhados, reduzindo o material genético;
- Desmatamento indiscriminado, especialmente atingindo grandes extensões, encostas, nascentes, áreas de solo incipiente ou pobre;
- Queimadas, implementadas periódica e sistematicamente desassociadas à utilização de técnicas de manejo ou controle;
- Sobrepastoreio, ignorando a capacidade de suporte do ambiente;
- Mineração, realizada à parte de um sistema de manejo e recuperação dos recursos;
- Falta de políticas de uso da terra, para proceder ao zoneamento das áreas e disciplinar o uso e ocupação dos solos;
- Elevadas concentrações populacionais ou repentinos afluxos migratórios, sobrecarregando os recursos naturais;

- Falta de ajustes das atividades antrópicas às naturais flutuações do ambiente;
- Forças internacionais que estimulam a superexploração dos recursos; entre outros.

Por sua vez, considerando os aspectos climáticos, hidrogeológicos, morfodinâmicos, edáficos, fitogenéticos, zoogenéticos e antrópicos, resultam da desertificação as seguintes conseqüências (IBAMA, 2003):

- Redução da precipitação atmosférica e do episódico fornecimento de água ao solo;
- Redução de reservas hídricas;
- Elevação do lençol freático;
- Mudanças no macro e microclima;
- Aumento da aridez;
- Salinização dos solos e dos recursos hídricos;
- Exposição dos solos;
- Compactação dos solos;
- Impermeabilização dos solos;
- Acúmulo de substâncias tóxicas nos solos;
- Surgimento e movimentação de dunas;
- Atividade e aceleração de processos de erosão hídrica e eólica;
- Perda de nutrientes e microorganismos do solo;
- Mudanças no padrão de drenagem;
- Assoreamento de rios, reservatórios, áreas úmidas e sistemas marinhos;
- Mudanças na composição da vegetação;
- Redução das populações;
- Risco à extinção de espécies;
- Redução da biodiversidade (vegetal, animal e da paisagem);
- Colonização por invasoras;
- Redução da viabilidade de energéticos florestais;
- Desaparecimento da fauna nativa;
- Redução da viabilidade de materiais naturais de uso ou importância cultural;
- Perda de rebanhos;
- Perda de produtividade agrícola;
- Importação de produtos básicos;

- Mudanças nos sistemas de produção;
- Empobrecimento da população;
- Desestruturação da sociedade;
- Abandono de terras;
- Êxodo rural;
- Perda do conhecimento tradicional das áreas abandonadas;
- Fomento da instabilidade política na região;
- Redução das condições de saúde;
- Emigração;
- Aumento das tensões sociais em áreas receptadoras de migrantes;
- Criação de bolsões de pobreza;
- Aumento da dependência de benefícios do Estado; entre inúmeros outros.

VASCONCELOS SOBRINHO (1978) formulou as primeiras tentativas científicas no Brasil de determinar indicadores para os processos de desertificação, ao defender que "a desertificação é um fenômeno de sistemas no qual intervêm o clima, os solos, a flora, a fauna e o homem", sendo causada pela fragilidade dos ecossistemas frente à pressão excessiva exercida pelas populações humanas ou às vezes pela fauna autóctone, perdendo produtividade e capacidade de recuperação autônoma.

Em 1991 FERREIRA *et alli* (1994) sugeriram 19 indicadores de desertificação, a partir das proposições de RODRIGUES *et alli* (1992) feitas em 1982, baseando-se no critério de "presença/ausência" ao nível de microrregião. Segundo ARAÚJO *et alli* (2002), esta forma de análise "linearizou o efeito dos indicadores, desconsiderando seus pesos e suas classes de intensidade ou freqüência", pois muitos indicadores apresentavam ambivalência, sobreposição e/ou interação, comprometendo o modelo defendido pelos autores. Ao basear a análise em dados censitários e bibliográficos, o modelo deixou a desejar pela ausência de dados de campo que evidenciassem a dinâmica dos indicadores.

Outra questão falha na determinação destes indicadores de desertificação, também evidenciada por SAMPAIO & SAMPAIO (2002), diz respeito à escala dos dados, muitas vezes restritos a microrregiões consideradas "homogêneas", quando, na verdade, as tendências de comportamento espacial dos dados são desprezadas, mesmo considerando-se como unidade administrativa de trabalho o município. Assim, a precisão da análise cai, pois como localizar aqueles dados que não seguem fronteiras políticas,

como, por exemplo, o desmatamento? Técnicas de Processamento Digital de Imagens em Sensoriamento Remoto esclarecem a questão ao permitir, por exemplo, o registro da energia eletromagnética refletida pelos alvos terrestres em resolução espacial compatível com as escalas desejadas.

Com o propósito de uniformizar os procedimentos de identificação e monitoramento dos processos de desertificação, MATALLO (1999) propôs uma extensa e criteriosa metodologia que agrupa os indicadores em dois grandes grupos: Situação (Quadro 01) e Desertificação (Quadro 02). Esta classificação representa um marco referencial de consenso entre os pesquisadores da atualidade.

Como Indicadores de Situação, estão agrupados aqueles indicadores voltados aos dados sociais, econômicos e climáticos. Uma vez que o antropismo é determinante para a degradação ambiental, os dados sócio-econômicos caracterizariam áreas de risco à desertificação, assim como os indicadores de precipitação, insolação e evapo-transpiração – todos constantemente monitorados segundo métodos adequados. No outro grupo, como Indicadores de Desertificação propriamente ditos, estariam os indicadores ambientais: índices de vegetação, solos e recursos hídricos. Segundo o autor, os indicadores devem ser usados em combinação, “pois nenhum deles pode, sozinho, prover as informações necessárias para o diagnóstico da desertificação” (MATALLO, 1999). Apreende-se deste modelo a complexidade e, mais que a multidisciplinaridade, uma transdisciplinaridade do estudo dos processos de desertificação. São necessários diversos estudos regionais e locais, em escalas apropriadas e compatíveis, levando-se em consideração a grande diversidade do semi-árido brasileiro. Neste contexto, MATALLO (1999) concluiu que “o sistema de indicadores existentes, ainda que insuficientes e necessitando de desenvolvimentos, são os únicos instrumentos disponíveis para a compreensão do problema”.

VIANA & RODRIGUES (1999) propuseram um “Índice Interdisciplinar de Propensão à Desertificação”, construindo uma matriz de variáveis naturais, agrícolas, econômicas, demográficas e socais, diretamente relacionadas com o fenômeno. Aplicando um modelo estatístico multivariado, os autores elaboraram um índice para detecção de desertificação no Ceará, baseado nos indicadores propostos pela Convenção sobre Desertificação da ONU. Utilizaram uma formulação matemática fundamentada em 65 variáveis que representassem propensão à desertificação. Entretanto, devido à escala do problema na vasta região em estudo, o método deixa de observar as variações espaciais mencionadas por SAMPAIO & SAMPAIO (2002), ao

considerar a unidade de pesquisa por município, excluindo, por exemplo, as possibilidades de dados espectrais e temporais oriundos das imagens orbitais.

Quadro 01 – Indicadores de Situação: Social, Econômica e Climática.

Indicadores de Situação	Definição	Unidade de medida	Método	Periodicidade
Clima				
Precipitação	Quantidade de chuva que cai numa determinada região num certo período de tempo.	mm/dia/mês /ano	Coleta em estações meteoro-lógicas	Diário
Insolação	N° de horas diárias (duração) e intensidade de radiação total, o que permite que se calcule a evapotranspiração potencial.	Horas/ano	Coleta em estações meteoro-lógicas	Diário
Evapotranspiração	É a perda de água para a atmosfera, na forma de vapor. O seu conhecimento, associado com o ganho de água por meio da precipitação, permite determinar a disponibilidade hídrica de uma região.	mm/dia/mês /ano	Coleta em estações meteoro-lógicas	Diário
Sociais				
Estrutura de Idades	Indicador dos efeitos da desertificação sobre a população humana local. Pode ser expressa como a relação entre o n° de crianças, homens, mulheres e velhos em relação à população total.	% de homens. Mulheres, crianças e velhos em relação à população total	Censo demográ-fico	Decenal
Taxa de Mortalidade Infantil	N° de mortes de crianças, com menos de um ano, para cada mil nascidas vivas.	Óbitos/1000	Censo e Pesquisa hospitalar	A cada 10 anos para o censo e 2 anos para a pesquisa hospitalar
Nível Educacional	N° de anos com educação formal.	Pessoas/n° de anos de freqüência à escola	Pesquisa educacio-nal	Decenal ou quinqüenal
Econômico				
Renda Per Capita	Expressa a média de rendimentos por hab, permitindo verificar o nível de vida	US$ por hab por mês ou ano	Pesquisa amostral domiciliar	A cada 2 anos
Outro Uso do Solo Agrícola	Ocupação do solo agrícola por tipo de cultura (permanente, temporária, pastos nativos, pastos plantados, matas nativas)	Área/tipo de cultura	Censo Agrope-cuário	Decenal

Fonte: MATALLO, 1999.

Quadro 02 – Indicadores de Desertificação.

Indicadores de Desertificação	Definição	Unidade de medida	Método	Periodicidade
Biológicos				
Cobertura Vegetal	Porcentagem de uma determinada área com cobertura vegetal nativa. As mudanças da cobertura vegetal original são os primeiros indícios da ocupação humana. Sua importância fundamental está na proteção que exerce sobre o solo contra os efeitos erosivos. Sua eliminação ou diminuição, acompanhadas de técnicas inadequadas de uso e manejo dos solos, permite que se iniciem e acelerem os processos de desertificação.	% de cobertura vegetal nativa em relação à área total	Imagens orbitais	A cada 5 anos; anual ou a determinar
Estratificação da Vegetação	N° de estratos existentes numa determinada área. Em geral, os processos de desertificação uniformizam a vegetação em termos de estratos e n° de espécies. As áreas mais degradadas têm um único estrato.	N° de estratos	Pesquisa de campo por amostra de território	A determinar
Composição específica	Espécies nativas existentes na área. Por extinção ou eliminação natural do sistema, as espécies tendem a diminuir com o tempo. Isto se relaciona com o antropismo e os métodos inadequados de manejo.	N° de espécies	Pesquisa de campo por amostra de território	A determinar
Espécies indicadoras	Espécies associadas ao fenômeno de degradação de um ecossistema. Existem espécies que indicam o processo de empobrecimento do solo, seja por perda de fertilidade, por erosão ou salinização.	N° de espécies	Pesquisa de campo por amostra de território	A determinar
Físicos				
Índice de Erosão	Identifica o processo de desagregação e transporte de sedimentos pela ação da água ou dos ventos. Permite identificar os locais com maiores índices de degradação.	Não tem unidade específica. Sua gradação indica áreas Muito grave, Grave e Moderada.	Imagens orbitais	A cada 5 anos
Redução de disponibilidade hídrica	Redução da disponibilidade efetiva de recursos hídricos de superfície e/ou subterrâneos.	Vazão e nível dos lençóis subterra-neos	Monitora-mento hídrico	Anual ou a determinar

(continua na próxima página)

(continuação da página anterior)

Ind. Agrícolas				
Uso do solo agrícola	Ocupação do solo agrícola por tipo de cultura (permanente, temporária, pastos nativos, pastos plantados, matas nativas).	Área/tipo de cultura	Imagens orbitais	A cada 5 anos
Rendimento dos Cultivos	Quantidade de um determinado produto colhido por unidade de área. Existem parâmetros conhecidos para a produtividade das culturas nos vários tipos de clima.	kg/ha	Pesquisa Agrícola	A cada 1 ou 2 anos
Rendimento da Pecuária	Quantidade média de produção de carne e derivados para cada animal (por tipo de rebanho)	hab/km²	Coleta de informa-ção sobre a produção animal	A cada 1 ou 2 anos
Outro				
Densidade Demográfica	Razão do n° de habitantes por km². Pode ser aplicado a município, microrregião ou estado. Dada as condições de semi-aridez, as condições dos solos, a disponibilidade de água da região e a capacidade de suporte da mesma, adotou-se como fator de pressão sobre o meio ambiente, a densidade igual ou superior a 20 hab/km². As informações são coletadas de dados censitários.	hab/km²	Censo	Decenal

Fonte: MATALLO, 1999.

Pelas facilidades de Análise Espacial com dados advindos de imagens de satélite, ACCIOLY *et alli* (2001) afirmam que "um dos indicadores da desertificação é a redução da cobertura de plantas perenes", aliado à degradação dos solos em áreas com menor cobertura vegetal. Segundo os autores, estas duas condições provocam o aumento do albedo das superfícies sujeitas à degradação.

Portanto, no contexto desta pesquisa, referente aos indicadores de desertificação, observou-se que:

a) o consenso das referências bibliográficas indica as reais possibilidades de extração de informações pertinentes à detecção de processos de desertificação através de imagens de satélite;

b) a complexidade dos indicadores propostos e as reais condições de aquisição de dados no âmbito de uma pesquisa acadêmica no Brasil não permitem uma abrangência universal dos indicadores propostos;

c) uma combinação de indicadores de desertificação pode trazer uma valiosa contribuição à pesquisa científica na região em estudo, a partir da manipulação e análise dos dados disponíveis e significativos para a escala e área de estudo proposta;

d) a urgência que o problema requer frente aos novos desafios para a sociedade brasileira, especialmente no campo do desenvolvimento sustentável, justificam a aquisição, modelagem e tratamento dos dados do maior número possível dos indicadores propostos pelos autores.

Uma vez que os solos predominantes na área de estudo têm características semelhantes quanto à fragilidade (erosão) e deficiência em matéria orgânica (SUDENE, 1975; EMBRAPA, 1999), considerou-se para a detecção de desertificação na área de estudo os seguintes indicadores, da classificação proposta por MATALLO (1999) e que são essenciais à compreensão do fenômeno na Região de Xingó:

a) Indicadores de Situação:

- Precipitação Pluviométrica

b) Indicadores de Desertificação:

- Cobertura Vegetal
- Estratificação da Vegetação
- Uso do Solo Agrícola
- Densidade Demográfica

A metodologia consistirá, então, em formular um índice de detecção de áreas desertificadas ou passíveis de desertificação, baseando-se nos critérios acima mencionados e modelados através das técnicas de Processamento Digital de Imagens orbitais, integradas a um Sistema de Informação Geográfica, conforme será apresentado posteriormente.

2.3 O domínio da Caatinga

2.3.1 Descrição Geográfica

A característica típica de dispersão da vegetação no domínio do semi-árido, predominando as espécies arbustivas e o substrato herbáceo, permitindo facilmente a passagem dos raios solares, induziu os habitantes primitivos da região a denominá-la de caatinga (Figura 08), isto é, “mata clara”, em tupi-guarani.

Figura 08 – A biodiversidade da Caatinga na Reserva Ecológica de Xingó/AL.

Fonte: MOURA, 2003.

O Nordeste brasileiro tem em torno de 80% de sua extensão classificada como semi-árida, possuindo cerca de 34 milhões de hectares com Caatinga (Figura 09) e expandindo-se pelos nove estados que compõem a região (REIS, 1984). Os restantes 20% são formados, basicamente, pela mata Atlântica, cerrados e zonas de coqueirais. “A Caatinga, seu principal componente, além de rigorosamente atingida pela seca, sofre um processo de devastação provocado pelo próprio homem”. Portanto, as tecnologias que permitam mapear os processos de desertificação revestem-se de fundamental importância para a proteção das áreas naturais ainda existentes e, também, para a recuperação de áreas degradadas do meio ambiente.

Segundo LINS & ALBUQUERQUE (2001), em relação à área, os estados da região têm mais de 50% de seu território inserido no semi-árido, com exceção de Minas Gerais (9,4%) e Alagoas (42,8%). O Censo 2000 evidenciou a mudança na estrutura zonal da população, indicando que a maioria da população (56,5%) passou a viver nas áreas urbanas, exceto no Piauí, onde a população rural é de 53,5% (IBGE, 2003).

Podem-se obter diversos conceitos de regionalização, prevalecendo, entretanto, aqueles que preservam a noção de “um conjunto de lugares contíguos, similiares ou relacionados entre si, segundo critério previamente definido” (LINS & ALBUQUERQUE, 2001).

Assim, para uma melhor compreensão da área de domínio da Caatinga, adotaram-se os critérios referentes ao clima, relevo, solo, hidrografia e vegetação para uma melhor apropriação das características deste ecossistema.

2.3.2 Clima

Segundo ANDRADE-LIMA (1981), o clima na região é tropical-quente e seco ou semi-árido do tipo BShs’w’, na classificação de Köppen, ou Xerotermomediterâneo quente e seco acentuado e Termomediterrâneo de seca média, de acordo com a classificação de Gaussen.

Caracteriza-se pela forte insolação, baixa nebulosidade, elevadas taxas de evaporação, temperatura constante e relativamente alta, além de um regime de chuvas marcado pela escassez, irregularidade e concentração das precipitações num curto período de aproximadamente três meses (LINS & ALBUQUERQUE, 2001). As chuvas são convectivas e ocorrem sob a forma de fortes aguaceiros de rápida duração, o que favorece a erosão dos solos pelo rápido escoamento e baixa taxa de infiltração dos solos, agravando as condições de umidade das plantas.

Durante o fenômeno do El Niño, no Pacífico Sul, ocorrem as secas prolongadas na região (LINS & ALBUQUERQUE, 2001).

Em média, a precipitação pluviométrica na região situa-se entre 350 e 800 mm/ano, porém, a elevada taxa de evapotranspiração potencial (2.000 mm/ano), combinada com uma insolação média de 2.800 h/ano, caracteriza o alto índice de aridez observado em toda a extensão das caatingas. As médias mensais de temperatura situam-se entre 23° e 27°C, com umidade relativa do ar em torno de 50% (SUDENE, 1983). Na estação chuvosa, entretanto, pode ocorrer grande variação de temperatura entre o dia e a noite (ANDRADE-LIMA, 1981).

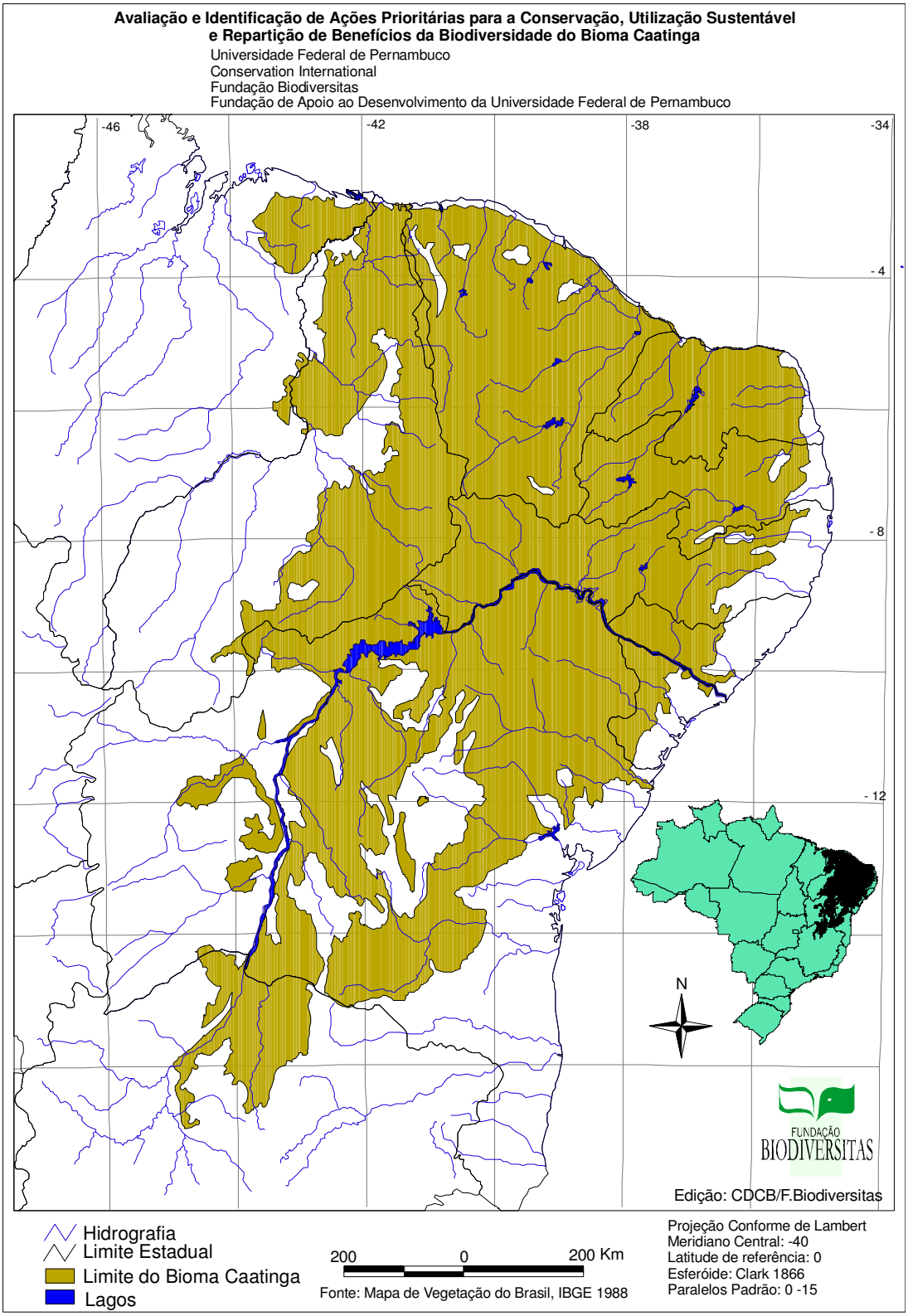


Figura 09 – O domínio da Caatinga no Nordeste brasileiro.

Fonte: UFPE, 2003.

2.3.3 Relevo

Predomina o relevo aplainado, suavemente ondulado nos pediplanos e pedimentos sertanejos, “com maciços e inselbergues residuais, bem como escarpas de falhas e cristas estruturais, além de formas tabulares de ‘cuestas’, nas áreas sedimentares” (LINS & ALBUQUERQUE, 2001). Neste aspecto, a drenagem é pouco encaixada em vales largos e de vertentes pouco inclinadas, pouco favorecendo a barragem dos rios, exceto pelo rio São Francisco, principalmente nas regiões de cânions entre Delmiro Gouveia/AL e Pão-de-Açúcar/AL. Entretanto, algumas construções de pequenas barragens têm sido executadas em boqueirões superimpostos por cursos d’água em determinadas cristas residuais, favorecendo a perenização de rios na região para minimizar os efeitos das secas. No estado de Alagoas, contudo, pode ocorrer um relevo forte ondulado e montanhoso, como em Olho D’Água do Casado, com pequenos afloramentos de arenito do Siluriano (SUDENE, 1975) em áreas sedimentares.

2.3.4 Solos

Basicamente, predominam no semi-árido os solos com maior teor de areia na parte sedimentar do Arenito Paleozóico e, na feição argilosa associada com silte e areia, no Cristalino do Pré-Cambriano. Estes podem ser pedregosos, pobres em matéria orgânica, mas com regular teor de cálcio e potássio (Quadro 03). Segundo LINS & ALBUQUERQUE (2001), “os solos rasos e pedregosos são derivados principalmente de rochas cristalinas, praticamente impermeáveis, nas quais as possibilidades de acumulação de água no subsolo se restringem às zonas fraturadas”, dependendo, na maior parte, do relevo.

2.3.5 Hidrografia

Devido ao regime limitado de precipitação pluviométrica, aliado à reduzida capacidade de retenção de água pelos solos rasos na região do semi-árido brasileiro, o regime dos rios é basicamente temporário, atingindo o ponto de esgotamento no mês subseqüente ao término da estação chuvosa, ficando, assim, de 100 a 200 dias secos ao ano. Exceção se faz ao rio São Francisco que é perene durante todo o ano, embora os índices de vazão venham decaindo nos últimos anos, de acordo com registros

sistemáticos da CHESF (2001), propiciando, inclusive, uma grave crise no fornecimento de energia elétrica para o Nordeste, como verificado em 2001.

Assim, constata-se que a hidrografia na região é, essencialmente, formada por rios intermitentes, de cursos retilíneos em leitos rasos e rochosos, muitas vezes preenchidos com material arenoso em estreitas faixas de aluvião (LINS & ALBUQUERQUE, 2001), destacando-se as bacias do São Francisco, do Parnaíba, do Nordeste oriental, de Sergipe e da Bahia.

Quadro 03 – Solos predominantes na Caatinga.

Solo	Localização*	Características básicas**
Latossolo Amarelo	Topos e vertentes de relevo suave ondulado	Não hidromórfico, com argila de atividade baixa, fortemente ácidos e de baixa fertilidade natural, possuem perfis bem diferenciados, com profundidade variando de 20cm a 1m.
Latossolo	Tabuleiros baixos estreitos	Não hidromórficos, baixo conteúdo de minerais primários, inexistência de argila natural, elevado grau de estabilidade dos agregados, alta resistência ao intemperismo e à erosão devido a baixa mobilidade da fração argila, normalmente profundos ou muito profundos (> 2m).
Luvissolo Crômico Órtico	Vertentes íngremes de entalhes e relevo suave ondulado	Não hidromórfico, com argila de atividade alta, alta fertilidade natural por apresentar na sua composição mineralógica elevados teores de minerais primários, fontes de nutrientes para as plantas; moderadamente profundos a rasos (variando de 30 a 90cm), textura variando abruptamente de arenosa para argilosa; altos níveis de degradação ambiental.
Neossolo Litólico	Topos das cristas e relevo plano	Pouco desenvolvido raso a muito rasos, com um horizonte A diretamente sobre a rocha (R) ou sobre materiais da rocha em grau bastante avançado de intemperização; existência de algumas culturas de subsistência (milho e feijão), algodão e palma forrageira; devido às limitações fortes a muito forte de água, pedregosidade, rochosidade e pequena profundidade têm pouca utilização para a agricultura; muito suscetíveis à erosão, sobretudo nas áreas de relevo acidentado, sendo possíveis de utilização apenas pelos sistemas agrícolas primitivos com uso de implementos manuais.
Afloramento Rochoso	Encostas íngremes e relevo plano	Podem ser de origem sedimentar ou cristalina. São rochas expostas em processo intemperismo.
Neossolo Regolítico	Baixas vertentes e topos de relevo tabular das áreas sedimentares	Pouco desenvolvidos, arenosos, às vezes com cascalho ou cascalhentos, muito profundos a moderadamente profundos, muito porosos, apresentam teores médios a altos de minerais primários facilmente decomponíveis; a drenagem está em função da profundidade do fragipan e da rocha, podendo variar de moderada a excessiva, mas são normalmente bem drenados; estrutura maciça moderadamente coesa ou muito coesa, de consistência dura quando seco; ocupam grandes extensões do trópico semi-árido, sendo utilizados em culturas de ciclo curto (mandioca, milho, feijão, algodão herbáceo, palma forrageira), cajueiros e pastagens.
Neossolo Quartzarênico	Relevo plano na base das encostas íngremes com afloramento rochoso	São basicamente formados por grãos de quartzo. São solos bem drenados de origem sedimentar utilizado principalmente para o cultivo de feijão e milho e de *Anacardiun occidentale* (caju).

Fonte: Adaptado de *LINS & ALBUQUERQUE (2001), **SUDENE (1975) e **EMBRAPA (1999).

2.3.6 Vegetação

Predomina na região do semi-árido brasileiro o ecossistema de caatinga, onde a vegetação pode ser de porte arbóreo com altura do dossel maior que 10 m e diâmetro ao nível do peito maior que 20 cm (Figuras 10 e 11) ou arbustivo com árvores esparsas, possuindo um porte médio de 2,5 metros de altura e arvoretas com mais de 3 m, e diâmetro ao nível do peito não ultrapassando mais que 10 cm (Figura 12). Na área concentram-se mais arbustos eretos e ervas ruderais que florescem no período chuvoso, secando em seguida (Andrade-lima, 1981). As espécies vegetais são lenhosas, decíduas e espinhentas, com elevado grau de xerofilismo (LINS & ALBUQUERQUE, 2001), muitas delas são das famílias Malvaceae, Caesalpiniaceae, Mimosaceae, Fabaceae, Bromeliaceae, Euphorbiaceae e Cactaceae (SUDENE, 1975).

A vegetação de Caatinga possuí características fisiológicas e anatômicas que impedem ao máximo a perda d´água ex: o caule suculento das Cactaceae, a cutícula espessa das Bromeliaceae, as túberas aqüíferas de *Spondias tuberosa* (umbu) Anacardiaceae (ANDRADE-LIMA, 1972; BAUTISTA, 1988) e raízes bem desenvolvidas, grossas e penetrantes, para aumentar a adaptação às condições de semi-aridez da região (LINS & ALBUQUERQUE, 2001).

Segundo ANDRADE-LIMA (1981), a vegetação de Caatinga cresce em diferentes tipos de solos, de acordo com a profundidade, fragilidade e composição arenosa, florescendo na estação chuvosa, principalmente as herbáceas e escavando-se no solo durante a estação seca. Entretanto, duas ou três espécies podem manter suas folhas verdes, como a *Ziziphus joazeiro* Mart. (juazeiro) e a *Maytenus rigida* Mart. (bom nome).

Como dito, de um modo em geral, a caatinga apresenta diferenças fisionômicas quanto ao porte (arbóreo, arbóreo-arbustivo e arbustivo) e a densidade (densa, pouco densa e aberta). Na caatinga de densidade aberta ou pouco-densa a penetração de raios solares permite o desenvolvimento do substrato herbáceo, com grande dispersão de indivíduos. Entretanto, devido ao menor ou maior grau de xerofilismo (relacionado com o grau de aridez onde ocorre), a vegetação também pode ser classificada em Caatinga hipoxerófila e hiperxerófila (SUDENE, 1975).

Figura 10 – Caatinga Arbórea aberta, Reserva Ecológica de Xingó/AL.
Fonte: MOURA, 2003.

Figura 11 – Caatinga Arbórea densa, Reserva Ecológica de Xingó/AL.

Fonte: MOURA, 2003.

A caatinga hipoxerófila é menos seca que a caatinga hiperxerófila, pois se situa numa região de clima menos seco, na faixa bioclimática entre 120 a 150 dias biologicamente secos (dbs). As faixas bioclimáticas foram construídas a partir de dados meteorológicos da SUDENE (pluviométricos e de temperatura) da série de 1912 a 1985, associados à altitude, geologia, morfologia e solos, assim podem-se comprovar as áreas úmidas e como se reflete na vegetação (ASSIS, 2000). Suas espécies mais conhecidas são: *Caesalpinia pyramidalis* Tul. (catingueira), *Senna esplendida* (Vogel) Irwin & Barneby (canafístula), *Erythrina velutina* Willd (mulungu) e *Anadenanthera columbrina* Benth. (angico), dentre outras. Esta é a vegetação mais atingida pela destruição ambiental,

antropismo, onde se destacam as seguintes classes de solos: Neossolo Regolítico, Planossol Háplico, Luvissolo Crômico Órtico e Neossolo Litólicos.

Figura 12 – Caatinga Arbustiva pouco-densa, Reserva Ecológica de Xingó/AL.

Fonte: MOURA, 2003.

Por outro lado, a caatinga hiperxerófila se apresenta mais seca, estando inclusa na faixa bioclimática de 150 a 180 dbs (ASSIS, 2000), constituindo-se em uma vegetação típica do semi-árido, predominando na região do São Francisco e do Sertão (SUDENE, 1975) Tem pequeno porte, arbustiva ou arbustiva-arbórea, onde se destacam as seguintes espécies: *Aspidosperma pyrifolium* Mart. (pereiro), *Caesalpinia pyramidalis* Tul. (catingueira), *Pilosocereus gounellei* Weber. (xique-xique), *Sideroxylon obtusifolium* (Roem & Schult.) (quixabeira) e *Maytenus rigida* Mart. (bom nome), dentre outras. Nesta vegetação predominam os solos Neossolo Regolítico, Neossolo Litólico, Planossol Solódico e Luvissolo Crômico Órtico.

Existe ainda uma outra classe de caatinga: de várzea e mata ciliar com plantas aquáticas ex: *Eichornia paniculata* (Mart.) Solms e *Echinoddorus grandiflora* (Cham. et Schlecht.) Micheli, que possui fisionomia semelhante à caatinga hipoxerófila, arbustiva e

pouco densa, manifestando-se nas margens e pequenas ilhas do rio São Francisco, especialmente nos municípios de Belo Monte/SE e Pão-de-Açúcar/AL.

Concluindo, o Trópico do Semi-árido brasileiro, sob o ponto de vista ambiental, possui um sistema dinamicamente equilibrado, formado por plantas, clima, geologia morfologia e solos, cujas espécies vegetais adaptaram-se à escassez de água, predominando os solos delgados e pouco desenvolvidos, exigindo manejo agropecuário adequado à sua capacidade de suporte.

2.4 O desafio do Desenvolvimento Sustentável no semi-árido nordestino

Água, ar, solo, fauna e flora são os recursos naturais dos quais depende toda a vida no planeta. Nas últimas décadas, entretanto, a preocupação com a questão ambiental tem se intensificado, à medida que a sociedade vem tomando consciência de que não se podem explorar arbitrariamente esses recursos naturais.

Ao longo da História, praticamente todas as principais civilizações dependiam essencialmente dos produtos da biomassa para sua vida material: “alimentos, ração animal (como é o caso até hoje), e também combustível, fibras para vestimentas, madeira para construção de abrigos e mobiliário, plantas curativas” (SACHS, 2000). A questão não é retroceder aos modos ancestrais de vida, mas sim apropriar-se dos conhecimentos adquiridos ao longo de experiências ancestrais no trato com os ecossistemas, aliando-se às ciências de ponta para, enfim, promover o novo paradigma do “biocubo”, baseado na biodiversidade, biomassa e bioteconologia (Figura 13). Isto requer uma abordagem holística e interdisciplinar, onde todos devem objetivar o uso e aproveitamento dos recursos da natureza, uma vez que as atividades econômicas estão indissoluvelmente associadas ao ambiente natural.

Segundo o Relatório Brundtland (1987) da ONU, o desenvolvimento sustentável “responde às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras de satisfazer as suas próprias necessidades”, transcendendo a conservação intacta do capital físico, onde “os resultados, e não os meios, devem ser sustentáveis, a não ser que os recursos ambientais que servem como matéria-prima sejam valorizados por si próprios” (CUÉLLAR, 1997), como no caso da Reserva Ecológica de Xingó.

Dessa forma, o desafio do desenvolvimento sustentável consiste, basicamente, em esclarecer como a moderna civilização da biomassa conseguirá cancelar a enorme dívida social histórica, e ao mesmo tempo, reduzir a dívida ecológica. SACHS (2000) menciona o fato de que "o uso produtivo não precisa necessariamente prejudicar o meio ambiente ou destruir a diversidade", pois a aplicação das modernas ciências pode desenvolver sistemas de produção artificiais, análogos aos ecossistemas naturais, adaptados às diferenças agroclimáticas e sócio-econômicas e altamente produtivos. Assim, a relevância social, a prudência ecológica e a viabilidade econômica são os três pilares do desenvolvimento sustentável.

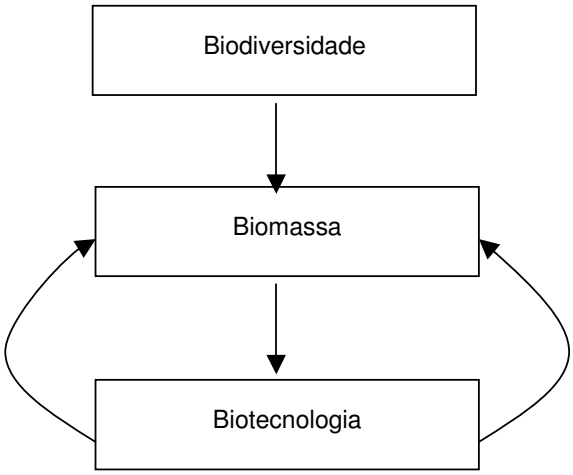


Figura 13 – O paradigma do "Biocubo".
Fonte: Adaptado de SACHS, 2000.

No caso brasileiro, o clima tropical apresenta uma vantagem competitiva natural, pois permite produtividades maiores em relação àquelas das zonas temperadas. Algumas atividades agrícolas, como a fruticultura irrigada e a piscicultura em tanques-rede do sertão do São Francisco, por exemplo, têm comprovado esta vantagem particular do semi-árido nordestino. Claro que é necessário ter cuidado com os frágeis ecossistemas locais, observando os limites de carga do bioma Caatinga.

Entretanto, a simples conservação da natureza não pode ter exclusivamente a opção de "não-uso" dos recursos naturais, mas sim uma busca pela harmonia com as necessidades das comunidades que habitam esses ecossistemas, onde o simples crescimento dê lugar ao desenvolvimento econômico. Embora o desenvolvimento

sustentável seja evidentemente incompatível com “o jogo sem restrições das forças do mercado”, necessário se torna implementar estratégias de economia de recursos urbanos e rurais em atividades “ecoeficientes” (reciclagem, aproveitamento de lixo, conservação de energia, água e recursos, infraestruturas, dentre outras), respeitando a diversidade cultural. Neste contexto, MORIN (2000) admite que “a Humanidade deixou de constituir uma noção apenas biológica e deve ser, ao mesmo tempo, plenamente reconhecida em sua inclusão indissociável na biosfera”.

Ao ampliar o tema para o DLIS, observa-se que “quando se fala em desenvolvimento fala-se, portanto, em melhorar a vida das pessoas (desenvolvimento humano), de todas as pessoas (desenvolvimento social), das que estão vivas hoje e das que viverão amanhã (desenvolvimento sustentável)”, segundo FRANCO (2000).

Assim, a estratégia para o desenvolvimento sustentável no semi-árido brasileiro consiste em reunir o conhecimento científico disponível e aplicá-lo de forma sensível à questão ambiental, especialmente devido as fragilidade e lenta restauração da caatinga, não esquecendo as necessidades históricas e urgentes de crescimento econômico destas populações, baseando-se no “ecodesenvolvimento”. Como afirmou SACHS (2000), “já é tempo de darmo-nos conta de que a miséria sertaneja não é uma fatalidade geográfica”.

3. O SENSORIAMENTO REMOTO E OS SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA NO MONITORAMENTO AMBIENTAL

3.1 O Processamento Digital de Imagens (PDI) na detecção de áreas degradadas

3.1.1 Princípios do Sensoriamento Remoto

O Sensoriamento Remoto trata da aquisição de dados de um objeto ou cena por um sensor que está distante dos alvos (COLWELL, 1983). Fotografias aéreas, imagens de satélite e de radar são exemplos de produtos gerados a partir de dispositivos remotamente sensoriados.

Os sensores utilizados em Sensoriamento Remoto basicamente registram a radiação eletromagnética – uma energia transmitida pelo espaço na forma de ondas elétricas e magnéticas (STAR & ESTES, 1990). JENSEN (1999) afirma que os sensores remotos são feitos por detectores que registram comprimentos de onda específicos no espectro eletromagnético (Figura 14). Este espectro abrange o intervalo de radiação eletromagnética que vai desde as ondas cósmicas, até as ondas de rádio.

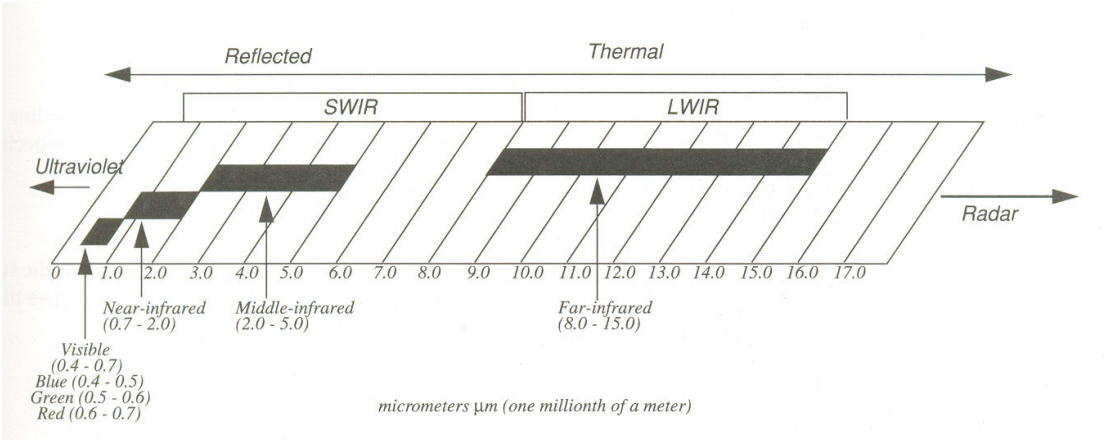


Figura 14 – Espectro Eletromagnético.

Fonte: ERDAS (1999).

A diferença no comprimento de onda da energia eletromagnética está diretamente relacionada com a quantidade de energia que a onda carrega, diferenciando, assim, as formas de radiação (refletida e emitida – ou termal), podendo-se afirmar que quanto menor o comprimento de onda da radiação, maior é a sua energia (NOVO, 1989).

Segundo MOREIRA (2003), “para o sensoriamento remoto, a energia solar é a base de todos os princípios em que se fundamenta essa tecnologia”, pois mesmo os sensores ativos, como os radares, necessitam da radiação solar para manter suas reservas de energia, necessárias ao funcionamento dos equipamentos e permanência em órbita da Terra. “Quando o Sol é utilizado como fonte de energia, em Sensoriamento Remoto, o que se mede é a energia refletida pelos diversos objetos da superfície terrestre” (INPE, 2001).

O processo de fusão nuclear que ocorre na zona radioativa do Sol produz várias radiações eletromagnéticas, com diferentes comprimentos de onda contidos no intervalo entre 0,3 a 4,0 µm, sendo por esta razão denominadas de ondas curtas (Figura 15). Por outro lado, as “radiações produzidas pela emissão de energia da Terra são chamadas de ondas longas. Alem disso, o Sol emite radiações eletromagnéticas com diferentes intensidades radiantes, e as de maiores intensidades localizam-se na região do visível e do infravermelho próximo” (MOREIRA, 2003), onde a maioria das atividades em Sensoriamento Remoto é desenvolvida. Outras regiões, ou faixas compõem o espectro eletromagnético, de acordo com suas características físicas de detecção de energia (JENSEN, 1999).

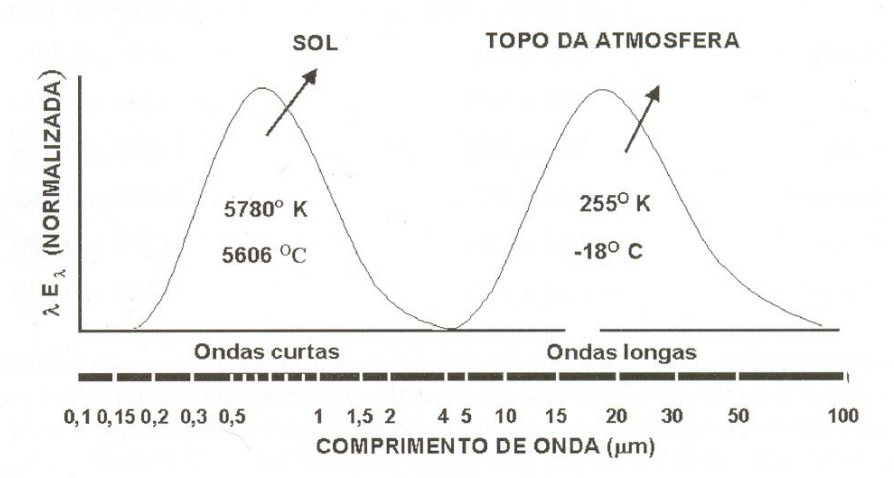


Figura 15 – Espectro da emissão do Sol e da Terra e absorção pelos elementos da atmosfera.
Fonte: MOREIRA (2003).

Os sensores são equipamentos formados por sistemas fotográficos ou óptico-eletrônicos utilizados para a coleta da energia eletromagnética refletida ou emitida pelos alvos terrestres, convertendo-a em sinal passível de ser registrado para uma posterior

extração de informações do ambiente (NOVO, 1989). O INPE (2001) afirma que os elementos básicos da fase de aquisição de dados pelos sensores são: “energia radiante, fonte de radiação, objeto (alvo), trajetória e sensor (sistema de imageamento óptico e detector)”.

O ciclo total do processo envolve simultaneamente a emissão, absorção, reflexão e transmissão da energia eletromagnética. Neste processo, a atmosfera interage com a radiação solar, interferindo na energia final registrada pelo sensor (FLORENZANO, 2002). De fato, segundo MOREIRA (2003), para o Sensoriamento Remoto, “o estudo da atmosfera terrestre como um todo é fundamental, porque constitui um meio natural que interfere tanto na radiação incidente (irradiância), quanto na parte da radiação que é refletida ou emitida (radiância) pelos alvos da superfície que, eventualmente, será coletada pelos sistemas sensores”, manifestando-se na trajetória (fenômenos de refração e difração), na velocidade e absorção em determinadas faixas do espectro eletromagnético. Ao atravessar a atmosfera terrestre e chegar à superfície terrestre, a radiação solar é fortemente atenuada pela “reflexão, espalhamento e absorção pelos constituintes atmosféricos, por partículas dispersas e nuvens” (Figura 16).

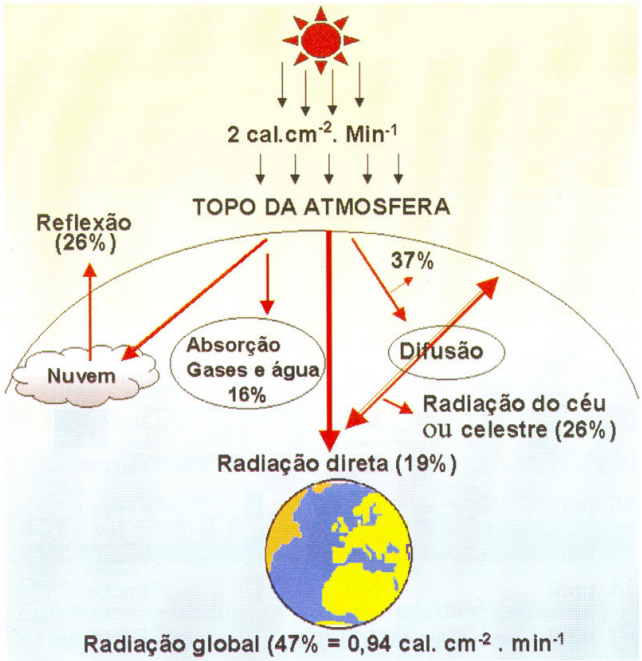


Figura 16 – “Causas das atenuações da energia solar ao atravessar a atmosfera terrestre”.
Fonte: MOREIRA (2003).

Devido às diferentes propriedades bio-físico-químicas, todos os alvos da superfície terrestre (rochas, corpos d'água, vegetação, etc.) absorvem uma porção específica do espectro eletromagnético, permitindo uma assinatura identificável de radiação eletromagnética. Assim, conhecendo qual comprimento de onda é absorvido por um determinado alvo e também qual a intensidade de sua reflectância, torna-se possível analisar uma imagem de Sensoriamento Remoto e obterem-se interpretações acuradas de uma determinada cena orbital (SUITS, 1983; STAR & ESTES, 1990). Esse comportamento espectral dos alvos é chamado de "assinatura espectral", ou seja, um valor específico de reflectância dentro do espectro eletromagnético (Figura 17), permitindo ao Sensoriamento Remoto distinguir os diversos materiais ou alvos entre si.

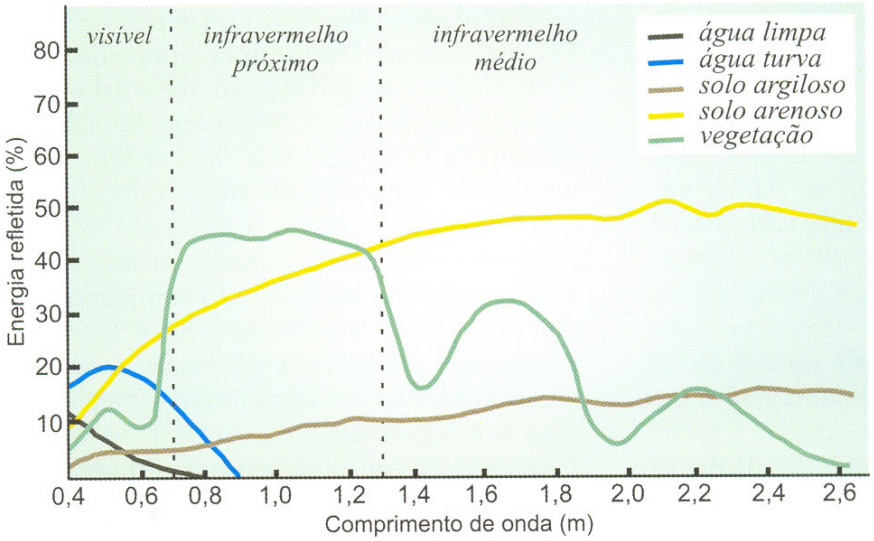


Figura 17 – Curvas espectrais de diferentes alvos.

Fonte: FLORENZANO (2002).

Segundo NOVO (1989), os sensores podem ser classificados em passivos ou ativos. Os sensores passivos detectam a radiação solar refletida ou a radiação emitida pelos objetos da superfície terrestre, dependendo, portanto, "de uma fonte de radiação externa para que possam operar", como, por exemplo, os sistemas fotográficos. Por outro lado, os sensores ativos produzem sua própria radiação, como os radares, por exemplo.

Outra classificação diz respeito ao tipo de produto gerado pelos sensores orbitais, dividindo-se em:

a) Não-imageadores: não fornecem uma imagem da superfície sensoriada; como exemplo, os radiômetros (com saída em dígitos ou gráficos) e os espectro-radiômetros (utilizados para assinatura espectral dos alvos);
b) Imageadores: fornecem informações sobre a variação espacial da resposta espectral da superfície observada (cena), sendo possível gerar imagens desta superfície. Subdividem-se em:

b.(1) sistema de quadros (*frame*): adquirem a imagem da cena em sua totalidade num mesmo instante, como, por exemplo, as imagens RBV (*Return Beam Vidicon*), coletadas à bordo dos satélites LandSAT 1, 2 e 3, já desativados;

b.(2) sistema de varredura:

- mecânica: utiliza um sistema óptico grande-angular, onde a cena é captada através de um arranjo linear de detectores ou elemento de resolução (*pixel*), à medida que a plataforma se locomove ao longo da órbita, sendo em seguida convertido para um sinal digital passível de transmissão; são exemplos os sensores MSS (LandSAT 1, 2 e 3) e TM (LandSAT 4, 5 e 7).
- eletrônica: tem o mesmo princípio de funcionamento do anterior, porém utilizando um sistema eletro-óptico-eletrônico, onde os dados são originados digitalmente; são exemplos os sensores HRV (SPOT 4 e 5);

Muitos são os sistemas orbitais em atividade atualmente. Nas aplicações civis, destacam-se os sistemas de observação da Terra, com multi-bandas e multi-sensores, tais como o LandSAT 5 TM e 7 ETM+, o SPOT 4 e 5, o Ikonos 2 , o QuickBird, o Aster e o CBERS-2.

De uma maneira em geral, esses sistemas apresentam as seguintes premissas:

- Órbita (Figura 18):
  - Circular, para garantir imagens de diferentes regiões da Terra com mesma escala e resolução;
  - Sol-síncrona: síncrona com o Sol (heliossíncrono), garantindo condições constantes de iluminação da superfície terrestre; (altitude de 200 a 1.000 km);

- Polar: direção circular norte – sul que permite observar toda a superfície da Terra; inclinação de 90°; altitude de 200 a 1.000 km;
- Geoestacionária: inclinação de 0°, constituindo-se de uma única órbita acima do Equador, mantendo, dessa forma, a mesma posição em relação a um ponto fixo na superfície e obtendo sempre imagens da mesma face da Terra; altitude de 35.000 km;

- Imageamento cíclico da superfície, garantindo observações periódicas e repetitivas dos mesmos lugares;
- Horário de passagem do satélite atendendo às solicitações de diferentes áreas de aplicação.

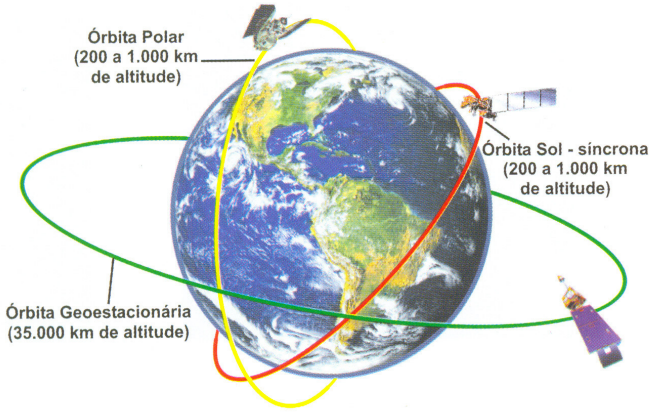


Figura 18 – Órbitas de satélites artificiais.

Fonte: FLORENZANO (2002).

Desenvolvida pela NASA, a série de sistemas LandSAT (Quadro 04) atualmente está na versão 7, operando com o sistema sensor ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*), onde, além de contar com as bandas disponíveis no LandSAT 5 TM (avançado sistema sensor de varredura multiespectral, operando em 7 faixas espectrais), conta com uma banda pancromática de resolução espacial igual a 15m e um canal termal com resolução espacial de 60m. Um espelho de varredura capta a energia proveniente da cena, oscilando perpendicularmente à direção de deslocamento do satélite em sentido leste-oeste. Depois de corrigido, o sinal detectado pelo sistema LandSAT é amplificado e convertido em sinal digital, sendo transmitido via telemetria, no Brasil desde 1973, para a Estação de Recepção do INPE, em Cuiabá/MT (Figura 19) .

Uma vez armazenadas, as imagens são enviadas à Divisão de Geração de Imagens – DGI - no Centro Espacial de Cachoeira Paulista/SP (Figura 20) e ficam disponíveis para o público em geral, através de diversos produtos (cópias em papel em diferentes escalas e formatos, fitas digitais e CD-ROM) e níveis de correção (Quadro 05).

Quadro 04 – Características principais dos sistemas sensores LandSAT 5 e 7.

Padrão	Característica
Órbita	Circular 98,2° heliossíncrona
Período	99 min
Altitude	705 km
Cruzamento	09:45 h
Ciclo	16 dias
Órbita adjacente	172 km
Velocidade	7,7 km/s
Tempo de obtenção de uma cena	24 s

Fonte: INPE (2001).

Um mapa base, na escala de 1:10.000.000, foi elaborado pelo INPE/DSG-5ª.DL, localizando as cenas disponíveis para o Brasil e parte da América do Sul e identificando-as por órbitas (*path*) e pontos (*row*). Cada cena cobre uma área de 185 km x 185 km, com bandas espectrais cuja resolução espacial varia entre 15 e 120m e aplicações específicas (Quadro 06).

Figura 19 – Estação de Recepção LandSAT do INPE em Cuiabá/MT.

Fonte: INPE (2003).

Figura 20 – Vista aérea do Centro Espacial de Cachoeira Paulista/SP.

Fonte: INPE (2003).

Quadro 05 – Níveis de Correção disponibilizados pelo INPE para imagens LandSAT.

Nível	Correção
Nível 0R	Dados brutos com as bandas espectrais alinhadas espacialmente
Nível 1R	Imagem com correção radiometrica sem associação com sistema de projeção
Nível 1G	Imagem com correções radiometrica e geométrica associada a um sistema de projeção

Fonte: INPE (2003).

Nesta pesquisa, serão utilizadas imagens dos sistemas LandSAT 5 e 7, pelas facilidades de aquisição junto ao INPE, através do Laboratório de Geoprocessamento do Instituto Xingó, além da extensa e consolidada bibliografia científica disponível sobre Sensoriamento Remoto aplicado ao monitoramento ambiental para estes sensores.

3.1.2 PDI e Extração de Informações em imagens de satélite

A função primordial do PDI é “facilitar a identificação e a extração de informações contidas nas imagens” (CRÓSTA, 1993), removendo barreiras inerentes ao sistema

visual humano e objetivando uma posterior interpretação pelo usuário. Para isso são utilizados sistemas computacionais dedicados, onde as imagens brutas são processadas, analisadas e manipuladas, resultando em outras imagens com as informações específicas desejadas, após diversas técnicas de realce e modificação de sua estrutura espectral.

Quadro 06 – Características e aplicações das bandas espectrais do LandSAT 5.

Banda	Intervalo espectral (µm)	Principais características e aplicações das bandas *TM* do satélite LANDSAT-5
1	(0,45 - 0,52)	Apresenta grande penetração em corpos de água, com elevada transparência, permitindo estudos batimétricos. Sofre absorção pela clorofila e pigmentos fotossintéticos auxiliares (carotenóides). Apresenta sensibilidade a plumas de fumaça oriundas de queimadas ou atividade industrial. Pode apresentar atenuação pela atmosfera.
2	(0,52 - 0,60)	Apresenta grande sensibilidade à presença de sedimentos em suspensão, possibilitando sua análise em termos de quantidade e qualidade. Boa penetração em corpos de água.
3	(0,63 - 0,69)	A vegetação verde, densa e uniforme, apresenta grande absorção, ficando escura, permitindo bom contraste entre as áreas ocupadas com vegetação (ex.: solo exposto, estradas e áreas urbanas). Apresenta bom contraste entre diferentes tipos de cobertura vegetal (ex.: campo, cerrado e floresta). Permite análise da vanação litológica em regiões com pouca cobertura vegetal. Permite o mapeamento da drenagem através da visualização da mata galeria e entalhe dos cursos dos rios em regiões com pouca cobertura vegetal. É a banda mais utilizada para delimitar a mancha urbana, incluindo identificação de novos loteamentos. Permite a identificação de áreas agrícolas.
4	(0,76 - 0,90)	Os corpos de água absorvem muita energia nesta banda e ficam escuros, permitindo o mapeamento da rede de drenagem e delineamento de corpos de água. A vegetação verde, densa e uniforme, reflete muita energia nesta banda, aparecendo bem clara nas imagens. Apresenta sensibilidade à rugosidade da copa das florestas (dossel florestal). Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo a obtenção de informações sobre Geomorfologia, Solos e Geologia. Serve para análise e mapeamento de feições geológicas e estruturais. Serve para separar e mapear áreas ocupadas com *pinus* e *eucalipto*. Serve para mapear áreas ocupadas com vegetação que foram queimadas. Permite a visualização de áreas ocupadas com macrófitas aquáticas (ex.: aguapé). Permite a identificação de áreas agrícolas.
5	(1,55 - 1,75)	Apresenta sensibilidade ao teor de umidade das plantas, servindo para observar estresse na vegetação, causado por desequilíbrio hídrico. Esta banda sofre perturbações em caso de ocorrer excesso de chuva antes da obtenção da cena pelo satélite.
6	(10,4 - 12,5)	Apresenta sensibilidade aos fenômenos relativos aos contrastes térmicos, servindo para detectar propriedades termais de rochas, solos, vegetação e água.
7	(2,08 - 2,35)	Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo obter informações sobre Geomorfologia, Solos e Geologia. Esta banda serve para identificar minerais com íons hidroxilas. Potencialmente favorável à discriminação de produtos de alteração hidrotermal.

Fonte: INPE (2003).

Embora o ser humano seja capaz de reconhecer padrões distintos, o grande volume de dados oriundos das imagens orbitais impossibilita um processamento sem o auxílio da tecnologia digital, que alcançou enorme evolução nas últimas décadas, diminuindo custos ao mesmo tempo em que aumentou a capacidade de armazenamento e processamento dos dados.

As imagens orbitais são diferentes de outras imagens digitais em sua estrutura e resolução. Segundo CRÓSTA (1993), estas imagens têm natureza discreta e são constituídas "por um arranjo de elementos sob a forma de uma malha ou *grid*", onde cada célula, chamada de *pixel* (de *picture element*, em inglês) tem sua localização definida por um sistema de coordenadas *x*, *y* (linha e coluna), representando sempre uma área com as mesmas dimensões na superfície terrestre. Associado ao *pixel* existe um atributo *z*, indicando seu nível de cinza, conhecido por DN (do inglês, *digital number*), que varia do branco ao preto. Assim, uma imagem pode ser vista como uma matriz composta por milhares de linhas e colunas, onde cada elemento possui um nível de cinza específico, de acordo com a assinatura espectral do alvo imageado.

Qualquer imagem, como uma fotografia em papel, por exemplo, pode ser transformada em imagem digital, utilizando um equipamento *scanner*. No processo, também é gerada uma matriz com seus elementos em tamanhos pré-definidos e seus níveis de cinza proporcionais à tonalidade da imagem original, podendo ser manipulada por sistemas computacionais de processamento de imagem.

O termo "resolução" em PDI diz respeito à medida da habilidade que um determinado sensor possui de distinguir entre respostas que são semelhantes espectralmente ou próximas espacialmente (INPE, 2001). Divide-se em:

a) Resolução espacial: medida em metros, é "definida pela capacidade do sistema sensor em 'enxergar' objetos na superfície terrestre", sendo que quanto menor o objeto possível de ser observado, maior será sua resolução espacial (CRÓSTA, 1993); a maneira mais comum de ser determinada é pelo campo instantâneo de visada (IFOV) que define a área do terreno imageada a uma dada altitude num dado instante (*pixel*), um conceito teórico baseado nas propriedades geométricas do sistema sensor;
b) Resolução espectral: definida pelo número de bandas espectrais de acordo com sua largura do intervalo de comprimento de onda no EEM; quanto menor a largura do intervalo, maior será a resolução espectral do sensor;

c) Resolução radiométrica: definida pelo número de níveis digitais que representam os níveis de cinza de um *pixel*; "quanto maior o número de níveis, maior é a resolução radiométrica" (CRÓSTA, 1993).

Em sistemas sensores, também é utilizada uma outra resolução, a temporal, determinada pela freqüência com que o sensor volta a imagear a mesma cena (medida em dias ou horas).

3.1.3 Detecção de áreas degradadas

As atividades antrópicas no semi-árido se desenvolvem, essencialmente, através de manejos não sustentáveis, ocasionando diversas modificações nos alvos naturais sobre a superfície terrestre. Diversas pesquisas têm demonstrado o potencial do PDI na detecção de áreas degradas, a partir do estudo do comportamento espectral destes alvos, "delimitando os fenômenos que caracterizam a geodinâmica de uma região do semi-árido, através de texturas, matizes e relações horizontais entre os elementos das imagens orbitais" (MALDONADO, 2001).

Uma técnica de interferometria que combina imagens de radar e ópticas, por exemplo, aumenta o sinergismo da extração de informações. Em estudos geomorfológicos, noutro exemplo, a análise das curvas de nível em planícies aluviais sobrepostas a combinações multiespectrais evidencia as áreas de erosão ou de acumulação de material do solo. CARVALHO (2001), ao fazer uma abordagem multiescala para o monitoramento do processo de desertificação no semi-árido brasileiro, diz que a escolha metodológica de investigação do problema, associada à escolha dos indicadores, varia em função das escalas temporais e espaciais.

Assim, "as informações obtidas por sistemas sensores nos diferentes níveis de observação são complementares e integradas, parte de uma mesma realidade". Modificações no albedo, índices de vegetação e de brilho, mudanças na forma de uso e manejo da terra, observação das condições biológicas, físicas e químicas da água, além de variações nas paisagens naturais e radiação solar, dentre outros, são exemplos de aplicações em PDI voltadas ao estudo de áreas degradadas em estado de desertificação.

Uma combinação das bandas espectrais 5, 4 e 3 do sensor LandSAT 5 TM, permitiu a COSTA *et alli* (2001) uma interpretação das áreas de redução de biomassa na

caatinga, baseada nas diferentes respostas espectrais dos alvos sensoriados perceptíveis nas imagens. Ao cruzar com mapas de solos e pesquisas de campo, os autores identificaram o estado de conservação dos recursos naturais do município de Caridade/CE, destacando as áreas degradadas "por uso não conservacionista destes solos, associados a suas próprias limitações, como a alta suscetibilidade à erosão, além do excesso de sódio, o qual limita o desenvolvimento de determinadas espécies".

Portanto, as ações do homem sobre a paisagem e sobre os recursos naturais podem ser monitoradas a partir das técnicas disponíveis no PDI, identificando os diversos graus de degradação do meio ambiente e permitindo uma quantificação das diversas áreas atingidas pelo problema. No Capítulo 5, serão abordadas detalhadamente as técnicas de PDI utilizadas nesta pesquisa que objetivam a extração de informações necessárias à composição dos processos desertificatórios na área em estudo.

3.2 O Comportamento Espectral dos alvos naturais da Caatinga

O conhecimento sobre o comportamento espectral dos alvos sobre a superfície terrestre é fundamental para a extração de informações a partir de dados de Sensoriamento Remoto, assim como os fatores que interferem neste comportamento (NOVO, 1989). Uma combinação de bandas espectrais que melhor discrimine um determinado alvo, por exemplo, requer conhecer o comportamento espectral deste alvo de interesse ou, então, corre-se o risco de desprezar faixas espectrais de grande importância para sua identificação.

Dentre os principais fatores que interferem nas medidas do comportamento espectral dos alvos, destacam-se:

a) Método de aquisição: laboratório, campo ou plataforma elevada (helicóptero, avião ou satélite), utilizando-se um espectrorradiômetro para a coleta dos dados (assinatura espectral);
b) Geometria de aquisição dos dados: são parâmetros (Quadro 07) que interferem na geometria de iluminação da cena (Figura 21);
c) Parâmetros atmosféricos: umidade atmosférica, presença de aerossóis, turbulência, dentre outros;

d) Parâmetros relativos ao alvo: objetos adjacentes ao alvo de interesse podem interferir nas medidas de reflectância deste, pois uma energia diferente espalhada pela vizinhança do alvo pode mascarar sua resposta.

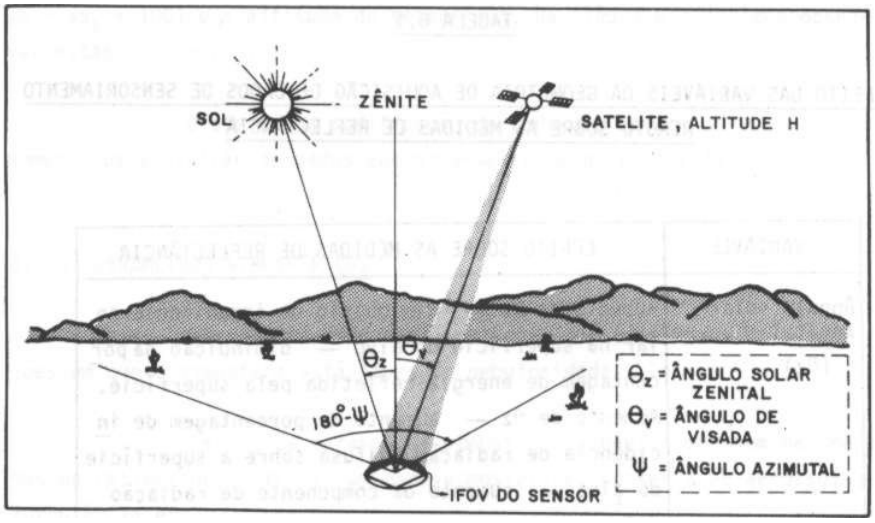


Figura 21 – Variáveis da geometria de aquisição de dados que afetam as medidas de reflectância.
Fonte: NOVO (1989).

Assim, vegetação, solos, rochas e minerais, água e superfícies construídas são alguns dos principais componentes da superfície terrestre objeto de estudo em Sensoriamento Remoto. Como dito, o conhecimento do comportamento espectral dos alvos de interesse e as interferências observadas no processo são essenciais para uma correta utilização dos dados sensoriados, objetivando fornecer extensas e precisas informações para todas as áreas das geociências, particularmente para o monitoramento ambiental.

Neste contexto, segundo MALDONADO (2001), uma das ferramentas mais importantes para o monitoramento das mudanças de cobertura e uso do solo é oriunda das imagens satelitais, sendo que “no caso de regiões semi-áridas, as condições climática, edáfica e de degradação da paisagem têm importante influência na resposta espectro-textual da cobertura e uso do solo, quando observados em dados sensoriados”. Uma das técnicas mais apuradas refere-se à Análise por Componentes Principais, pois permite avaliar o grau de modificação provocada pela ação do homem na paisagem de domínio da Caatinga.

Quadro 07 – Efeito das variáveis da geometria de aquisição de dados de Sensoriamento Remoto sobre as medidas de reflectância.

Variável	Efeito sobre as medidas de reflectância
Ângulo solar Zenital (ϕz)	Aumento do ϕz – Diminuição da irradiância solar na superfície do alvo – diminuição da porcentagem de energia refletida pela superfície. Aumento do ϕz – Aumento de percentagem de incidência de radiação difusa sobre a superfície do alvo – aumento da componente de radiação difusa sobre o alvo.
Ângulo de visada (ϕv)	Aumento de ϕv – Aumento do componente de radiância da atmosfera na energia refletida pela superfície – Redução do contraste entre os alvos – Aumento da influência da anisotropia[1] da reflectância sobre as medidas radiométricas.
Ângulo Azimutal do Sol e do sensor	Altera a distribuição de energia na superfície do alvo no caso de culturas plantadas em linhas, no caso de lineamentos geológicos.
Ângulo Azimutal relativo	A variação de Ψ altera a porcentagem de energia registrada pelo sensor em cada comprimento de onda. Quando Ψ = 0° - maior porcentagem de energia refletida em todos os comprimentos de onda, se z = 20°; θv = 5°.
Altitude do sensor	Aumento de H – aumento da interferência da radiância da atmosfera na medida de reflectância do alvo.

Fonte: NOVO (1989).

O mapeamento de coberturas vegetais com base em suas características fisionômicas, ecológicas e florísticas ganhou impulso considerável com o advento do sensoriamento remoto, segundo PONZONI (2001). O autor afirma que “experimentos têm sido conduzidos em todo o mundo, buscando caracterizar o comportamento espectral das partes das plantas (...) com o objetivo de atender às necessidades específicas” de pesquisa e aplicações comerciais, propiciando o mapeamento de extensas áreas da superfície terrestre, o monitoramento, a fiscalização e o controle da exploração dos recursos naturais.

Estudos recentes demonstram que a alteração do equilíbrio hídrico das plantas pode ser observada principalmente na região do infravermelho próximo, sendo que, no caso do sensor LandSAT 5 TM, esta característica situa-se na banda espectral 5. Observando a aparência da vegetação em imagens orbitais, verifica-se que “um dossel vegetal tem valores de reflectância relativamente baixos na região do visível, devido à ação dos pigmentos fotossintetizantes que absorvem a radiação eletromagnética para a realização da fotossíntese”. Porém, “na região do infravermelho próximo, esses valores apresentam-se elevados, por causa do espalhamento interno sofrido pela radiação

[1] *Qualidade de um objeto que apresenta propriedades físicas diferentes em todas as direções; opõe-se a isotropia (AURÉLIO, 1988).*

eletromagnética em função da disposição da estrutura morfológica da folha, aliado, ainda, ao espalhamento múltiplo entre as diferentes camadas de folhas". Isto tem fundamental importância da análise e processamento dos índices de vegetação da caatinga para os estudos de desertificação no semi-árido nordestino, ao eleger de forma sistemática as bandas espectrais mais adequadas à extração de informações sobre a cobertura vegetal na área em estudo, compreendendo sua morfogênese.

Também estudando o semi-árido brasileiro, KAZMIERCZAK (1996) afirma que "dentro do domínio de aplicações de dados de sensoriamento remoto, verifica-se uma grande falta de informações sobre a Formação da Caatinga: a extensão e o pouco conhecimento existente bastariam para determinar esta região como um dos mais promissores campos de aplicação das tecnologias de sensoriamento remoto, para prover informações sobre os seus recursos". Parte do problema verificado no estudo da desertificação no passado tem sido a tendência de tratar de modo independente os diferentes aspectos a ela relacionados e que estão intrinsecamente relacionados e que levam à degradação ambiental, tanto em áreas já ocupadas, como em áreas naturais.

O autor demonstra em artigo uma metodologia para detecção de índices normalizados de vegetação da Caatinga, como um fator determinante na detecção de áreas desertificadas, a partir de séries temporais do satélite norte-americano AVHRR/NOAA e do cruzamento com dados pluviométricos de estações no semi-árido brasileiro, analisando os dados e verificando padrões de comportamento espectral dos alvos. Utilizando o NDVI, KAZMIERCZAK (1996) observou que "quanto maior o índice de vegetação, mais densa é a fitomassa verde", pois à medida que aumenta a vegetação, aumenta também a reflexão na banda do infra-vermelho próximo, ao passo que diminui a reflexão na banda do vermelho, fazendo com que a razão entre elas seja potencializada, realçando a vegetação.

Utilizando séries temporais, também foi constatada a componente sazonal na produção de fitomassa, em função das estações climáticas, revelando um decréscimo dos valores de NDVI à medida que avança o déficit hídrico no período das secas. Uma conclusão importante deste estudo é que "as condições secas tendem a ser mais favoráveis a discriminação de pequenas diferenças entre os diversos tipos de caatinga", pois a época chuvosa uniformiza as respostas espectrais das diferentes tipologias existentes na região semi-árida.

Por outro lado, COSTA *et alli* (2001) também observam que a dinâmica do uso da terra na Caatinga, ao utilizar de modo não sustentável os recursos madeireiros, vem provocando perda da diversidade florística e contínua degradação do solo, estando intimamente relacionados a presença de processos desertificatórios na região de Seridó, no Rio Grande do Norte. Os autores, então, propõem um método para o mapeamento da fitomassa da Caatinga, baseando-se no índice de Área de Planta e no NDVI, obtidos com dados do sensor LandSAT 7 ETM+, o mesmo a ser utilizado no âmbito desta pesquisa. Técnicas de processamento digital de bandas espectrais nas regiões do infravermelho próximo (sensores TM3 e TM4) permitem uma melhor resposta espectral para a identificação da cobertura vegetal na área imageada.

CARVALHO (2001), ao fazer uma abordagem multiescala para o monitoramento de indicadores do processo de desertificação, observou que, no nível de percepção regional, as medidas devem ser feitas em escalas temporais da ordem de grandeza de décadas a anos, onde “a ação do homem e dos animais se faz sentir de forma bastante expressiva na paisagem natural”.

Ao pesquisar os processos desertificatórios em Alagoas, ASSIS (2002) utilizou-se de imagens LandSAT 5 TM para detectar a ocorrência de desmatamentos e seus estados de maior ou menor degradação ambiental, chegando a conclusão que cerca de 93% da classe caatinga estava degradada no trópico semi-árido estadual, apresentando áreas de ocorrência muito grave de desertificação, com “características de terras arrasadas”.

Consolida-se, portanto, a importância do conhecimento espectral dos alvos naturais da caatinga para o desenvolvimento de uma metodologia de pesquisa em Sensoriamento Remoto que de fato possa responder adequada e cientificamente às questões pertinentes ao patrimônio ambiental na área em estudo, quantificando, identificando e localizando as ações antrópicas que estejam desestruturando o frágil equilíbrio do meio ambiente natural da área em estudo, no caso, a Região de Xingó, destacando-se as técnicas que permitem detectar: os índices de vegetação, as modificações de uso e cobertura do solo e os estágios de degradação ambiental.

3.3 A epistemologia dos Sistemas de Geoinformação na dinâmica dos processos espaço-temporais

3.3.1 Generalidades

A teoria de Sistemas de Informação Geográfica – SIG – evoluiu muito rapidamente a partir da década de 1970, com a massificação da microcomputação eletrônica, por um lado diminuindo custos e, por outro, aumentando as capacidades de armazenamento e processamento de dados digitais.

Segundo CALHEIROS (2000), "o desenvolvimento econômico-tecnológico, responsável pela aceleração de problemas e induzido pela avalanche de dados e informações espaciais, necessita e permite o uso constante de tecnologias estruturadas em geoprocessamento. Com o Geoprocessamento e o Sensoriamento Remoto, este desenvolvimento adquiriu novo perfil, tornando-se viável a manipulação do grande volume de dados disponíveis, tratados por diferentes procedimentos computacionais, levando a utilização de tecnologias que propiciam a análise integrada e georreferenciada dos fenômenos ambientais".

Muitas são as definições clássicas de SIG, permeando os conceitos básicos de coleta, armazenamento, visualização, análise e recuperação de dados espaciais. Alguns exemplos destas definições são:

- "Um conjunto manual ou computacional de procedimentos utilizados para armazenar e manipular dados georreferenciados" (ARONOFF, 1989).
- "Conjunto poderoso de ferramentas para coletar, armazenar, recuperar, transformar e visualizar dados sobre o mundo real" (BURROUGH, 1986).
- "Sistema integrado para capturar, armazenar, manipular e analisar informações referentes às relações em uma natureza geográfica" (GOODCHILD, 1985)

Simplificando, pode-se afirmar que um SIG é composto por mapas visíveis, cuja geometria está armazena em arquivos, combinados com atributos registrados em bancos de dados de computadores, o que caracteriza sua dualidade (INPE, 2001).

As tecnologias que permitem tratar e manipular dados espaciais pertencem à área do conhecimento da Geoinformação, ou Geoprocessamento (Figura 22). Por outro lado, a integração de pessoas (*peopleware*), dados (*dataware*), equipamentos (*hardware*), programas computacionais (*software*) e conhecimento (*knowledgment*) permite ao SIG (Figura 23) abstrair aspectos do mundo real e desenvolver modelos conceituais que permitam responder às demandas de análise geográfica, planejamento territorial e tomadas de decisão em uma determinada área ou região em estudo.

Os tipos de dados em geoprocessamento envolvem uma diversidade de fontes e formatos. “Entretanto, os sistemas se restringem a tratar um ou mais dos seguintes tipos de dados: temáticos, imagens, numéricos, cadastrais e redes” (INPE, 2001).

Figura 22 – Geoprocessamento como um conjunto de técnicas.

Fonte: FATORGIS (2002).

Figura 23 – SIG como elemento integrador.

Fonte: Adaptado de FATORGIS (2002).

Um aspecto importante do SIG diz respeito à modelagem dos dados espaciais que representará a realidade geográfica no universo computacional. Segundo o INPE

(2001), quatro universos definem as fases do processo de modelagem em SIG, conforme ilustra a Figura 24.

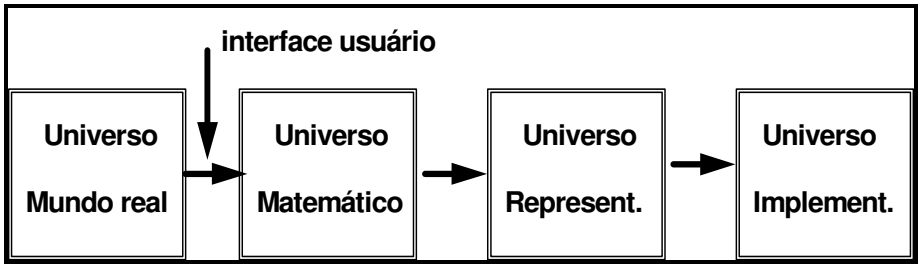


Figura 24 – Fases do processo de modelagem em SIG.
Fonte:INPE (2001).

O “universo do mundo real” inclui as entidades a serem inseridas no sistema, como mapas e atributos, enquanto que no “universo matemático” as entidades representam uma distribuição espacial de uma variável matemática ou atributos descritivos associados a múltiplas localizações geográficas.

No ‘universo de representação”, as entidades têm sua representação gráfica (geometria) definida, utilizando-se de representações matriciais (como as imagens de satélite, por exemplo) e as vetoriais (como os mapas cadastrais, por exemplo).

Finalmente, no “universo de implementação”, acontece a codificação, ao definir “as estruturas de dados e algoritmos para as operações nos dados geográficos, baseadas em considerações como desempenho, capacidade do equipamento e tamanho da massa de dados” (INPE, 2001).

3.3.2 Abordagem crítica sobre mapeamento espaço-temporal

Os programas de SIG foram originalmente desenvolvidos como uma ferramenta de desenhar mapas em computador (GOLD & CASSAULT, 1996). Atualmente, o SIG é uma ferramenta que integra mapas vetoriais a banco de dados alfanuméricos. A questão básica é: quais são as características e propriedades do espaço e do tempo que precisamos preservar num computador para poder realizar uma determinada “análise”; e qual a estrutura de dados e métodos necessários para implementá-la?

Se os objetos registrados num mapa mudam ao longo do tempo, sua representação no computador simulará isto se este houver gravado a variação do mundo real. Por exemplo, se a informação de que um determinado polígono que delimita uma floresta muda entre um tempo e outro, um antigo arco precisa ser eliminado ou movido no desenho, conforme a simulação de tempo. Isto aproxima o mapa de um "filme". Neste caso, esta atualização que houve no mapa pode ser revista e repetida ao se rever o arquivo de *log*[2] do comando de atualização.

GOLD & CASSAULT (1996) também classificam alguns tipos de variação num mapa. O primeiro descreve a situação onde o atributo varia no espaço. Como exemplo temos um mapa de algum gradiente, um modelo digital de terreno, por exemplo. No segundo tipo, a localização espacial varia no tempo e é materializada quando se redigitalizam as bordas de um mapa. O terceiro tipo descreve as modificações ao longo do tempo no interior de uma floresta, por exemplo. As modificações podem ocorrer na borda ou no interior de um polígono, gerando diversas situações complexas na modelagem dos dados.

Um bom exemplo desta questão está num mapa de uma floresta que simula o adensamento desta através de polígonos. Aqui um modelo de variação requer a borda como forma de registrar as mudanças espaciais, associado ao interior do polígono com sua variação do atributo (o adensamento da floresta). A ligação topológica entre a borda e o interior do polígono pode ser a mais desejada maneira de identificar a variação através da borda em qualquer polígono em particular e num determinado tempo.

O processo de particionar o tempo e o espaço envolvem uma inevitável perda de informação, pois envolve a transformação dos dados contínuos em discretos numa representação do espaço e do tempo vindos do mundo real para o mundo virtual. Entretanto, um processo inverso é possível: um conjunto de observação discretas num computador pode ser usado para gerar uma representação contínua do fenômeno. Isto é normalmente chamado de "interpolação".

GOLD & CASSAULT (1996) também fazem uso das teorias de Voronoi sobre a dinâmica espacial de uma estrutura de dados, surgida como resposta à limitação da dependência do cruzamento de linhas para conectar espacialmente os objetos num modelo computadorizado. Neste modelo, cada objeto tem uma "forma" com posição

[2] *Arquivo digital que registra eventos do sistema operacional ou do programa computacional em uso.*

espacial definida – posição esta suficientemente próxima para ser reconhecida por outro objeto (linha ou ponto). Isto traz duas vantagens imediatas: primeiro, os objetos podem ser selecionados apenas indicando uma posição próxima à ele; segundo, cada forma tem uma vizinhança conhecida pelas próprias bordas em comum. Isto faz com que Voronoi se aproxime de um sistema matricial, mas com formas irregulares – e também com um sistema vetorial com nós individuais e segmentos de reta definidos.

Por outro lado, THOMSON & RICHARDSON (1996) observam que a efetiva comunicação entre as informações geográficas contidas nos vários mapas é uma importante necessidade de um SIG, e ambas as representações espaciais e temporais são obviamente cruciais. Assim, para se obterem resultados claros e precisos em análises geográficas a partir de um SIG é necessário haver uma compatibilidade entre o nível de abstração e sua respectiva resolução espacial, pois quando existem grandes diferenças de escalas pode não ser possível integrar as informações arquivadas nas pequenas escalas de uma maneira útil. Sabe-se que as aplicações e análises espaciais de um SIG são dependentes do nível de detalhe com o qual os dados foram capturados. Isto também é verdadeiro para as informações temporais e espaço-temporais. As mudanças ocorrem no tempo em diferentes maneiras.

Os autores afirmam que alguns processos de um conjunto de dados envolvem a mesma informação, mas vista sob diferente nível de representação. Isto reflete o fato de que os humanos usam uma estrutura conceitual de hierarquia dos objetos em sua compreensão espacial, combinando níveis diferentes de informação. Portanto, o conhecimento computacional também requer esta eficiência nas técnicas de análise. Um SIG deve ter ferramentas de análise e integração de dados; um SIGT deve fornecer ambas as análises espaciais e temporais e a integração dos dados. Conseqüentemente, a necessidade de generalização de um SIGT é maior devido à necessidade de generalização temporal, compreendendo a variável do tempo numa determinada análise espacial.

A segmentação do tempo e espaço contínuos em unidades discretas nos leva a seguinte questão: qual o tamanho ideal destas unidades? A resposta tradicional, segundo a qual a resolução e a unidade dependem do fenômeno sob observação, não é sempre digitalmente “arquivável”, nem uma única escala pode ser suficiente para tratar do fenômeno. Assim, problemas existirão quando tiver que integrar dados diferentes na escala e no tempo. A generalização temporal também pode ser utilizada para se extrair as características representativas de um dado espaço-temporal.

Complementando essa revisão bibliográfica sobre o tema, LIN & CHOI (1996), ao tratarem da visualização em quatro dimensões (espaço-temporal), definem a visualização como um dos mais importantes aspectos em estudos científicos. Torna-se muito útil em várias áreas ao melhorar a interpretação de uma determinada informação, ao monitorar tomadas de decisão e também ao acelerar a comunicação de uma mudança de informação.

Embora a informática tenha alcançado notáveis avanços nos últimos tempos, há limitações dimensionais tanto para a percepção humana, quanto para o equipamento de saída do computador – a tela. A percepção humana só enxerga em 3 dimensões (ou menos) e tela do computador é bi-dimensional. Felizmente as técnicas atuais de visualização 3D em telas 2D estão cada vez mais avançadas, pois as telas 2D podem ser tratadas como se tivessem capacidades tridimensionais. Entretanto, observam os autores, nosso mundo é essencialmente tetra-dimensional. Têm-se as dimensões x, y, z e t (tempo) que formam o chamado domínio espaço-temporal. Em 1958, Carnap (CARNAP & GARDNER, 1995) usou a “linguagem espaço-tempo” para descrever as coordenadas x, y, z, t. Com sua colaboração muitos fenômenos puderam ser estudados em seus padrões espaço-temporal e suas respectivas correlações, de uma seqüência de DNA à evolução das galáxias.

Por fim, conclui-se que os aspectos temporais sobre os sistemas de geoinformação são fundamentais para a compreensão dos fenômenos espaciais, especialmente aqueles relacionados às mudanças em ecossistemas causadas por impactos antropogênicos, constituindo-se em importante fonte teórica para o monitoramento ambiental, destacando, neste aspecto, aqueles estudos voltados aos processos de desertificação.

3.3.3 Teoria Geográfica e Geoprocessamento

As bases epistemológicas da Ciência da Geoinformação tomam o conceito de “espaço geográfico” como uma noção-chave, fundamentando-se na construção de representações computacionais do espaço (CÂMARA, 2001), convergindo as áreas ligadas à Informática, Geografia, Planejamento Urbano, Engenharia, Estatística e Ciências do Ambiente.

Segundo CÂMARA (2001), apesar dos avanços significativos ocorridos nas duas últimas décadas, “a tecnologia dos sistemas de informação geográfica ainda está longe de dar suporte adequado às diferentes concepções de espaço geográfico”, pois, atualmente, estes sistemas oferecem ferramentas baseadas em expressões lógicas e matemáticas em tal economia e repetibilidade impossíveis de alcançar em análises tradicionais. A lógica “cartográfica” dos sistemas atuais exige a construção de “mapas computacionais” – uma tarefa cara e custosa e nem sempre adequada ao entendimento do problema em estudo.

A Geografia Crítica, ao apontar uma noção muito rica do espaço geográfico, pode dar uma valiosa contribuição à Ciência da Geoinformação, ao enfatizar a noção de processo em contraposição à natureza estática dos SIG’s atuais. É necessário, portanto, uma visão que aproxime sistemas de objetos e sistemas de ações, em abordagens quantitativas, mas “sem perder de vista que estes modelos serão sempre aproximações reducionistas da realidade geográfica” (CÂMARA, 2001).

3.4 A dinâmica evolutiva em modelagem de sistemas ambientais

Segundo CHRISTOFOLETTI (1999), “a modelagem constitui procedimento teorético envolvendo um conjunto de técnicas com a finalidade de compor um quadro simplificado e inteligível do mundo, como atividade de reação do homem perante a complexidade aparente do mundo que o envolve”.

Trata-se de um procedimento teorético ao propor uma abstração da realidade, de acordo com as concepções de mundo adotadas numa determinada abordagem teórica, ajustando-se e/ou orientando as experiências empíricas. Dessa forma, a modelagem ambiental objetiva representar os fenômenos da natureza e estabelecer delineamentos para a elaboração de novas hipóteses no contexto das teorias ou leis físicas, favorecendo com que os enunciados sejam formulados de modo adequado para testes visando a ratificação ou refutação de hipóteses nos procedimentos metodológicos. Estes modelos podem ser qualitativos ou quantitativos, expressos através de lógica ou matemática, referindo-se aos objetivos declarados, tendo sua significância associada ao diagnóstico e previsão de eventos e situações. O uso do SIG tem facilitado o desenvolvimento da modelagem de sistemas ambientais.

As alterações que ocorrem no ambiente natural devido às transformações observadas tanto nos fatores condicionantes, como nas ações antrópicas, permitem uma modelagem sobre mudanças e dinâmica evolutiva através de modelos que absorvem as implicações, focalizando os processos e a estrutura dos sistemas baseados em dados coletados sobre eventos passados. Está em discussão, portanto, a estabilidade dos sistemas ambientais devido aos "inputs" sofridos ao longo de um determinado tempo. "Os estudos referentes às mudanças e dinâmica evolutiva tratam das transformações que os sistemas ambientais sofrem ao longo do tempo" (CHRISTOFOLLETI, 1999), tanto aquelas causadas pelas alterações nos controlantes físicos, como as ocasionadas pelos impactos antropogênicos.

Na classificação proposta por CHRISTOFOLLETI (1999), os sistemas que modelam ambientes podem ser estudados sob três enfoques fundamentais:

a) Estabilidade e Resiliência: diz respeito à capacidade do ecossistema em manter ou retornar às suas condições originais após um distúrbio provocado por forças naturais (as secas no semi-árido, por exemplo) ou pela ação do homem (o desmatamento da caatinga, por exemplo); a resistência do sistema em permanecer sem ser afetado pelos distúrbios externos é chamada de "inércia", ao passo que a resiliência determina a capacidade do sistema em retornar às suas condições originais após ser afetado pela ação de distúrbios externos;
b) Sensibilidade: representa o nível em que um sistema responderá a uma mudança ocorrida em fatores controlantes, como, por exemplo, as mudanças climáticas, refletindo-se na composição, estrutura e produtividade primária dos processos ecológicos; no caso da caatinga, por exemplo, determina o grau de adaptação das plantas à estação seca, como resposta à determinante climática, indicando também a suscetibilidade a uma determinada característica, como a erosão dos solos;
c) Catástrofe: basicamente, pode-se afirmar que "as singularidades topológicas podem descrever mudanças ao longo do tempo e também do espaço"; no ambiente natural os sistemas dinâmicos tendem à estabilidade, podendo, entretanto, movimentar-se para as "fronteiras da estabilidade", ocasionadas por pequenos distúrbios que levem à instabilidade do sistema, ou seja, a uma situação de catástrofe; "o sistema apresenta um evento catastrófico no sentido de que se movimenta de um estado inicial de estabilidade, passa por uma fase dramática de reorganização e retorna a um estado de estabilidade, em grau

semelhante ao anterior ou a um estado diferente"; aplicando esta teoria no modelo proposto por esta pesquisa, pode-se, então, concluir que nesta noção está implícita a instalação de processos de degradação em ecossistemas ambientalmente frágeis, como a caatinga, que, paulatinamente levem à situações irreversíveis de áreas desertificadas (analogicamente, tem-se a estabilidade – a *caatinga original* -, a instabilidade – o *desmatamento* -, e, finalmente, uma nova realidade diferente da anterior – a *desertificação*).

Dentre as mudanças ocasionadas pelos impactos antropogênicos, destacam-se as atividades econômicas e sociais realizadas pelas sociedades, tanto na morfologia, como nos processos dos sistemas ambientais, repercutindo em modificações na superfície terrestre em variados ritmos históricos, nos aspectos ligados aos sistemas geomorfológicos e hidrológicos, além dos ecossistemas. Um exemplo típico trata do aquecimento global relacionado à emissão de gases estufa, gerado pelo crescimento demográfico (Figura 25) e o conseqüente aumento da demanda energética dos países industrializados, ocasionando alterações globais no clima que refletem nas atividades agrícolas e desmatamentos.

Mudanças em sistemas hidrológicos associados às atividades humanas também estão interferindo sobre os ciclos hidrológicos em bacias de drenagem. "A construção de represas para proteção contra as secas, produção de energia elétrica e navegação interior, associadas com medidas de regulamentação, causam mudanças na distribuição espacial e temporal dos fluxos fluviais, o que também repercute na evaporação e na infiltração de áreas próximas ao leito dos rios e na biota circunvizinha" (CHRISTOFOLLETI, 1999).

Neste contexto, aplicando a teoria à prática, as usinas hidrelétricas construídas pela CHESF ao longo do rio São Francisco têm trazido, dentre outras conseqüências, diminuição da vazão, da biodiversidade subaquática e da fertilidade dos solos aluviais, ocasionadas pela destruição das matas de galeria (inundação de extensas margens pelo enchimento dos lagos artificiais), uso indiscriminado de fertilizantes, irrigação e agrotóxicos na caatinga (manejo inadequado de culturas), represamento das águas e controle de vazão segundo as necessidades energéticas dos distantes centros urbanos nacionais, impedindo o ciclo natural das cheias que outrora fertilizavam as margens ribeirinhas. Assim, associado a um volume cada vez menor de água, acrescente-se o problema de assoreamento da foz e a conseqüente diminuição da correnteza à jusante

das barragens, trazendo diversos problemas ambientais e sócio-econômicos às populações que habitam o baixo São Francisco.

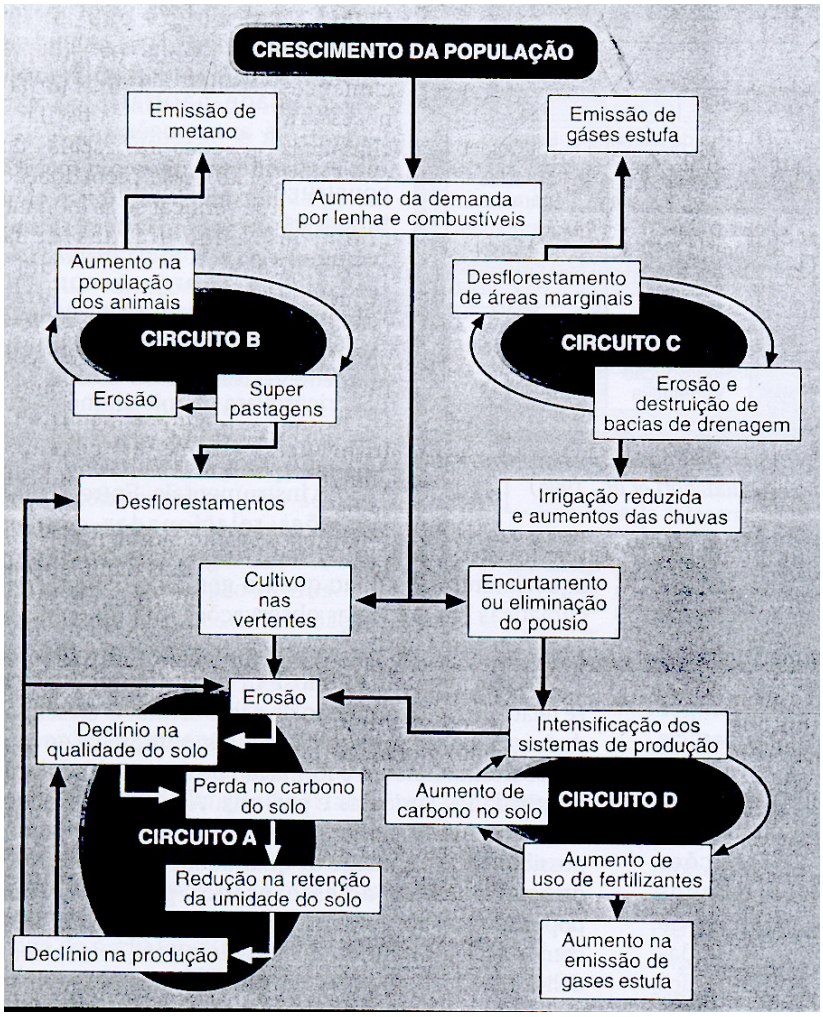


Figura 25 – Modelo representativo dos impactos causados pelo crescimento demográfico sobre a emissão dos gases estufa, em relação com as atividades agrícolas e desmatamentos.

Fonte: CHRISTOFOLLETI (1999).

Finalizando, destacam-se as mudanças em ecossistemas relacionadas com as atividades antrópicas, tais como: atividades agrícolas, pastoris, urbanização, industrialização e mineração. Estas atividades podem modificar radicalmente o universo dos ecossistemas originais, tanto no nível local (desertificação, por exemplo), como no nível global (efeito estufa *versus* aumento do CO_2 atmosférico, noutro exemplo). Assim, o processo de modelagem em sistemas ambientais requer uma abordagem multidisciplinar e concisa das variáveis naturais e antrópicas que atuam no espaço geográfico em estudo.

4. A REGIÃO DE XINGÓ NO CONTEXTO DA PESQUISA

4.1 Caracterização da área de estudo

4.1.1 Generalidades

A Região de Xingó (Figura 26) está situada numa extensa área do trópico semi-árido brasileiro no encontro dos estados de Alagoas, Bahia, Pernambuco e Sergipe. Considerando a área de abrangência total do Instituto de Desenvolvimento Científico e Tecnológico de Xingó – Instituto Xingó (2002), a região compreende 32 municípios, correspondendo a uma área de 40.293 km² (IBGE, 1997), que, ao ser cortada pelo rio São Francisco, confere-lhe uma unidade geográfica, ambiental, econômica e sócio-cultural ímpar no Brasil. Esta área de abrangência abriga uma população de 584.883 habitantes (IBGE, 2003), onde se situa o complexo de hidroelétricas de Paulo Afonso, Itaparica e, mais recentemente, Xingó (1994) – todas pertencentes a CHESF.

Segundo pesquisas realizadas pelo Museu Arqueológico de Xingó (INSTITUTO XINGÓ, 2002), a presença humana na região remonta há cerca de 9.000 anos, embora alguns vestígios em estudo, tais como pinturas rupestres e artefatos funerários, apontem para épocas ainda mais remotas, podendo chegar a 12.000 anos.

Chamado pelos indígenas de *O-para*[3], em 04 de Outubro de 1501 a foz do rio São Francisco foi descoberta pelo italiano Américo Vespúcio, a serviço do rei português D. Manuel. Desde então, o São Francisco tem presença marcante na História da colonização do interior do Nordeste brasileiro, sendo também chamado de "rio da integração nacional". Em 1881, a inauguração da ferrovia *Great Western Brazil Railway* ligando Piranhas/AL a Jatobá/PE (Figura 27), construída pelos ingleses por ordem do Imperador D. Pedro II para vencer as corredeiras de Paulo Afonso, permitiu o transporte de cargas e passageiros desde a foz, em Penedo/AL, até o interior de Minas Gerais, integrando os navios a vapor com o trem (BRITO *et alli*, 2000), mas desativada em 1964.

A caatinga e seus personagens do cangaço, onde se destacam as figuras de Lampião e Maria Bonita, figuram no imaginário nacional como uma região distante, pobre, seca e selvagem, sempre aparecendo na imprensa quando das secas e calamidades.

[3] *Do tupi-guarani, "o mar" (BRITO et alli, 2000).*

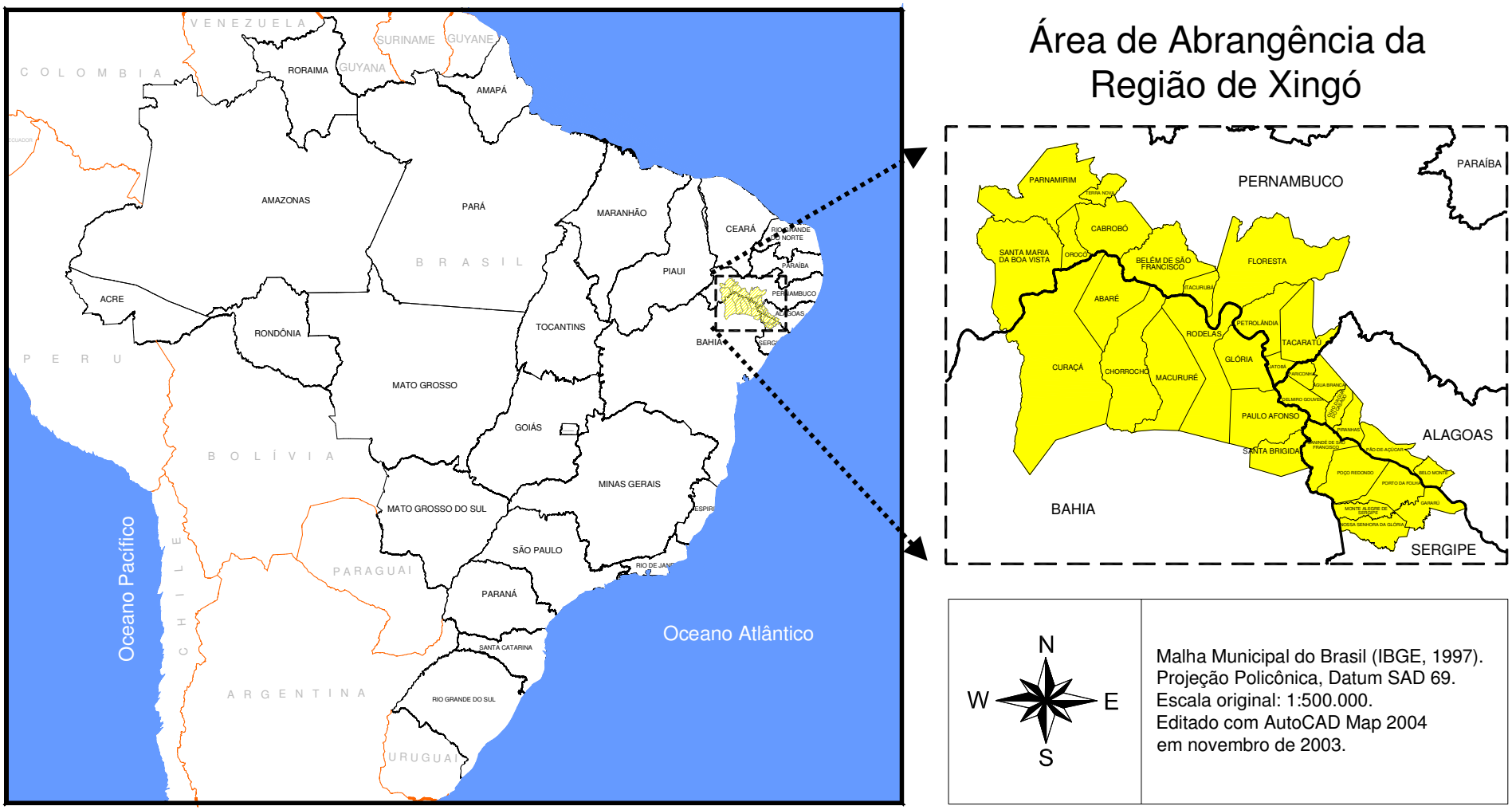


Figura 26 – Mapa de localização da Região de Xingó em relação ao Brasil e América do Sul.

Neste ambiente surgiu um tipo humano bem característico, produto da miscigenação das diversas etnias brasileiras – o sertanejo – identificado pela sobriedade, o sentimento trágico do camponês ibérico e o espírito de liberdade do índio, culminando num alto sentido pessoal de honra (CHESF, 2001).

No início do século XX, as iniciativas pioneiras de Delmiro Gouveia resultaram na instalação na primeira usina geradora de energia elétrica a partir do aproveitamento do rio São Francisco – a Usina de Angiquinho – a fim de garantir a implantação de uma indústria têxtil com o algodão produzido na região, sendo posteriormente aniquilada pelos ingleses. Desde então, a maior atividade econômica da região está representada pela exploração do rio São Francisco para a geração de energia elétrica, embora os municípios da região continuem essencialmente baseados nas atividades agropastoris extensivas, de pouca ou nenhuma tecnologia.

A região tem características marcadamente rurais, onde as cidades representam um local de abastecimento de produtos industrializados, além de um precário acesso ao sistema de saúde pública. A educação fundamental nas áreas rurais ainda é bastante precária, o que explica o alto índice de analfabetismo da população adulta. Nestas áreas ainda predominam as residências construídas em taipa, formando pequenos núcleos baseados na subsistência agrícola, onde as pequenas sobras são, esporadicamente, comercializadas nas sedes municipais. Já nas cidades, predominam as residências de alvenaria de tijolo que em nada respeitam as características do patrimônio histórico arquitetônico quando existente, além de não permitirem nenhum conforto ambiental adequado ao clima semi-árido, pois apenas “reproduzem” uma tipologia da edificação importada das capitais litorâneas que possuem condições de ventilação e insolação completamente diferentes daquelas encontradas na região.

Nos últimos anos, conforme dados dos Censos 1991 e 2000 (IBGE, 2003), verifica-se um movimento da população das áreas rurais para as urbanas. Nas cidades, algumas surgidas ou reformuladas a partir da construção da UHE Xingó, uma área central projetada nos moldes de um urbanismo descompromissado com o legado histórico-cultural de sua população é cada vez mais circundada por áreas desordenadas, habitadas pelos excluídos das áreas rurais. Isto vem formando uma considerável pressão nos precários serviços públicos urbanos, desestabilizando um frágil equilíbrio outrora existente.

Devido à extensa área de abrangência da Região de Xingó, uma área piloto foi escolhida para esta pesquisa (Figuras 28 e 29), representada pelos seis municípios mais

próximos ao lago de Xingó, pois além de possuírem uma mesma realidade socioeconômica e ambiental, são essencialmente representativos de toda a região e, teoricamente, os maiores beneficiários da instalação da Usina Hidrelétrica de Xingó, em 1996.

Figura 27 – Antiga estação ferroviária em Piranhas – AL, construída entre 1878-1881.
Fonte: CHESF, 1995.

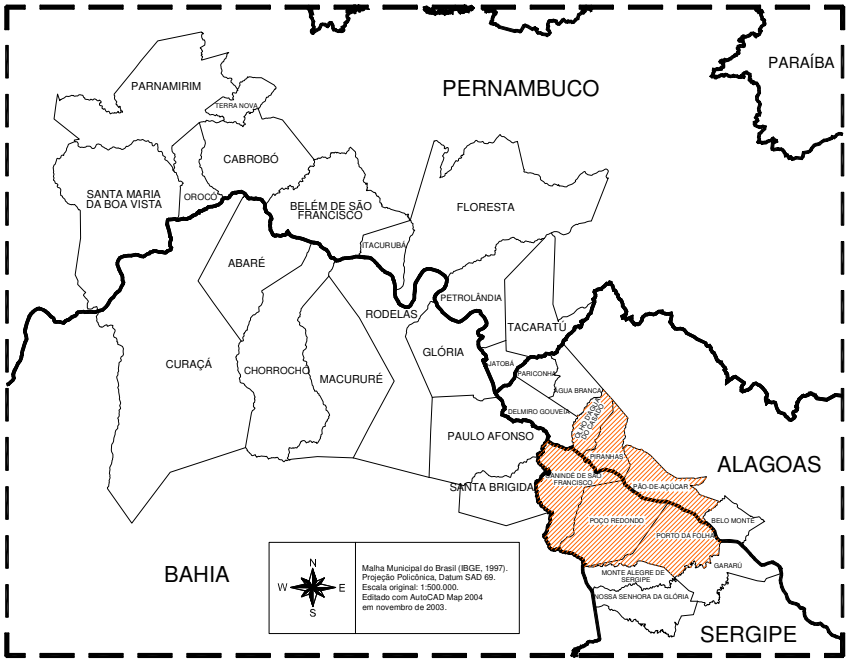


Figura 28 – Área de estudo (em vermelho) com relação à área de abrangência de Xingó.

O Quadro 08 apresenta um resumo da população residente na área de estudo, segundo dados do Censo 2000 (IBGE, 2003), evidenciando que a maioria dos domicílios está em localidades rurais.

Quadro 08 – Relação dos municípios com a população residente da área de estudo.

ESTADOS		MUNICÍPIOS	POPULAÇÃO RESIDENTE (hab)		
			URBANA	RURAL	TOTAL
	Alagoas	Olho D'Água do Casado	3.886	3.171	7.057
		Pão-de-Açúcar	10.812	13.504	24.316
		Piranhas	1.340	18.681	20.021
		Sub-totais	*16.038*	*35.356*	*51.394*
	Sergipe	Canindé de São Francisco	9.291	8.448	17.739
		Poço Redondo	6.355	19.632	25.987
		Porto da Folha	6.360	19.662	26.022
		Sub-totais	*22.006*	*47.742*	*69.748*
		TOTAIS	**38.044**	**83.098**	**121.142**

Fonte: Adaptado do Censo 2000, IBGE, 2003.

4.1.2 Localização geográfica

A área de estudo está localizada na Região Nordeste do Brasil, entre as coordenadas S 09º 17' 32" e W 38º 02' 38", S 10º 03' 40" e W 37º 13' 36". No Sistema Geodésico Brasileiro (IBGE, 2003), utilizando o sistema de projeção UTM, a área está localizada no Fuso Meridiano 24.

O mapeamento oficial existente produzido pelo Sistema Cartográfico Nacional para a área de estudo está disponível através de seis folhas topográficas, todas na escala de 1:100.000 e utilizando a Projeção UTM, como mostra o Quadro 09.

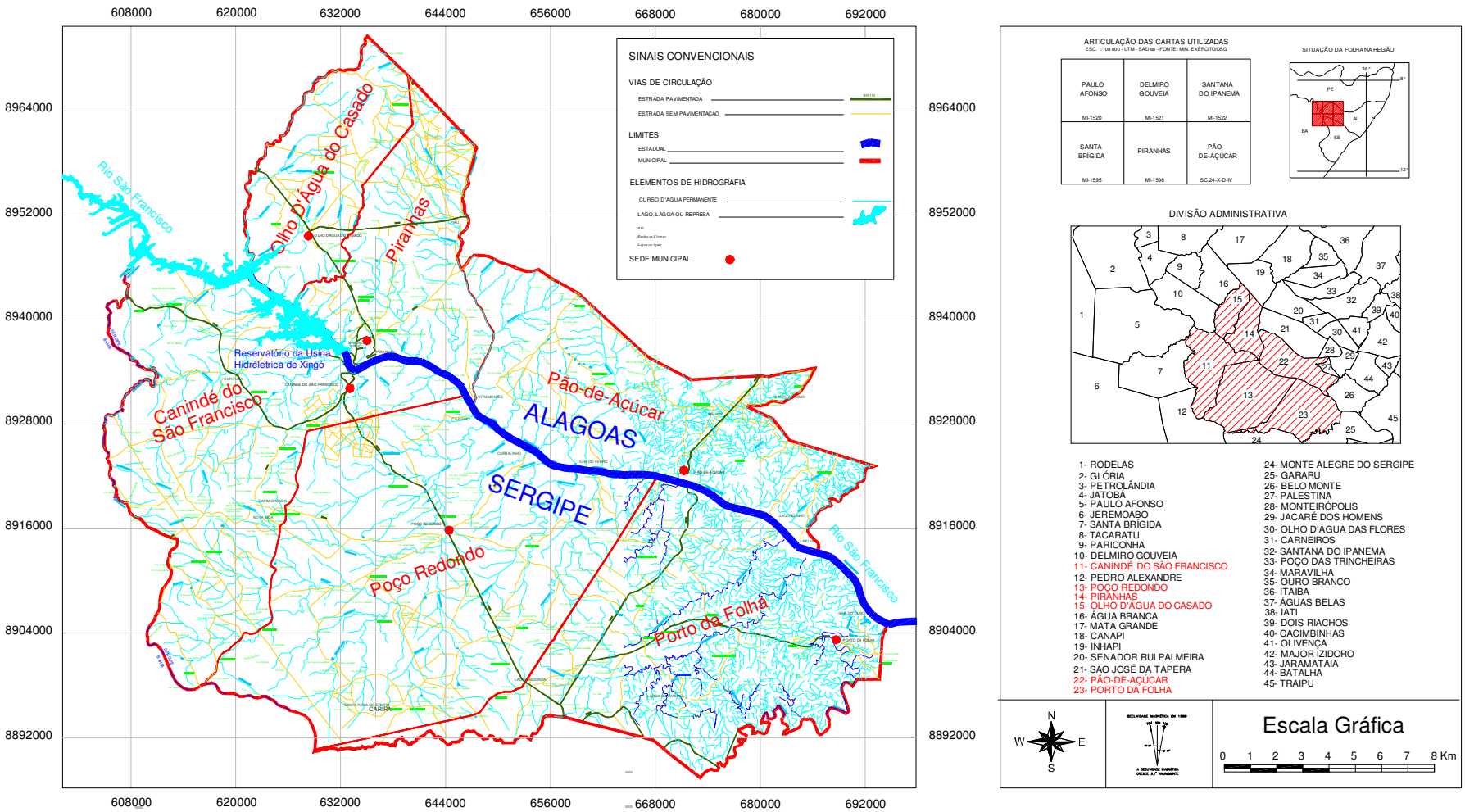


Figura 29 – Mapa da Área de Estudo (digitalizado e editado com AutoCAD Map 2004) – Datum SAD 69, Projeção UTM, Fuso 24.

Fonte: Adaptado de AMORIM *et alli*, 2002.

Quadro 09 – Relação das folhas do Mapeamento Sistemático do Brasil, na escala de 1:100.000, utilizadas nesta pesquisa.

Índice de nomen-clatura	Nome Carta	Meridiano Central	Datum Hori-zontal	Datum Vertical	Ano vôo	Ano Ream-bulação	Ano Resti-tuição	Ano Impres-são	Órgão Editor
SC.24-X-C-II	Paulo Afonso	39º W GR.	SAD-69	Imbituba	1979/83	1983	1984	1985	DSG/3ª.DL
SC.24-X-C-III	Delmiro Gouveia	39º W GR.	SAD-69	Imbituba	1989	1989	1995	1996	DSG/3ª.DL
SC.24-X-D-I	Santana do Ipanema	39º W GR.	SAD-69	Imbituba	1972	1972	1972	1989	DSG/3ª.DL
SC.24-X-C-V	Santa Brígida	39º W GR.	SAD-69	Imbituba	1979/83	1983/84	1984	1985	DSG/3ª.DL
SC.24-X-C-VI	Piranhas	39º W GR.	SAD-69	Imbituba	1972	1972	1972	1989	DSG/3ª.DL
SC.24-X-D-IV	Pão-de-Açúca	39º W GR.	Córrego Alegre	Imbituba	1971/72	1971/72	1972	1973	SUDENE

Fontes: MINISTÉRIO DO EXÉRCITO (1985, 89 e 96) e SUDENE (1973).

4.1.3 Principais características e informações municipais

4.1.3.1 Alagoas

a) Olho D'Água do Casado (Figura 30)

Por volta de 1802, um fazendeiro chamado José de Melo Casado explorou e propagou a existência de um poço. Diversas famílias se aglomeraram nas proximidades do poço. Devido à grande quantidade de água existente na região e em homenagem ao fazendeiro que explorou o poço, a região ficou sendo chamada de Olho d'Água do Casado.

Como aspectos físico-geográficos, o município apresenta como limites: Inhapi/AL ao norte, rio São Francisco ao sul, Piranhas/AL ao leste e Delmiro Gouveia/AL e Água Branca/AL ao oeste. Possui uma área de 323 km^2 e está localizado no alto sertão de Alagoas, com uma distância de 263 km a Maceió a partir da sua sede municipal. A zona rural é constituída dos povoados: Baixa Verde, Poços, Retiro, Ouricurizeiro, Itatiaia, Capelinha Mundo Novo, Campo Novo, Saco do Vento, Vieira, Lagoa da Cruz, Lagoa da Vaca, e outros mais.

Figura 30 – Vista aérea panorâmica da cidade de Olho D'Água do Casado/AL.
Fonte: AMORIM *et alli*, 2002.

Quanto às condições climáticas, o município encontra-se inserido no polígono das secas, sendo, ainda, uma variável entre o semi-árido chuvoso e quente.

A geomorfologia se constitui de elevações e depressões, como as serras e baixadas. A sede do município é cortada ao centro pelo riacho vindo da serra Grande. Dentre as serras, destacam-se: serra Grande, serra da Palha, serrote dos Picos, e outras. O ponto mais elevado do município é a serra Grande, sendo a mais próxima do centro da cidade. Dentre as baixadas, destacam-se: baixada Funda, baixada do Jucurutu, baixada da Boa Vista, entre outras.

Quanto aos solos e vegetação, Olho D'Água do Casado é fértil e favorável ao plantio na agricultura. É nesse solo que se desenvolve a agricultura básica da alimentação popular. As culturas que melhor se desenvolvem nesta região são o feijão, o milho, o algodão, a mandioca e o caju. O componente predominante do solo deste município é a areia.

O município é banhado pelo rio São Francisco, tendo como afluentes (todos de regime temporário), os seguintes rios e riachos: riacho Seco, riacho Talhado, rio Bom Jesus (serve de divisa entre os municípios de Olho D'Água do Casado e Delmiro Gouveia), Pia do Gato, riacho das Águas Mortas, rio Urucu que serve de divisa entre os

municípios de Olho D'Água do Casado e Piranhas. Existem também lagoas temporárias: lagoa das Cabras, lagoa do Sérgio, lagoa das Emendadas, lagoa do Couro.

A economia do município restringe-se à pecuária e à agricultura, sofrendo com os períodos de seca. É produtor de feijão, milho, mandioca e algodão, além de frutas como caju e pinha. Estes produtos são comercializados principalmente com as cidades de Delmiro Gouveia, Piranhas e Arapiraca, dentre outras, como também para outros estados.

Com o início da construção da UHE Xingó, os habitantes de Olho D'Água do Casado, tiveram acesso a diversos tipos de vínculos empregatícios, modificando assim a economia da cidade, que era exclusivamente agrícola. No entanto, esta melhoria da atividade econômica foi efêmera, pois com o término da obra, voltou o desemprego e mais ou menos 20% dessas famílias estão se evadindo para outras regiões do país à procura de sobrevivência (PERAZZO *et alli*, 2002).

Segundo dados da Secretaria Municipal de Saúde (1999), na sede do município 91% dos domicílios estão ligados à rede elétrica geral de forma regular, enquanto que na zona rural apenas 34% das residências têm energia elétrica. Isto reflete o uso sistemático da madeira da caatinga para compor a matriz energética do município.

A água para o abastecimento da zona urbana é proveniente do rio São Francisco, enquanto que na zona rural o abastecimento é feito através de caminhões-pipa. O município não possui rede de esgoto, sendo que 70% dos domicílios possuem fossa e 30% não possuem (PERAZZO *et alli*, 2002).

b) Pão-de-Açúcar (Figura 31)

Pão-de-Açúcar surgiu de um determinismo geográfico, o rio São Francisco, datando o seu povoamento de 1611, com gente branca e índios da serra do Aracaru, estado de Sergipe.

Em 7 de novembro de 1669, por carta de sesmaria, as terras passaram ao domínio do português Lourenço José de Brito Correia, que com o fim de explorar a pecuária e o comércio de pau-brasil, pelo porto de Penedo, criou uma fazenda de gado entre os morros Cavalete e Farias, com o nome de Pão-de-Açúcar. Deve-se a

denominação ao fato de achar-se a casa grande muito próxima ao Cavalete, cujo aspecto e configuração assemelham-se, perfeitamente, a uma forma das que ordinariamente, se empregavam para purgar e clarificar o açúcar.

Figura 31 – Vista da cidade de Pão-de-Açúcar/AL.
Fonte: PERAZZO *et alli*, 2002.

A freguesia foi criada em 11 de julho de 1853, pela lei nº 227, sob a invocação do Sagrado Coração de Jesus. A vila foi criada pela lei nº 233 de 3 de março de 1854, sendo desmembrada da vila de Mata Grande. Foi elevada à categoria de cidade pela lei nº 756, de 18 de junho de 1887.

Fato marcante da história da vila de Pão-de-Açúcar, diz respeito ao pernoite, nos dias 17 e 22 de outubro de 1859, do imperador D. Pedro II, quando de sua viagem à cachoeira de Paulo Afonso.

Em alguns lagos e várzeas próximos à cidade acham-se soterrados, em pequena profundidade, enorme profusão de ossos fósseis de paquidermes antidiluvianos, datando de mais de 5.000 anos (MENDONÇA, 1974).

Situa-se na microrregião de Batalha, sendo seus limites: Piranhas, São José da Tapera, Monteirópolis, Palestina, Jacaré dos Homens, Belo Monte e o rio São Francisco, que faz a divisa com o estado de Sergipe. Dista 225 km de Maceió e situa-se a uma altitude de 30 m acima do mar. Possui uma área de 659 km^2, classificando-se no estado

de Alagoas, em extensão territorial, em 6º lugar. Suas coordenadas geográficas são: S 09°44'46" e W 37°26'03".

O clima apresenta-se quente e seco. Registram-se máximas de 42 °C e mínimas de 26 °C. A estação do inverno inicia-se, normalmente, em julho, para terminar em agosto.

Como acidentes geográficos no município, destacam-se as serras de Pão-de-Açúcar, Santiago, Santa Maria da Porta e Sete Lagoas. Sob o prisma da geologia, os solos de Pão de Açúcar são oriundos da decomposição de rochas metamórficas ou cristalinas, primitivas da camada que constitui a crosta terrestre.

Quanto à hidrografia, destaque especial para o rio São Francisco, que faz limite com Sergipe. Sua bacia hidrográfica completa-se com os riachos Cabaços, Grande, Pau Ferro, Farias, Jacaré e Silva. Há ainda de se mencionar o rio Capiá, o qual nasce em Pernambuco e também divide os municípios de Piranhas-AL e Pão de Açúcar-AL.

A principal fonte de divisas do município é a lavoura, onde despontam as plantações de arroz, algodão, feijão, milho e mandioca. Seus excedentes são exportados para Santana do Ipanema, Olho d'Água das Flores e outros municípios da região. O algodão é comercializado especificamente com o estado de Sergipe, além de algumas cidades, tais como: Recife, Caruaru e Maceió. Sua pecuária está em ritmo crescente, destacando-se as criações de gado Gir e Holandês.

A cidade de Pão-de-Açúcar não possui rede pública de esgoto. A Oficina de Saneamento da Secretaria de Obras da prefeitura responde pelas questões de esgoto da cidade. Grande parte dos domicílios tem fossas absorventes, que segundo levantamentos efetuados pela Oficina de Saneamento, contabilizam 1942 domicílios (atualização em janeiro de 2000). Algumas casas não possuem sequer privada, e as pessoas utilizam meios impróprios para realizarem suas necessidades fisiológicas. Fato bastante comum na cidade de Pão de Açúcar é o escoamento de águas provenientes de lavagens de pias, pisos, enfim águas de lavagem das residências, através das ruas e bocas de lobo, tendo como destino boa parte destas águas a lagoa do Humaitá ou o rio São Francisco (PERAZZO *et alli*, 2002).

c) Piranhas (Figura 32)

Figura 32 – Vista da cidade Piranhas (de Baixo)/AL.
Fonte: PERAZZO *et alli*, 2002.

Piranhas foi elevada à categoria de vila pela lei n° 996, do dia 3 de junho de 1887, sendo o seu território desmembrado dos municípios de Pão de Açúcar e Água Branca. A 31 de março de 1938, Piranhas foi elevada à categoria de cidade. No ano de 1939, Piranhas passou a ser denominada Marechal Floriano. Dez anos depois, aproximadamente, voltou a antiga denominação, Piranhas.

Quem chegasse em Piranhas a poucos anos antes do início das obras da UHE de Xingó (1986), talvez pensasse estar encontrando um local "parado no tempo": casario antigo, vida pacata, com raros indicativos de que se estaria nos anos 80 do século XX. Ocorreu com Piranhas um fenômeno semelhante ao ocorrido com a cidade de Olinda em Pernambuco, que preservou seu patrimônio histórico por ter deixado de ser capital, perdendo em parte a sua função política e econômica. Piranhas de Baixo (sede do município de Piranhas), núcleo primitivo da cidade de Piranhas, continua com sua tipologia de edificações históricas, agora tombadas pelo patrimônio arquitetônico estadual.

A história da cidade de Piranhas sofreu profundas alterações na medida em que em 1987 iniciou-se a construção da UHE de Xingó. Enquanto não se construía o acampamento das obras que abrigaria o pessoal ocupado na obra, todos os espaços e imóveis disponíveis na região atingindo até a cidade de Delmiro Gouveia serviram como habitação aos construtores de Xingó, gerando um movimento especulativo e renovador da feição urbana. Edificações foram levantadas e outras reformadas sem se levar em conta a história ou qualquer outro ordenamento dentro dos padrões urbanísticos existentes.

O município possui uma área de 407 km^2. O município de Piranhas posiciona-se a uma distância real de 220 km da cidade de Maceió, capital do estado de Alagoas. Seus limites são: ao Norte com o município de Inhapi; a Nordeste com o município de São José da Tapera; a Leste com o município de Pão de Açúcar; ao Sul com o estado de Sergipe e a Oeste com o município de Olho d'Água do Casado.

As chuvas constituem um dos elementos fundamentais deste clima do município, por causa de sua posição em pleno domínio semi-árido.

A geomorfologia de Piranhas indica ser de uma planície de erosão que faz parte do amplo "pediplano" do Sertão alagoano. Nesta superfície de erosão elevam-se morros em pequenos conjuntos, enfileirados ou isolados constituindo os típicos inselberges ou montes-ilhas do semi-árido.

A hidrografia do município de Piranhas constitui-se de pequenas lagoas temporárias e a drenagem efetuada por inúmeros cursos d'águas intermitentes, com extensão muito variada. São três as vertentes destes rios e riachos de pequeno, médio e longo curso, com relação ao município: Vertente Leste, Vertente Oeste e Vertente Sul. A bacia hidrográfica do rio Capiá é uma das maiores do Sertão, com seus 2.233 km^2 (93% do total) no estado de Alagoas, e os demais 163 km^2, restantes, no estado de Pernambuco, perfazendo o total de 2.396 km^2.

Um dos graves problemas na urbanização do município é o seu sistema coletor de esgotos. Esse é um dos fatores que mais contribui para a formação do baixo padrão de urbanização local. Em Piranhas de Baixo (sede do município) não há rede de esgoto e há dificuldade de adoção de sistemas simplificados individuais, tais como: fossa negra, fossa séptica, pois a cidade se encontra numa encosta de morro tipicamente rochosa, conseqüentemente não é difícil encontrar dejetos a céu aberto. Os esgotos escoam pelos talvegues de drenagem, típicos da área, sendo os dejetos então encaminhados ao rio São Francisco. Entretanto, para tratamento de esgotos do bairro de Xingó foram implantadas duas lagoas de estabilização, que operam em série, uma primária e a outra secundária, construídas por ocasião das obras da UHE Xingó.

Em Piranhas de Baixo a coleta de resíduos sólidos é feita diariamente, sendo os mesmos recolhidos em latões, lixeiras e caçambas e colocados em um trator com carroção, onde são transportados para lixão a céu aberto e onde se observa a presença de catadores de lixo e quantidade expressiva de lixo orgânico, inclusive animais mortos –

situação que também ocorre nos outros municípios da área de estudo. Às quartas-feiras ocorre uma feira-livre, sendo o lixo recolhido logo após a feira. Algumas casas têm seus fundos voltados para os córregos Cabrobó e Açude (como é conhecido por alguns moradores) e algumas pessoas aí residentes colocam lixo neles, sendo que estes riachos despejam no São Francisco, contaminando-o (PERAZZO *et alli*, 2002).

4.1.3.2 Sergipe

a) Canindé de São Francisco (Figura 33)

Nos primeiros tempos chamou-se Canindé, passando a denominar-se Curituba (nome de um rio existente em seu território) pela Lei nº 377 de 31 de dezembro de 1943, cujo espírito pretendia evitar a pluralidade de lugares no país com o mesmo topônimo.

Canindé recebeu a categoria de cidade e de sede do município do mesmo nome com território desanexado do de Porto da Folha pela lei estadual nº 525 de 25 de dezembro de 1953. No dia 6 de março de 1987 foi feita a transferência da Nova Canindé, que ficou localizada à 3 km da Velha Canindé. Esta transferência foi precisa por conseqüência da barragem de Xingó, como também pelo progresso de Canindé.

Figura 33 – Vista parcial da cidade de Canindé de São Francisco/SE.
Fonte: PERAZZO *et alli*, 2002.

Canindé do São Francisco localiza-se no extremo noroeste do estado de Sergipe, tem sua área dentro de três sub-bacias hidrográficas: rio Curituba, rio da Onça e rio Jacaré, localizando-se nas seguintes coordenadas geográficas: S 09°38'40'' e W 37°37'16''. Apresenta uma altitude média de 68 m. Possui uma área de 904 km^2. O município apresenta os seguintes limites: ao norte com o estado de Alagoas; ao sul com o município de Pedro Alexandre/BA; a leste com o município de Poço Redondo e a oeste com os municípios de Paulo Afonso/BA e Santa Brígida/BA (SANTOS & ANDRADE, 1998), ficando a 230 km da capital, Aracajú.

O clima é semi-árido com chuvas no outono, ou seja, um inverno que se estende de abril a agosto, de precipitação reduzida (em torno de 600 mm/ano), às vezes irregular, com efeitos calamitosos.

O relevo apresenta serras, como a Serra Negra e Saco de Arara, nos limites com a Bahia; o Pico do Tará e o Morro do Sobradinho, além de outras sem designação. Quanto à geomorfologia, apresenta uma superfície pediplanada; relevo dissecado do tipo colina; planície fluvial; aprofundamento de drenagem muito fraca e extensão máxima de suas formas de 750 m.

A vegetação é típica da região semi-árida do nordeste, onde predomina a caatinga, com irregularidade na ocorrência das chuvas, intercalando prolongados períodos de seca.

Os principais rios são o São Francisco, que serve de limite com o estado de Alagoas; o Xingó, que serve de limite a oeste com o estado da Bahia; o riacho Pedras, que nasce na Serra Negra, corta todo o município e vai desaguar no São Francisco; e rio Xingozinho, o rio Mão Direita, o rio Curituba e o riacho da Onça.

A maioria da população trabalha no setor primário, tanto na agricultura irrigada quanto na de sequeiro e na criação de gado. Entretanto, esse município vem passando por muitas modificações econômicas desde meados da década de 80. Com a implantação do projeto hidroagrícola Califórnia, a construção de Xingó e o seu funcionamento (incluindo o aumento da base tributária advindo do imposto da geração de energia), fizeram com que o setor econômico do município tenha alternado períodos de grande dinamismo e de recessão. O perímetro irrigado Califórnia é uma obra constituída pelo Governo do estado, originário de duas fazendas: Cuiabá e Califórnia, desapropriadas em 1984. A construção foi iniciada em junho de 1985 e concluída em

março de 1987, quando entrou em operação. A área agrícola do projeto Califórnia, perfeitamente identificável nas imagens de satélite utilizadas nesta pesquisa (Capítulo 5), abrange uma superfície de 3980 hectares, sendo uma superfície útil irrigável de 1360 hectares. As principais culturas plantadas no referido projeto são: quiabo, milho, tomate, feijão, aipim, banana, goiaba, abóbora e outras (PERAZZO *et alli*, 2002).

b) Poço Redondo (Figura 34)

Figura 34 – Praça Arnoldo, no Centro de Poço Redondo/SE.
Fonte: AMORIM *et al.*, 2002.

As primeiras incursões no território do atual município datam de fins do século XVII e começos do XVIII, quando se intensificava a colonização da região do Porto da Folha. Como um dos marcos do primitivo esforço de povoamento do território, existia, situada à margem do São Francisco, a povoação de Curralinho, que, em 1877, já possuía a sua escola pública de ensino primário, e é hoje o porto do município, por se achar situado a 18 km da sede (SANTOS & ANDRADE, 1998).

O sertão de Poço Redondo foi palco das andanças de Lampião e seu bando já a partir de 1928. Entre 1930 e 1938, esta região foi cenário permanente de ações ligadas ao mundo do cangaço, onde duas localidades se destacaram: Maranduba (o último grande combate de Lampião em 10/01/1932) e o Angico (local de sua execução, juntamente com Maria Bonita e mais nove cangaceiros, no dia 28/07/1938).

O município Poço Redondo situa-se na microrregião do Sertão Sergipano, a noroeste do estado de Sergipe, compreendendo uma área de 1215 km^2, sendo o maior município do estado de Sergipe. A localização geográfica da sua sede municipal é a seguinte: S 09°48'17" e W 37°41"06". Apresenta uma altitude média de 225 m em relação ao nível do mar. Seus limites são: ao Norte, rio São Francisco; ao Sul, município de Porto da Folha-SE e estado da Bahia; a Nordeste/Leste, município de Canindé do São Francisco-SE; e a Oeste, município de Porto da Folha-SE. Situa-se a 185 km de Aracajú.

Encontra-se inserido no polígono das secas, onde predomina o clima semi-árido quente, caracterizado por chuvas escassas e mal distribuídas durante o ano, com taxas entre 600 mm a 750 mm, e longos períodos de seca. A temperatura é elevada, com alta taxa de evaporação, apresentando médias anuais de 25 °C, oscilando entre 21 °C nos meses mais frios, e 27 °C nos meses mais quentes. As maiores precipitações ocorrem no mês de maio e as mínimas de setembro a novembro.

Geomorfologicamente está inserido no pediplano do baixo São Francisco, exibindo um relevo plano com elevações residuais, constituindo-se no conjunto uma depressão pediplanada limitada por relevos escarpados. Os relevos residuais constituem blocos acentuados com formas arredondadas, alguns representados por intrusões graníticas como as serras Negra e da Guia e "inselberge" nos arredores de Poço Redondo, como o serrote da Rosa e a serra do Boi.

A imponente serra da Guia localiza-se a cerca de 45 km da sede de Poço Redondo, a oeste do município, limitando-se com Pedro Alexandre-BA, alinhada com a serra Negra, sendo uma formação geológica composta de rochas cristalinas e atingindo a cota de 750 m de altitude. Apresenta área contínua de mata tropical, com espécies que atingem até 15 m de altura e hospedeiras de orquídias variadas.

A vegetação típica é a caatinga, embora se encontre descaracterizada pelas ações antrópicas. A vegetação é bastante heterogênea, lenhosa, raquítica, decidual, de modo geral espinhosa, e condicionada pelo clima semi-árido e pelos solos Litólicos. Em geral apresenta-se aberta, embora localmente ocorra densa, sendo composta por espécies de portes variados: arbóreo alto, arbóreo arbustivo e subarbustivo.

A hidrografia acha-se subordinada ao rio São Francisco, único rio perene da região, tendo como principais afluentes os rios Jacaré e o Marroquinho, e os riachos da

Onça, Craibeiro, do Brás e da Guia que apresentam como direção preferencial a nordeste-sudoeste.

A principal atividade econômica da localidade é a agropecuária que é subordinada aos rigores do clima. As culturas sazonais de milho e feijão são as mais importantes, embora o plantio de algodão e da palma seja comum em algumas propriedades. A pecuária se resume à criação de bovinos e caprinos, que não possuem plantel selecionado, nem instalações modernas.

A presença de animais, o despejo de esgoto bruto da cidade, os resíduos sólidos e o assoreamento no rio Jacaré são fatores que contribuem para a sua degradação. Há também um lixão a céu aberto a poucos quilômetros da cidade de Poço Redondo (SANTOS & ANDRADE, 1998).

c) Porto da Folha (Figura 35)

No início do século XVII, começou a ser conhecida essa região importante do São Francisco por Tomé da Rocha Malheiros, que obteve uma sesmaria de 10 léguas, partindo da serra da Tabanga, ponto inicial do povoamento, até Jaciobá. Em novembro de 1807, o fidalgo Dr. Antônio Gomes Ferrão Castelo Branco, registrou os seus títulos imobiliários na câmara de Propriá, declarando ser de 30 léguas a extensão de suas terras, latifúndio que constituía o morgado de Porto da Folha. Em 1896, pela lei nº 194, de 11 de novembro, Porto da Folha é elevada à categoria de cidade (SANTOS & ANDRADE, 1998).

O município encontra-se na microrregião do Sertão do São Francisco. Sua superfície é de 891 km^2. Limita-se ao norte com o estado de Alagoas; ao sul com o município de Monte Alegre e Nossa Senhora da Glória, pelo leste com o município de Gararu e ao oeste com o município de Poço Redondo. Sua sede municipal está a 212 km de Aracajú.

A cobertura vegetal predominante é a caatinga hiperxerófila, com vegetação arbórea arbustiva diversificada e densa.

O município é banhado ao norte pelo Rio São Francisco, que proporciona água para irrigação e grande possibilidade de incremento da piscicultura. O rio São Francisco é

cortado pelos seus afluentes: riacho Capivara, riacho dos Campos Novos, riacho do Mocambo, riacho Salgado, riacho da Salina e riacho dos Negros.

Figura 35 – Vista da cidade de Porto da Folha/SE.
Fonte: PERAZZO *et alli*, 2002.

Atualmente, a principal atividade econômica municipal é a agropecuária, destacando-se o milho, o feijão e a pecuária leiteira, devendo-se ressaltar ainda o artesanato de bordado, as pequenas "indústrias de fundo de quintal", constituídas por tecelagens, fabriquetas de laticínios (manteiga e queijo) e de doces, além da pesca. O município possui jazidas de mármore, estando em implantação uma indústria para beneficiamento desse mineral.

Descarga de esgoto sem tratamento no solo e no rio Capivara, desmatamento das matas ciliares das margens dos rios e lixão a céu aberto, são importantes fontes poluidoras e problemas ambientais na cidade e, por extensão, no município (KATO *et alli*, 1999).

4.2 – O Instituto Xingó: uma proposta para mudar o semi-árido nordestino?

O IX é um centro compartilhado de desenvolvimento científico, tecnológico e de produção do trópico semi-árido do Nordeste brasileiro, criado por iniciativa da CHESF, que desde 1948 atua na região, com produção de energia elétrica, em parceria com

outras instituições federais, tais como Universidades Federais, Universidades Estaduais, Centros de Tecnologias, CNPq, Sudene, SEBRAE, Embratur, Comunidade Solidária, INPE, entre outras, com a missão de buscar alternativas adequadas e perenes para melhoria da qualidade de vida e bem estar social das populações que habitam áreas do semi-árido do Nordeste (XINGÓ, 1998).

Com o fim das obras da Usina Hidrelétrica de Xingó, em 1996, as instalações e edificações nos acampamentos foram reformadas para a instalação do Núcleo Operacional do IX e suas diversas áreas temáticas, hoje Unidades de Projeto (Aqüicultura, Arqueologia e Patrimônio Histórico, Atividades Agropastoris, Biodiversidade da Caatinga, Educação, Energias Alternativas, Gestão do Trabalho, Recursos Hídricos e Geoprocessamento). Com isso, procurou-se minimizar os efeitos dos impactos econômico e social causados pelo fim da construção da grande barragem de Xingó.

Em sua concepção, o IX procura estabelecer um ponto focal de desenvolvimento regional auto-sustentável de forma multidisciplinar, a partir da compreensão de que o dinamismo da região virá em função do nível de conhecimento, aliado a pesquisa aplicada e inovadoras técnicas de produção, em consonância com as vocações sócio-econômicas da área.

Mas será que o IX tem conseguido atingir seus objetivos iniciais? A questão é complexa, pois está inserida dentro de grandes políticas regionais, além de permear uma série de instituições públicas com interesses variados na área de estudo, basicamente: pesquisa científica e extensão acadêmica.

Segundo um relatório sobre as atividades do IX produzido por consultores especialistas do CNPq em 2002, “de um modo em geral, percebe-se que a noção de epistemologia da ciência e da pesquisa é pouco presente. A própria noção do significado da pesquisa científica é pouco entendida – em diferentes níveis – pela maioria das equipes. Predominam três vertentes: o fazer tecnológico, o levantamento empírico e a experimentação. Entretanto, não se encontraram – com exceção do excelente Museu de Arqueologia – nenhuma preocupação teórica maior de produzir soluções que possam somar à ciência produzida no Brasil e ser transferida de modo mais consistente para a população local. As intenções de fazer isto são claras, mas não se encontraram elementos definidos que promovam o projeto Xingó na direção de um grande projeto de pesquisa multidisciplinar articulado”.

De fato, atuando desde 1996, as Áreas Temáticas do IX, hoje Unidades de Projeto, executaram diversos projetos diretamente nos municípios da área de abrangência, com pouco ou nenhum resultados efetivo. Segundo constatou esta pesquisa, em Agosto de 2003 o IX apresentava um custo mensal na ordem de R$ 150.000,00, essencialmente patrocinado pela CHESF, quantia esta que não leva em conta as 89 bolsas implantadas pelo CNPq, além de 82 funcionários nas áreas administrativa e operacional.

Segundo o IX (2002), cerca de 40.000 pessoas foram direta e/ou indiretamente beneficiadas pelas ações desenvolvidas pelo instituto nestes quase sete anos de atuação na região. Inicialmente concentradas próximas ao Núcleo Operacional, na Zona Rural do município de Canindé de São Francisco /SE, as atividades do IX estão presentes agora praticamente em todos os municípios da área de abrangência, em maior ou menor grau de participação. Unidades demonstrativas de cultivo de peixes no São Francisco através de tanques-rede, agroindústrias de cana-de-açúcar (Água Branca/AL), do caju (Olho D'Água do Casado/AL) e diversas unidades fotovoltaicas para garantir energia elétrica alternativa para comunidades carentes e distantes das redes convencionais de energia elétrica são algumas das muitas ações que o IX implantou neste período.

Desde julho de 2001 o IX foi reconhecido pelo Ministério da Justiça como uma Organização da Sociedade Civil de Interesse Público – OSCIP, regido por um Estatuto e administrado por um Diretor Geral escolhido pelo Conselho Geral.

4.3 – A importância das geotecnologias para a sustentabilidade de Xingó

Escolheu-se a área de abrangência do Instituto do Xingó – IX – como local para o desenvolvimento deste plano pelo fato da inserção daquele numa política de desenvolvimento regional, diferenciada em suas ações, com base em diagnóstico das potencialidades e limitações sócio-econômicas e ambientais, conciliando tecnologia, ciência, produção e diversidades culturais para a construção de um desenvolvimento sustentável (XINGÓ, 1996).

O interesse pela pesquisa insere-se na constatação da importância desta região para o semi-árido nordestino, circunscrevendo-se em três premissas: mudança, viabilidade ecológica e uso de novas tecnologias da geoinformação.

A região semi-árida brasileira, até recentemente, inseriu-se dentro de um modelo de desenvolvimento cuja base econômica não estava atrelada às condicionantes sócio-ambientais e culturais da região.

Atualmente, surge uma nova visão de desenvolvimento para esta região, pois, segundo Sachs (XINGÓ, 1996), "o Programa Xingó caminha no sentido da abertura da fronteira econômica do semi-árido, uma das muitas que o Brasil está ainda por abrir... É tempo de darmo-nos conta de que a miséria dos sertanejos não resulta de uma fatalidade geográfica".

Assim, através deste estudo, propõem-se instrumentos tecnológicos que possibilitem análises alternativas e adequadas para a melhoria da qualidade de vida e bem-estar social das populações que habitam áreas do semi-árido do Nordeste, visando estabelecer um ponto focal de desenvolvimento regional auto-sustentável de forma multidisciplinar e a partir da compreensão de que o dinamismo da região virá em função do nível de conhecimento, aliado à pesquisa aplicada e às inovadoras técnicas de produção em consonância com as vocações sócio-econômicas da área (XINGÓ, *Op. cit.*), escolhendo "formas de desenvolvimento sensíveis (...) à questão ambiental" (SACHS, 1993).

Portanto, pode-se afirmar que a importância das Tecnologias da Geoinformação para a sustentabilidade de Xingó deve-se a três aspectos:

a) a necessidade de avaliarmos o "capital natural", demandando a gestão de um volume de dados exponenciais a serem gerados, tanto pela expressiva extensão territorial, quanto pela quantidade de áreas temáticas cobertas;
b) a concepção atual de abordagem integradora para os estudos ambientais, exigindo a integração das áreas temáticas; e,
c) a multidisciplinaridade temática que requer respostas rápidas e precisas nos processos que envolvem tomadas de decisão, porém respeitando os limites da capacidade de carga dos ecossistemas.

As considerações acima expostas, aliadas ao desafio representado pela difícil, porém factível, conciliação entre a exploração eficiente e reciclável dos limitados recursos naturais do semi-árido nordestino - o "capital natural" - e a necessidade urgente de crescimento material das comunidades situadas nesta região - o "capital construído pelo

homem" (SACHS, 1993) -, contextualizam a temática que envolve esta pesquisa na busca pela utilização das novas tecnologias de monitoramento ambiental e de análise espacial como um instrumento fundamental para a concretização e a integração de ações que busquem a sustentabilidade de Xingó em suas diversas dimensões: social, econômica, ecológica, espacial e cultural.

5. A DEGRADAÇÃO AMBIENTAL EM XINGÓ: UMA VISÃO SINÓTICA NUMA PERSPECTIVA ESPECTRO-TEMPORAL

5.1 Generalidades

Conforme analisado nos capítulos anteriores, a degradação ambiental crescente no semi-árido brasileiro, o frágil equilíbrio do ecossistema da caatinga, o regime inconstante das chuvas, os solos delgados e pobres em nutrientes orgânicos, aliado às precárias condições sócio-econômicas das populações que habitam essa região, formam um conjunto de fatores que favorecem a ocorrência dos processos de desertificação. Também foi visto que as novas tecnologias de sensoriamento remoto para o monitoramento ambiental de grandes áreas, associadas ao desenvolvimento de sistemas de geoinformação que permitem análises espaço-temporais precisas e acuradas sobre um determinado fenômeno, natural ou antropogênico, indicam um novo caminho para a pesquisa científica sobre o complexo, vital e contemporâneo tema da **desertificação**.

De fato, esta pesquisa parte para uma proposição de um novo paradigma em termos da multidiscipinaridade, ou melhor, da transdisciplinaridade da desertificação, pois entender, identificar, localizar e dimensionar os processos de desertificação exige uma abordagem dinâmica e temporal, fazendo uso da mais avançada tecnologia disponível no momento. Isto se reflete na necessidade de um estudo amplo e detalhado sobre os dados e métodos disponíveis que permitam análises rápidas e precisas sobre o fenômeno aqui identificado, tão importante quanto atual para a sociedade brasileira.

Basicamente, esta pesquisa adotou um conjunto de dados que permitisse o desenvolvimento de uma nova metodologia para a pesquisa sobre a desertificação no semi-árido nordestino, ao processar, extrair e cruzar dados espectrais captados pelos sensores remotos a bordo de satélites de observação da Terra, com dados de setores censitários rurais oriundos dos censos demográficos, em séries temporais correlatas, abrangendo o período de 1989 a 2003, para a área de estudo escolhida: os seis municípios mais próximos ao lago da Usina Hidrelétrica de Xingó, no Baixo São Francisco.

Assim, espera-se contribuir com as diversas linhas de pesquisa sobre o tema, sempre dinâmico e evolutivo sobre todos os aspectos, sem querer com isso encerrar a discussão sobre os métodos de análise desta área do conhecimento específico, mas, antes, trazer uma nova visão, uma abordagem espaço-temporal com o uso das

tecnologias da geoinformação disponíveis para que se possa vislumbrar um futuro melhor e mais promissor para o sertanejo de hoje e o de amanhã.

A seguir serão descritos e analisados detalhadamente os dados, materiais, metodologia e resultados obtidos, além da validação em campo desta pesquisa.

5.2 Materiais

5.2.1 Dados

Inicialmente, uma vez identificada, caracterizada e localizada espacialmente a área de estudo, foi solicitado ao CPTEC/INPE os dados referentes às médias mensais pluviométricas da área de estudo (Anexo 2 e Figura 36), no período de 1978 a 2003, considerando que as imagens digitais dos sistemas LandSAT 5 TM e LandSAT 7 ETM+ só estão disponíveis no INPE a partir de 1982. Para datas anteriores, há disponibilidade de imagens apenas em papel fotográfico. Esta possibilidade foi descartada devido às precárias condições de recuperação dos dados espectrais quando em papel.

Os dados pluviométricos são imprescindíveis para uma escolha correta das imagens de satélite a serem posteriormente solicitadas, pois a resposta espectral da vegetação de caatinga tem grande variabilidade com a presença de água, devido às suas características fisiológicas de adaptação às secas. O gráfico evidencia o regime inconstante das chuvas que, aliado aos outros fatores descritos no Capítulo 2, aumenta a susceptibilidade à erosão e o conseqüente empobrecimento dos solos no semi-árido, potencializando as causas da desertificação.

Assim, a escolha da cena teria que levar em consideração, além da pouca cobertura de nuvens para uma melhor identificação dos alvos de interesse (<10% para toda a cena), um conhecimento prévio das condições hídricas da área de estudo para a data de aquisição das imagens, visando uma correta interpretação posterior. O sistema LandSAT tem uma grade regular de imageamento da superfície terrestre, definida por cenas que são identificadas por órbita e ponto[4] a partir das coordenadas geográficas da área de estudo.

[4] *Do inglês,* path / row.

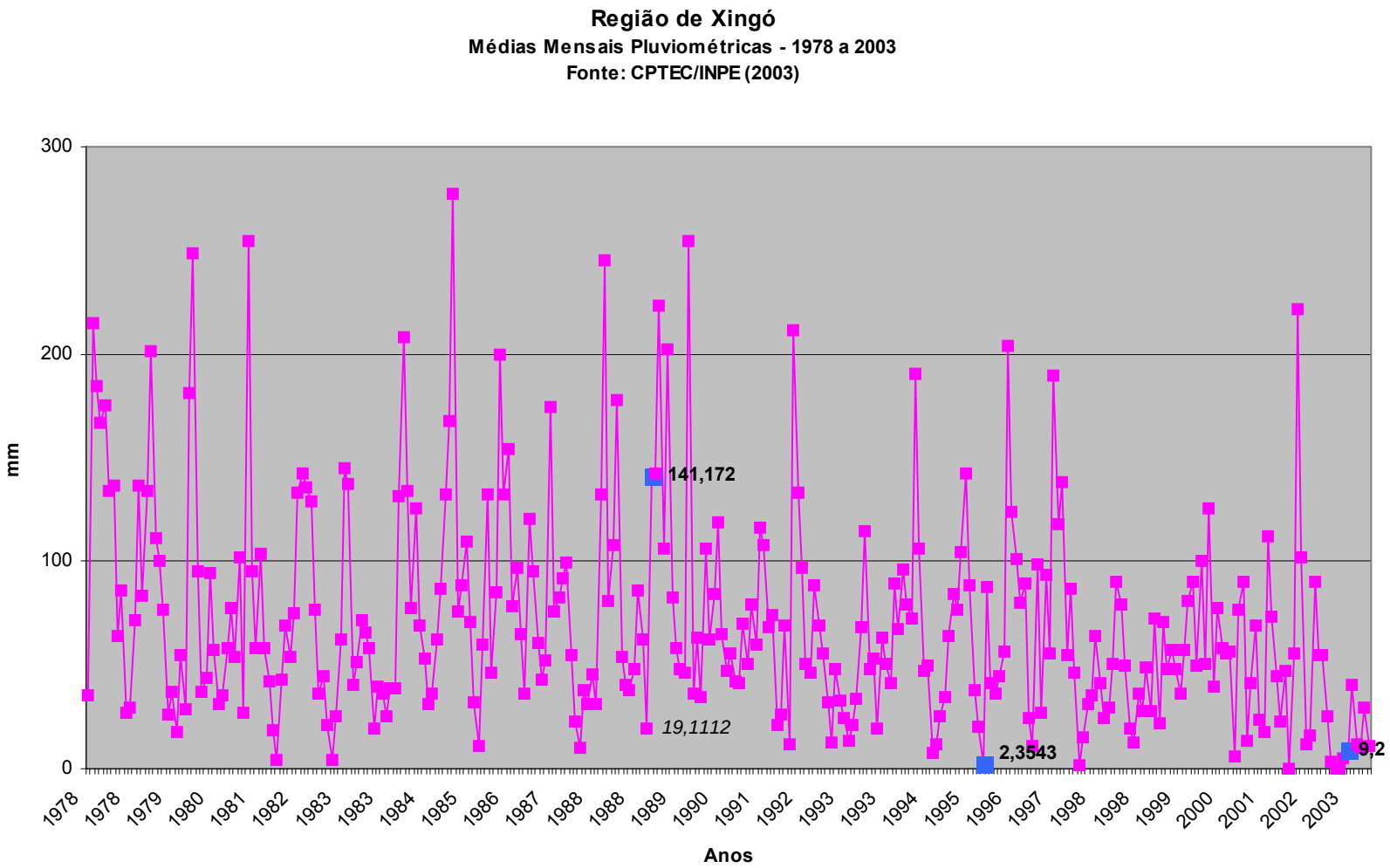


Figura 36 – Gráfico com os dados de médias mensais pluviométricas da Região de Xingó e datas escolhidas das imagens (azul).

Fonte: Adaptado de CPTEC/INPE, 2003.

Assim, uma vez conhecidas as coordenadas geográficas da área de estudo a partir das cartas analógicas do Ministério do Exército/DSG (Capítulo 4, página 66, Quadro 09), foi identificada a órbita 215 e o ponto 067 para toda a área de estudo em Xingó.

Após pesquisa junto ao banco de imagens LandSAT do INPE[5], verificou-se a disponibilidade de datas para a cena/órbita 215/067, conforme ilustra o Quadro 10, com cobertura de nuvens <10% para toda a cena.

Quadro 10 – Imagens LandSAT disponíveis para a área de estudo (Cena/Órbita: 215/067) com cobertura de nuvens <10% (em vermelho as datas escolhidas).

DATA	PRECIPITAÇÃO (mm)	SENSOR
11/03/89	**141,172**	**TM**
06/10/95	**2,354**	**TM**
22/10/95	2,354	TM
07/05/01	17,965	ETM+
06/10/01	47,374	TM
22/10/01	47,374	TM
05/01/03	**9,200**	**ETM+**

Fonte: Adaptado de INPE, 2003.

Escolheram-se, então, as seguintes datas:

- 11/03/89 – por ser a mais antiga disponível e, embora o mês de aquisição registre um volume hídrico considerável (141,172mm), observa-se que a aquisição foi feita na primeira quinzena do mês, refletindo, ainda, as condições hídricas do mês anterior, que fora de 19,111mm – uma taxa abaixo da média observada no período 1978 – 2003 que foi de 72,033mm;
- 06/10/95 – uma data intercalada entre a mais antiga e a mais recente (2003) e, também, por estar mais próxima do início do mês, reflete consideravelmente as condições hídricas do mês anterior (19,856mm); e,

[5] *Consulta via* e-mail *ao sistema ATUS (Atendimento ao Usuário do INPE), disponível na Internet no site http://www.inpe.br, acesso em 01/07/03.*

- 05/01/03 – data mais recente, com baixa precipitação inclusive no mês anterior (5,400mm).

Todas as datas escolhidas refletem períodos de carência hídrica, onde a vegetação está mais vulnerável à degradação. Outro fator decisivo para a escolha destas datas específicas se refere à quase ausência de cobertura de nuvens nas imagens – condição essencial para um melhor resultado na identificação dos alvos de interesse da pesquisa. Isto permitiu o estabelecimento de parâmetros climáticos muito similares para as respostas espectrais dos diversos alvos nas cenas escolhidas para o estudo.

Foram selecionadas as bandas espectrais que registram o espectro da energia refletida, indo da região do visível ao infravermelho próximo, pois os alvos de interesse da pesquisa têm grande resposta espectral nesta faixa. Assim, foram processadas as bandas de 1 a 5, além da banda 7, para ambos os sensores TM e ETM+.

Todas as imagens foram fornecidas pelo INPE em CD-ROM com nível de correção 1G (Capítulo 3, página 42, Quadro 05).

Uma vez que as cartas do Mapeamento Sistemático do Brasil, na escala de 1:100.000, não contém os limites municipais, o IBGE – Divisão de Geociências de Salvador/BA – forneceu os arquivos digitais dos seis municípios escolhidos da área de estudo, mediante solicitação por escrito ao órgão público. Estes limites são imprescindíveis para o recorte geográfico nas imagens de satélite originais, pois estas imagens cobrem uma área aproximada de 185km x 185km, bem maior que a área de estudo (Figura 37).

Complementando a relação de dados utilizados, foi adquirido junto à Loja Virtual do IBGE[6] um conjunto composto por quatro CD's-ROM, conforme ilustra o Quadro 11.

5.2.2 Equipamentos

Foi utilizado um microcomputador tipo *notebook*, com memória RAM de 512 Mb, *clock* de 500 Mhz, *drive* CD-RW, *floppy-disk* 1.44 Mb, HD 20 Gb. Também se utilizou um receptor GPS, tipo navegação, com 12 canais e uma câmara fotográfica digital para o registro da validação da pesquisa em campo.

[6] *Disponível na Internet através do site http://www.ibge.gov.br, acesso em 04/04/03.*

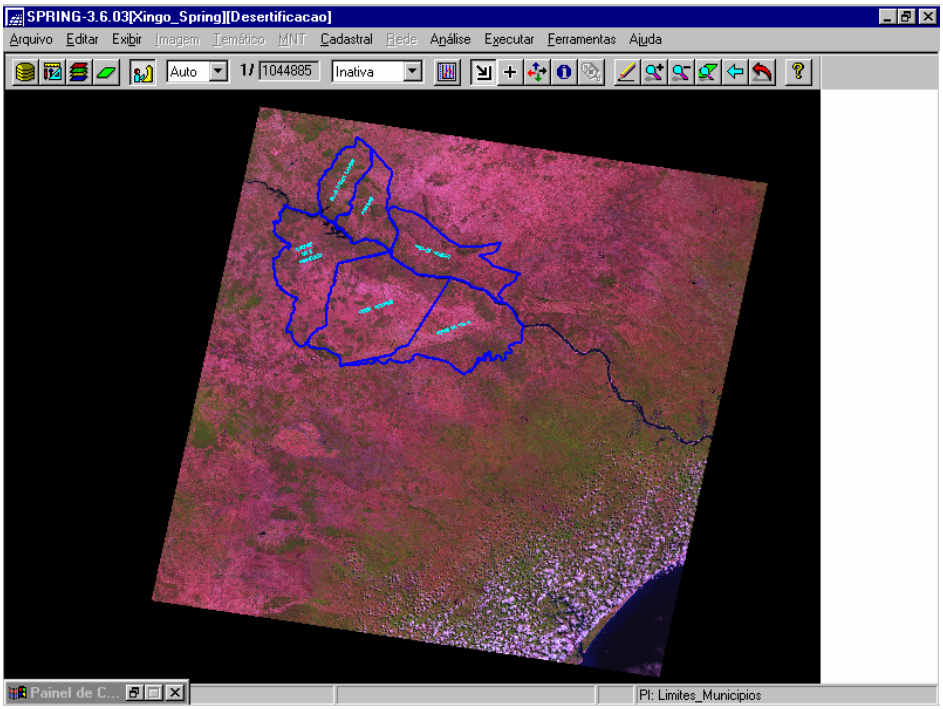


Figura 37 – Cena inteira do LandSAT (Órbita/Ponto: 215/067, Data: 06/10/95) com os seis municípios da área de estudo.

Quadro 11 – Relação dos CD's adquiridos junto ao IBGE para a pesquisa.

TÍTULO	CONTEÚDO	ANO DE REFERÊNCIA
Estatcart	Sistema de Recuperação de Informações Georreferenciadas, versão 2.0	2000
Base de Informações Municipais, Volume 4	Dados Municipais Georreferenciados	2000
Censo Demográfico 2000, Volume 3 – Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia	Agregados por setor censitários dos resultados do universo	2000
Malha de Setor Censitário Rural Digital do Brasil, Volume 3	Arquivos digitais vetoriais dos limites de setores censitários rurais, em formato DXF e projeção geográfica.	2000

Fonte: Adaptado de IBGE, 2003.

5.2.3 Programas Computacionais

O sistema operacional utilizado em todas as fases da pesquisa foi o *MS-Windows 2000 Professional*, com *Service Pack 5.0*, fabricado pela empresa norte-americana Microsoft Corp. Também foi utilizado o banco de dados *MS-Acess*, Versão 2000, e a planilha eletrônica *MS-Excel*, ambos os programas do mesmo fabricante.

Para o processamento das imagens de satélite foi utilizado o programa computacional *Spring* (Sistema para Processamento de Informações Georeferenciadas), Versão 6.3. Desenvolvido pelo INPE (2003), o *Spring* "é um banco de dados geográficos de 2ª. geração", com distribuição gratuita pela Internet. Ainda segundo o INPE (2003), suas principais características, indispensáveis para os objetivos desta pesquisa, são:

- "Opera como um banco de dados geográfico sem fronteiras e suporta grande volume de dados (sem limitações de escala, projeção e fuso), mantendo a identidade dos objetos geográficos ao longo de todo banco";
- Administra tanto dados vetoriais como dados matriciais ("raster"), e realiza a integração de dados de Sensoriamento Remoto num SIG;
- Provê um ambiente de trabalho amigável e poderoso, através da combinação de menus e janelas com uma linguagem espacial facilmente programável pelo usuário (LEGAL - Linguagem Espaço-Geográfica baseada em Álgebra);
- Consegue escalonabilidade completa, isto é, ser capaz de operar com toda sua funcionalidade em ambientes que variem desde micro-computadores a estações de trabalho RISC de alto desempenho."

Para a digitalização das cartas na escala de 1:100.000, criação e edição de toponímias e conversão de formatos vetoriais foram utilizados os programas computacionais *AutoCAD Map*, Versão 2000i, e *CAD Overlay*, Versão 2000i, ambos fabricados pela empresa norte-americana Autodesk, Inc.

O *AutoCAD* tem grande flexibilidade em desenho e edição de entidades vetoriais, além de poder exportar seus dados em formato DXF (*Data Exchange Binary*) Versão R12, que podem ser importados para o ambiente do *Spring* sem perda de dados. A versão utilizada incorpora comandos de mapeamento, limpeza de desenho e extração de atributos. O *CAD Overlay* permite processar as imagens escanerizadas de uma forma mais eficiente e produtiva, operando em conjunto com o *AutoCAD Map*.

5.3 Metodologia

5.3.1 Tratamento dos Dados

Inicialmente, utilizou-se o Módulo IMPIMA, do *Spring*, para a conversão dos arquivos digitais das imagens de satélite do formato original GEOTIFF para o formato de operação do Spring (GRIB), para posterior registro e processamento.

As cartas do Mapeamento Sistemático do Brasil, na escala de 1:100.000 foram rasterizadas, isto é, convertidas para um formato de imagem digital, utilizando-se um equipamento óptico-eletrônico ("scanner" de grande formato), para posterior georreferenciamento e digitalização no programa *AutoCAD Map*. Os arquivos foram gerados em formato TIFF, em tons de cinza, com resolução óptica de 300 pontos por polegada.

A malha de setores censitários rurais do IBGE foi convertida para o formato nativo do AutoCAD, o DWG, e, depois sua geometria, originalmente em projeção geográfica, foi transformada para uma projeção UTM, Fuso 24, conforme os parâmetros oficiais do **SGB**.

Os dados descritivos do Censo Demográfico de 2000, originalmente disponíveis em planilhas eletrônicas, foram convertidos para um banco de dados no formato *MS-Acess*, Versão 2000.

5.3.2 O Sistema Geodésico Brasileiro - SGB

A Geodésia tem por objetivo determinar a forma e as dimensões da Terra, ou de porções de sua superfície (GEMAEL, 1994). Segundo a FIG, a Geodésia é "a ciência da medição e representação da superfície da Terra", incluindo o estudo detalhado do campo de gravidade, cujos resultados propiciam a determinação rigorosa da forma da Terra (TORGE, 1991).

De fato, a forma e dimensão da Terra são um tema que vem sendo pesquisado ao longo dos séculos em várias partes do mundo, gerando diversas interpretações e conceitos. Pitágoras, em 528 a.C., introduziu o conceito de forma esférica para o planeta, e a partir daí sucessivas teorias foram desenvolvidas até se alcançar o conceito que é hoje bem aceito no meio científico internacional.

A superfície terrestre sofre freqüentes alterações devido a natureza (movimentos tectônicos, condições climáticas, erosão, entre outros) e a ação do homem.

O matemático alemão Carl Friedrich Gauss (1777-1855) contribuiu com a ciência geodésica ao definir que a forma do planeta é o Geóide, que corresponde “a superfície do nível médio do mar homogêneo (ausência de correntezas, ventos, variação de densidade da água, entre outros), supostamente prolongado por sob continentes. Essa superfície se deve, principalmente, “às forças de atração (gravidade) e força centrífuga (rotação da Terra)”. Segundo GEMAEL (1994), o geóide é “a superfície livre das águas do mar (nível médio) em equilíbrio, prolongada através dos continentes, e normal em cada ponto á direção da gravidade”.

Os diferentes materiais que compõem a superfície terrestre possuem diferentes densidades, fazendo com que a força gravitacional atue com maior ou menor intensidade em locais diferentes.

As águas do oceano procuram uma situação de equilíbrio, ajustando-se às forças que atuam sobre elas, inclusive no seu suposto prolongamento. A interação (compensação gravitacional) de forças buscando equilíbrio faz com que o geóide tenha o mesmo potencial gravimétrico em todos os pontos de sua superfície.

Mas é preciso buscar um modelo mais simples para representar o nosso planeta. Assim, adotou-se nos trabalhos geodésicos como forma matemática da Terra a figura geométrica do elipsóide de revolução, obtido pela rotação de uma elipse em torno do eixo menor. Portanto, o elipsóide é a superfície de referência, utilizada nos cálculos geodésicos que fornecem subsídios para uma posterior representação cartográfica.

Neste contexto, a superfície terrestre pode ser representada por um conjunto de pontos, cujas coordenadas geodésicas são latitude (ϕ), longitude (λ) e altitude ortométrica (h), onde estas coordenadas são definidas em um sistema tridimensional, o qual pode ser local ou global.

Um sistema é geocêntrico global quando a origem do sistema de coordenadas coincide com o centro de massa da Terra (Figura 38). No caso do sistema local, muitos foram os intentos realizados para calcular as dimensões do elipsóide de revolução que mais se aproxima da forma da Terra, e muitos foram os resultados obtidos. Em geral, cada país ou grupo de países adotou um elipsóide como referência para os trabalhos geodésicos

desenvolvidos na superfície terrestre que é, então, deslocado para que se aproxime do geóide na região considerada, sendo, assim, definido como um sistema local, com sua origem no centro deste elipsóide.

A forma e o tamanho de um elipsóide, bem como sua posição relativa ao geóide, definem um sistema geodésico, ou datum geodésico.

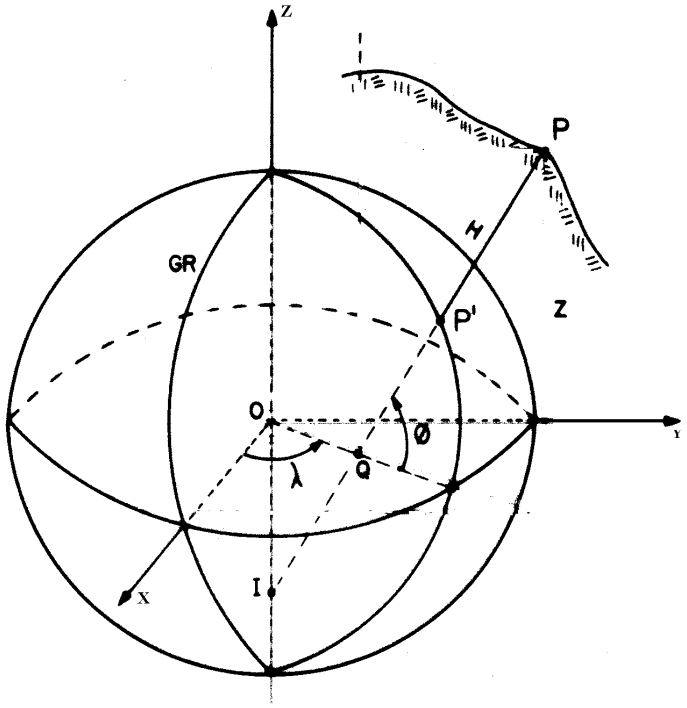


Figura 38 – Elipsóide Geocêntrico.

Fonte: ROMÃO, 2002.

Segundo ROMÃO (2002), “ao conjunto de pontos geodésicos estabelecidos no território delimitado pelas fronteiras do país, cujas coordenadas são obtidas por procedimentos operacionais e de cálculo de precisão de acordo com as normas e finalidades a que se destinam, denomina-se Sistema Geodésico Brasileiro, ou Datum Brasileiro”.

Para o SGB, o IBGE oficialmente adotou desde 1969 o Elipsóide de Referência Internacional 1967, que, embora sendo geocêntrico, é deslocado paralelamente ao eixo de rotação da Terra, de forma que a superfície do elipsóide coincida com a superfície do geóide no vértice CHUÁ da rede planimétrica de 1ª ordem, localizado em Minas Gerais (IBGE,1997).

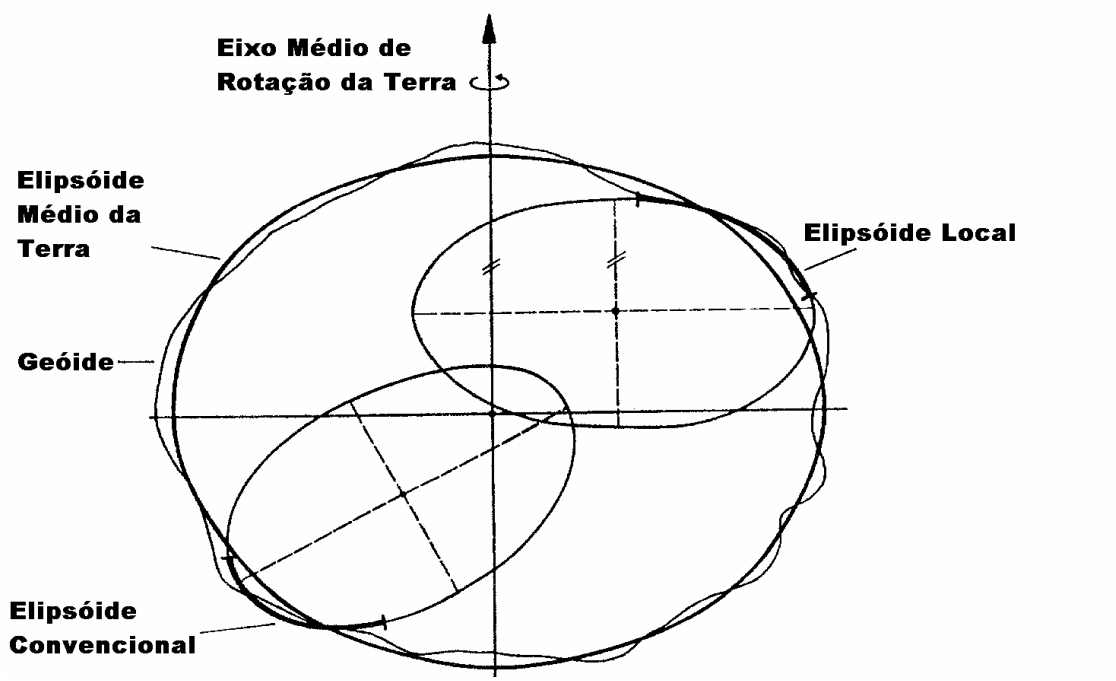


Figura 39 – Elipsóides Convencional e Local.

Fonte: ROMÃO, 2002.

Trata-se, então, de um sistema de referência local (Figura 39), conhecido pela sigla, em inglês, de SAD-69, ao qual devem estar referrenciadas todas as informações geoespaciais produzidas no Brasil, cujos parâmetros oficiais são:

- Semi-eixo maior a = 6.378.160,00 m
- Achatamento f = 1/298, 25.
- Datum vertical: Imbituba (SC)
- Origem das coordenadas (ou Datum planimétrico):

  Estação: Vértice Chuá (MG)

  Altura geoidal : 0 m

  Coordenadas: Latitude: 19º 45º 41,6527'' S

  Longitude: 48º 06' 04,0639" W

  Azimute geodésico para o Vértice Uberaba : 271º 30' 04,05"

Para a Cartografia oficial brasileira, adotou-se o Sistema de Projeção Universal Transversa de Mercator (UTM) para a elaboração de todas as cartas do mapeamento sistemático nacional (IBGE, 1997). Maiores detalhes sobre a representação UTM podem ser encontrados em GEMAEL (1994), SANTOS (2001) e LOCH (1995).

Desta forma, considerando os aspectos científicos e legais, adotou-se nesta pesquisa o SGB para todas as informações geoespaciais processadas, estando a cartografia representada no sistema UTM.

5.3.3 Processamento dos Dados

A Figura 40 ilustra um fluxograma geral utilizado para a metodologia de processamento dos dados, processos e sucessivos resultados obtidos.

Após a seleção das imagens LandSAT e conversão dos arquivos digitais para o formato GRIB, o primeiro passo foi definir um esquema conceitual no *Spring*, estabelecendo-se, adequadamente, um **Banco**, um **Projeto**, as **Categorias** e os **Planos de Informações** adequadamente.

Um **Banco** no *Spring* define um ambiente para armazenar dados geográficos, sem estar vinculado a uma área específica (semelhante a um sistema de arquivos convencional – um depósito de dados). O usuário pode definir vários bancos, mas somente um pode estar ativo em uma sessão de trabalho. O banco de dados armazena todas as definições de categorias de dados, que armazenarão aos diversos tipos de mapas, e que por sua vez são constituídas das entidades básicas geo-objetos[7] e geo-campos[8].

Um banco pode conter um ou mais projetos, o que permite organizar os dados por área geográfica. Fisicamente este banco corresponde a um diretório (pasta) no sistema de arquivos do computador. Por exemplo, um banco chamado "Xingo", poderia estar arquivado num disco rígido de um microcomputador em: *C:\Mestrado\Xingo.*

Um **Projeto** dentro de um banco permite especificar exatamente o espaço geográfico da área de trabalho, e é onde serão inseridos os diversos mapas (Planos de Informações) desta área (*semelhante a uma gaveta de sistema de arquivos convencional – cada gaveta contém dados de uma determinada área*). Cada Projeto possui ainda propriedades cartográficas (*projeção*, *datum*, etc) pré-definidas pelo usuário, que são herdadas pelas informações contidas neste projeto. Somente um Projeto pode estar ativo em uma sessão de trabalho. Fisicamente um projeto corresponde a um sub-diretório (pasta) no sistema de

[7] *"Representam elementos únicos que possuem atributos descritivos e estão associados a múltiplas localizações geográficas", por exemplo, mapas cadastrais e de redes (INPE, 2001).*
[8] *"Representam a distribuição espacial de uma variável que possui valores em todos os pontos pertencentes a uma região geográfica", por exemplo, imagens e mapas temáticos (INPE, 2001).*

arquivos do computador, debaixo do diretório de um banco. Por exemplo, um projeto chamado "Desertificacao", do banco "Xingo", poderia estar em *C:\Mestrado\Xingo\Desertificacao*.

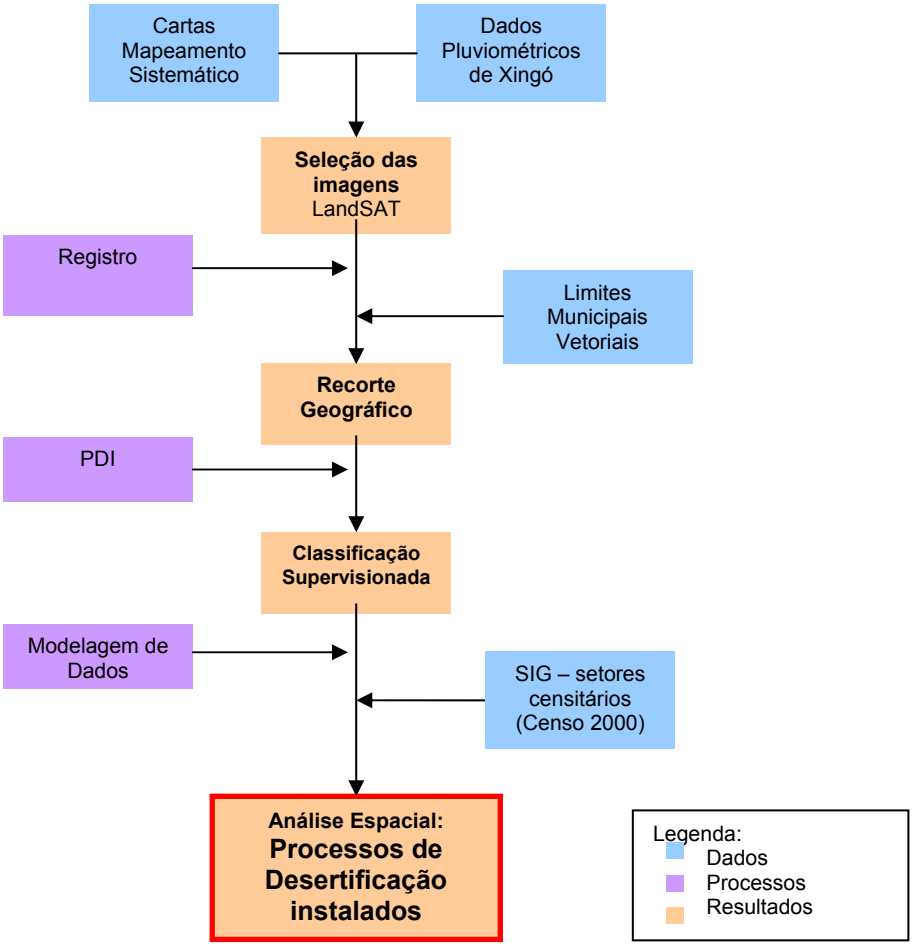


Figura 40 – Fluxograma geral da metodologia utilizada na pesquisa.

As **Categorias** de um Banco de Dados estão disponíveis para qualquer Projeto dentro deste banco. Um banco pode conter várias categorias. Estas categorias permitem organizar os dados em tipos (modelos) diferentes, semelhante às fichas de uma gaveta de sistema de arquivos convencional, organizadas por letras – cada letra representa um tipo de dado de uma determinada área. Os tipos de categorias disponíveis são: Temático, Imagem, Numérico, Cadastral, Redes e Objetos, podendo-se definir uma ou mais do mesmo modelo, mas com nomes distintos para diferenciar a aplicação. Por exemplo, uma categoria para *Solos* e outra para *Vegetação*, sendo ambas do modelo Temático.

A categoria do modelo Temático pode ser especializada em Classes Temáticas, por exemplo, as classes de um mapa de Solos, sendo associado a cada classe um visual gráfico diferente. Os dados deste modelo podem ser representados na forma matricial ou vetorial.

A categoria Imagem permite armazenar qualquer imagem obtida por sensores remotos (fotos aéreas ou orbitais) ou ainda imagens de modelos numéricos. Somente a representação matricial é possível neste modelo.

A categoria Numérico é utilizada para armazenamento de modelos numéricos de terreno (dados de altimetria, geo-física, geo-química etc.), que podem ser representados na forma matricial ou vetorial.

As categorias Cadastral e Redes permitem especializar objetos. Os objetos de uma categoria do tipo Objeto são únicos e têm atributos em tabelas específicas, podendo estar representados em diversas escalas, em diferentes categorias cadastrais ou de redes. A forma de representação dos objetos é vetorial. A categoria Cadastral é utilizada para representar objetos na forma de *pontos*, *linhas* ou *polígonos*, por exemplo, um mapa cadastral de lotes urbanos. Já a categoria Redes trabalha somente com objetos na forma de *nós* e *linhas*, por exemplo, um mapa de redes de eletrificação.

Um **Plano de Informação** (PI) deve pertencer a uma única Categoria do banco, entretanto podem existir vários Planos de Informações de uma mesma Categoria em um banco. Por exemplo, dois PI's de datas diferentes de uso da Terra, porém da mesma Categoria temática.

Somente um PI pode estar ativo para executar qualquer operação sobre o mesmo. Fisicamente um PI corresponde a um arquivo no sistema de arquivos do computador, debaixo do sub-diretório do projeto e diretório de um banco. Por exemplo, um PI de "Limites_Municipais" (V000017.lin – nome do arquivo fornecido pelo sistema) do projeto chamado "Desertificacao", do banco "Xingo", poderia estar em *C:\Mestrado\Xingo\Desertificacao\V000017.lin*.

Desta maneira, foi estabelecido o seguinte modelo conceitual para o *Spring*:

- Banco: Xingo

- Projeto: Desertificacao[9]
    - Projeção: UTM/SAD-69
- Categorias:
    - Analises (temática)
    - Base_Matricial (imagem)
    - Base_Vetorial (cadastral)
    - Classificacoes (temático)
- Planos de Informação (PI's):
    - Desertificacao
    - (diversas imagens durante o PDI)
    - Limites_Municipais
    - ClassSup_1989
    - ClassSup_1995
    - ClassSup_2003

Ao iniciar o processamento das imagens orbitais no programa computacional *Spring*, utilizaram-se Transformações Polinomiais e foi realizado o registro ou georreferenciamento das imagens originais, isto é, estabeleceu-se uma relação entre coordenadas da imagem e coordenadas geográficas, cujos pontos de controle foram obtidos a partir de coordenadas retiradas das cartas analógicas do Ministério do Exército, na escala de 1:100.000, observando pontos notáveis nas imagens e procurando definir uma distribuição mais uniforme e concentrada na área de estudo (Figura 41).

No total, foram inseridos 17 pontos, sendo considerados os 10 melhores em termos de erro sistemático (Quadro 12). Neste processo, o sistema permite, simultaneamente ao registro, uma Correção Geométrica visando a eliminação de erros geométricos sistemáticos (rotação da Terra – "skew", distorções panorâmicas – compressão, curvatura da Terra – compressão, arrastamento da imagem durante uma varredura, variações de altitude, atitude e velocidade do satélite). Utilizou-se o interpolador Vizinho + Próximo, pois este permite um processamento mais rápido e não cria novos valores de NC (CRÓSTA, 1993).

O RMSE nos PC's, obtidos a partir de cartas do MSB, na escala 1:100.000, foi de 1,281pixel que, ao multiplicá-lo pela resolução espacial da imagem multi-espectral LandSAT ETM+ (30m), obteve-se um RMSE de 38,43m. Este erro é admissível considerando o PEC, que aceita 0,5mm de erro na escala de trabalho (1:100.000).

[9] *Optou-se pelo topônimo sem cedilha e acento para evitar conflitos futuros em outros sistemas operacionais.*

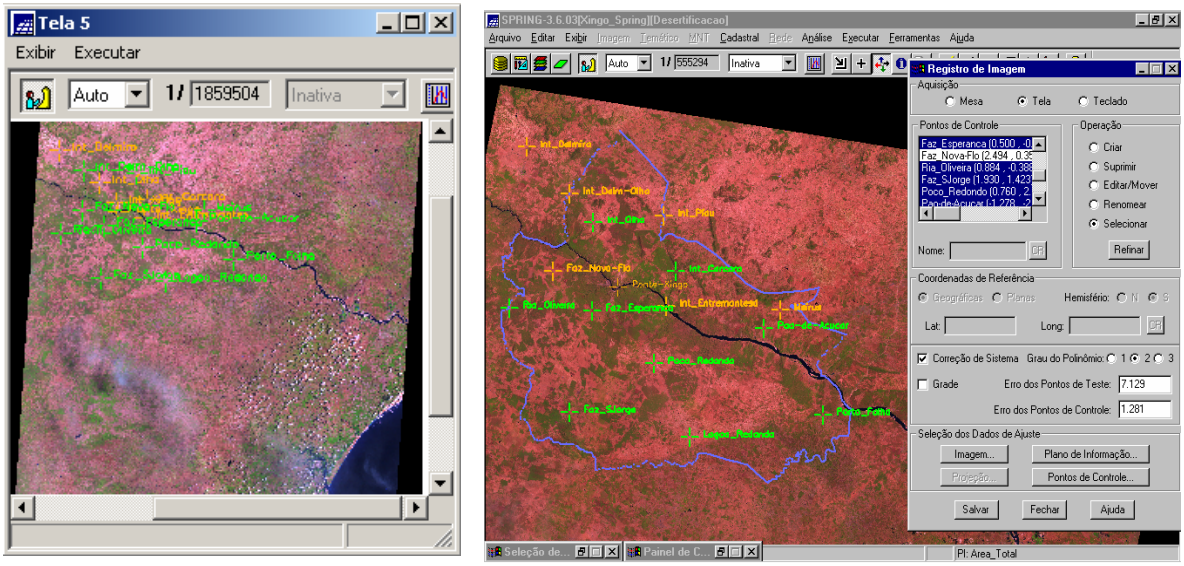


Figura 41 – Distribuição dos pontos de controle para o registro das imagens LandSAT: à esquerda, os pontos em relação à cena inteira; à direita, em relação à área de estudo (Data: 11/03/89).

Quadro 12 – Pontos de Controle extraídos das cartas do Ministério do Exército/DSG, na escala de 1:100.000, SGB SAD-69, projeção UTM, Fuso 24, utilizados para o georreferenciamento das imagens LandSAT.

PONTO	COORDENADA E (x)	COORDENADA N (y)
Ponte_Xingo	634722	8934664
Int_Xingo	634777	8939677
Int_Olho	628485	8950189
Int_Delmiro	611388	8968445
Int_Entremontes	647018	8930112
Int_Carcara	649541	8938374
Int_Piau	646492	9851829
Int_Delm-Olho	622400	8957126
Faz_Esperanca	628099	8928940
Faz_Nova-Flo	618231	8938587
Riach-Oliveira	607028	8929620
Faz_SJorge	622477	8904394
Poco-Redondo	644014	8916154
Pao-de-Acucar	672050	8924718
Meirus	676134	8929096
Porto_Folha	687051	8903868
Lagoa_Redonda	653068	8898424

Assim, uma vez georreferenciadas todas as cenas, suas respectivas bandas espectrais foram importadas para os devidos PI's, dentro do *Spring*.

O passo seguinte foi a importação vetorial do limite da área de estudo. Antes, no *AutoCAD Map*, foi realizada uma limpeza de desenho (em inglês, "drawing clean-up") nos arquivos cedidos pelo IBGE/DIGEO-Salvador, objetivando-se a eliminação de erros de desenho e o fechamento de polígonos; depois, foi criada uma topologia de polígonos, utilizando-se os polígonos definidores dos limites municipais; na seqüência, uma operação de dissolução de topologia criou, finalmente, um único polígono definidor da área de estudo, juntando os seis municípios em estudo (Figura 42), recortando as cenas originais. Assim, ao discretizar os dados da área de estudo, obteve-se uma diminuição considerável do espaço em disco ocupado pelos arquivos de imagens e, conseqüentemente, do tempo de processamento para todas as fases da pesquisa.

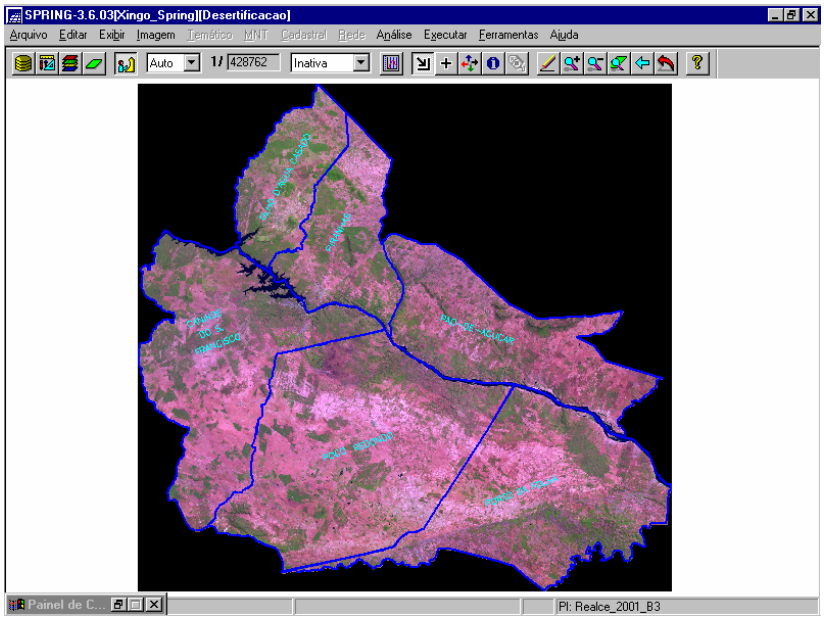


Figura 42 – Recorte geográfico nas cenas originais, delimitando a área de estudo (Data: 06/10/95).

Uma vez que as imagens estavam georreferenciadas e recortadas, iniciaram-se as técnicas de PDI, visando a melhoria da qualidade visual das imagens e a extração de informações específicas de interesse da pesquisa. Foram testadas diversas técnicas com o intuito de avaliar a aplicabilidade na identificação das áreas degradadas e passíveis de desertificação. As técnicas que apresentaram melhores resultados foram selecionadas para compor uma análise espacial realizada numa linguagem de programação de álgebra

espacial que, junto com os dados censitários, pudesse caracterizar cientificamente e localizar espacialmente a ocorrência dos processos de desertificação em Xingó.

Diversas combinações de bandas espectrais foram testadas, sendo que as que apresentaram melhores resultados (CRÓSTA, 1993; JENSEN, 1999; KAZMIERCZAK, 1996; MALDONADO, 2001) foram:

- RGB 321 – Cor Natural: traz informações da faixa do visível, ideal para a identificação de áreas urbanas e contraste entre tipos de vegetação;
- RGB 543 – Falsa Cor: traz informações do infra-vermelho próximo (banda 5), ideal para identificação de estresse hídrico da vegetação, uso e cobertura do solo.

O primeiro conjunto de técnicas utilizado refere-se ao Realce de Contraste. Segundo CRÓSTA (1993), o objetivo destas técnicas é melhorar a qualidade visual das imagens para uma posterior interpretação e enfatizar alguma característica de interesse para uma aplicação específica. No caso, os alvos de interesse são, basicamente, vegetação nativa, pasto/cultura agrícola, solo exposto, corpos d'água e área urbana.

As técnicas de realce testadas foram:

- Manipulação de Histograma
    - Linear
    - Equalização
- Filtragem Linear
    - Realce de Imagem TM
    - Filtro de Passa-Alta

A manipulação **Linear** de histograma é definida por uma função de transferência linear, onde y = f(x). Assim, quanto maior é a inclinação da reta no histograma de freqüências, maior será o realce da imagem (CRÓSTA, 1993; MOREIRA, 2003). A forma do histograma da imagem realçada é a mesma da imagem original, pois cada barra do histograma continua tendo a mesma altura, porém em uma posição diferente (Figuras 43, 44 e 45).

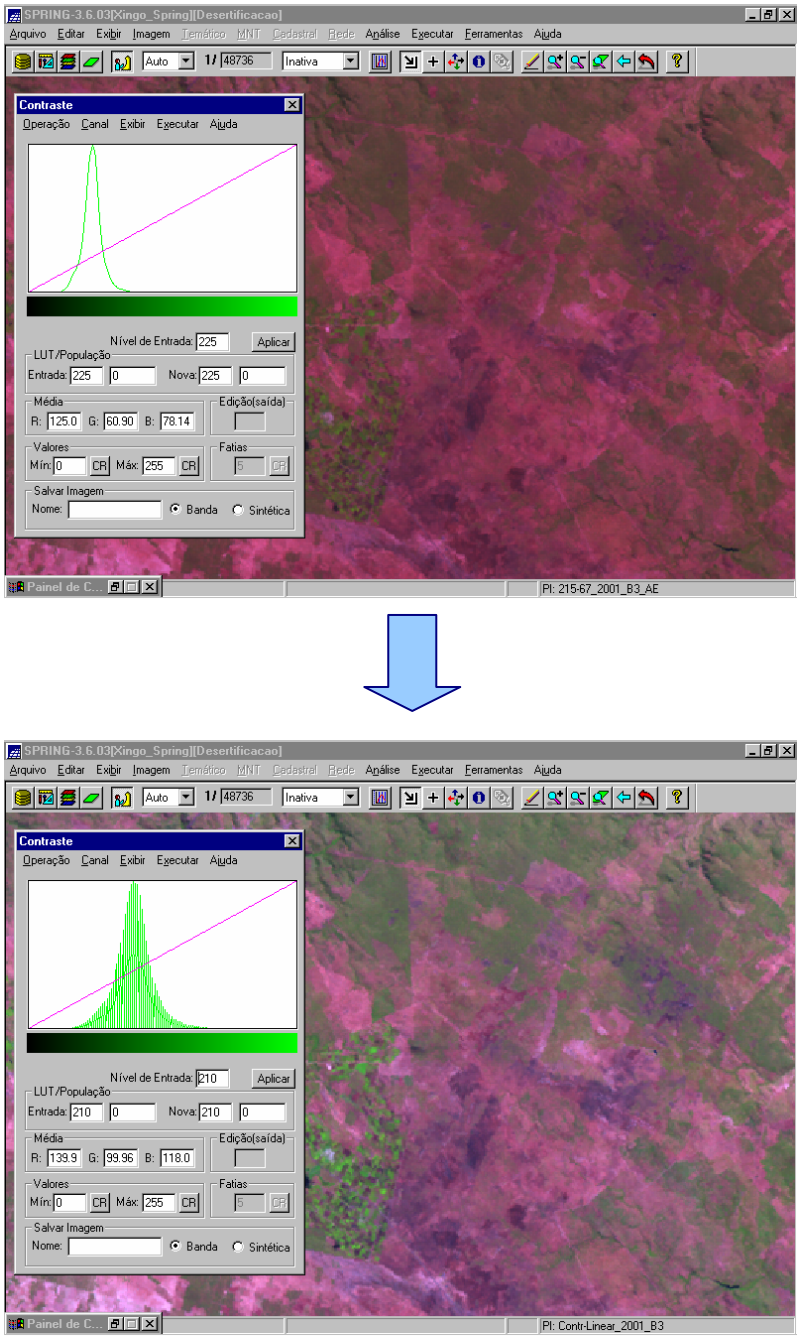


Figura 43 – Aplicação da técnica de realce linear: ao alto, antes da manipulação do histograma; acima, após a manipulação, observando-se a melhoria da qualidade na imagem resultante com o deslocamento do histograma ao longo do eixo de NC's (Combinação Espectral RGB 543 – Falsa Cor; Data: 05/01/03).

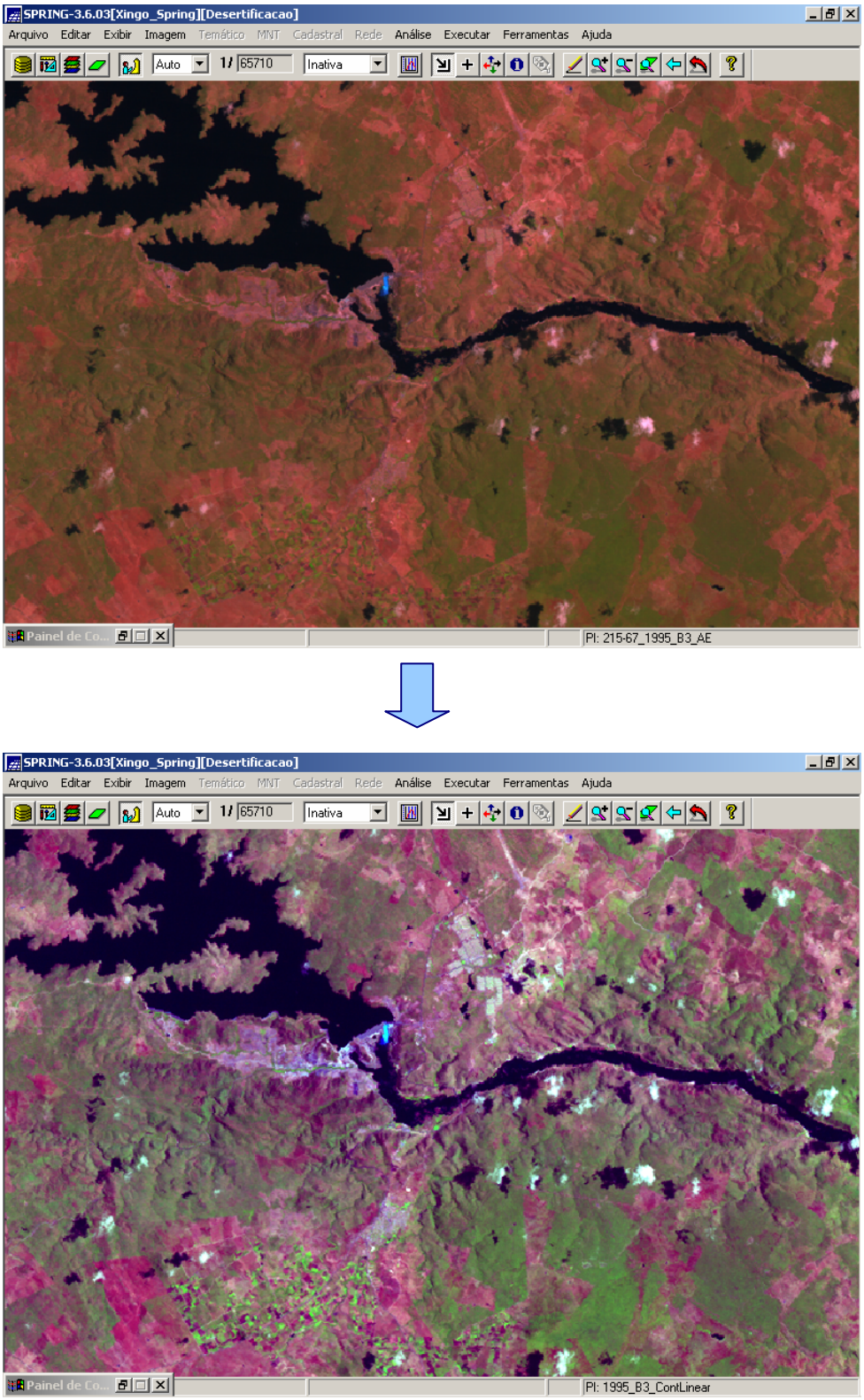


Figura 44 – Ao alto, a imagem original, onde os alvos aparecem com pouca definição; após aplicar-se o realce linear do histograma (acima), a distinção entre vegetação e solo exposto fica mais nítida numa Combinação Espectral RGB 543 – Falsa Cor (Data: 06/10/95); observa-se um pequeno brilho em azul no centro da figura, significando a abertura do vertedouro da represa da UHE Xingó no momento da aquisição da cena.

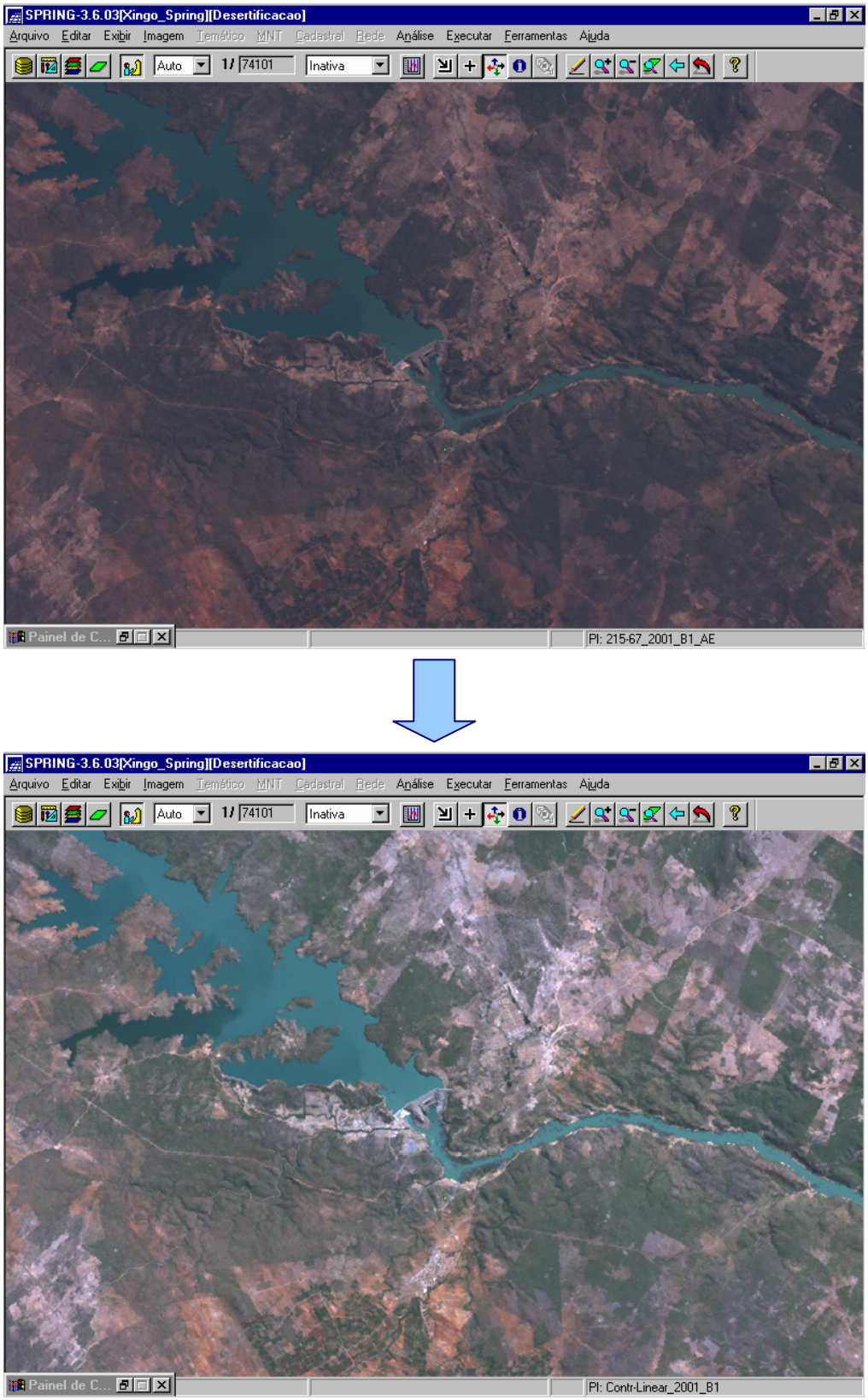


Figura 45 – Na imagem original (ao alto), os alvos aparecem com pouca definição; após aplicar-se o realce linear do histograma (acima), o lago e a represa da UHE Xingó, bem como outros alvos, aparecem com melhor qualidade visual (Combinação Espectral RGB 321 – Cor Natural; Data: 05/01/03).

A **Equalização** de histogramas tem por objetivo modificar o histograma da imagem original de tal forma que a imagem transformada tenha um histograma uniforme. Assim, todos os níveis de cinza (NC) devem aparecer com a mesma freqüência. O problema nesta técnica é que os NC's são alterados, podendo surgir falsos contornos devido à redução da variância espectral (Figura 46).

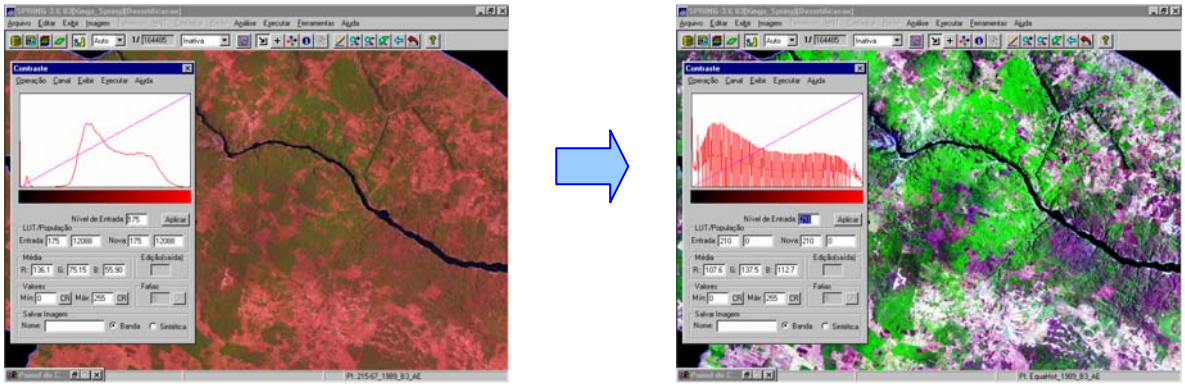


Figura 46 – Equalização de Histograma: à esquerda, a imagem e o histograma originais; à direita a imagem e o histograma modificados; observa-se o destaque para a vegetação em verde (Combinação Espectral RGB 543; Data: 11/03/89).

A filtragem linear com **Realce de Imagem TM** tem por objetivo compensar distorções radiométricas próprias do sensor TM (BANON & BARREIRA, 1994). Uma matriz de realce linear é aplicada na imagem original, resultando numa melhoria visual dos alvos de interesse (Figura 47).

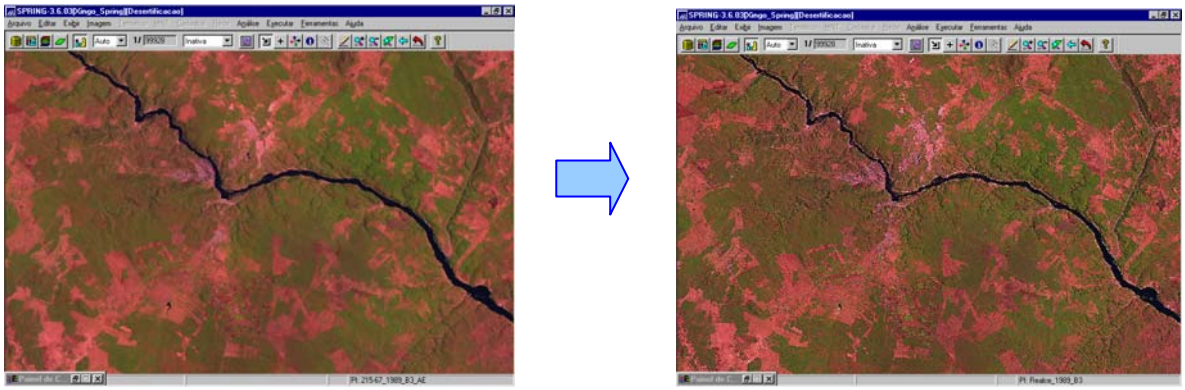


Figura 47 – Realce de Imagem TM: à esquerda, a imagem original; à direita a imagem modificada; observa-se uma discreta melhoria na definição das bordas dos alvos (Combinação Espectral RGB 543; Data: 11/03/89).

De uma maneira em geral, os filtros têm por objetivo tornar mais nítida a transição entre regiões diferentes (bordas) na imagem (BANON & BARREIRA, 1994). Assim, testando esta técnica, utilizou-se um **Filtro de Passa-Alta** com uma matriz não-direcional de borda (Figura 48). Entretanto, os resultados obtidos não trouxeram grande contribuição na identificação dos alvos, exceto na detecção das margens do rio São Francisco (transição água – solo), pois nesta região o rio está inserido num cânion geológico.

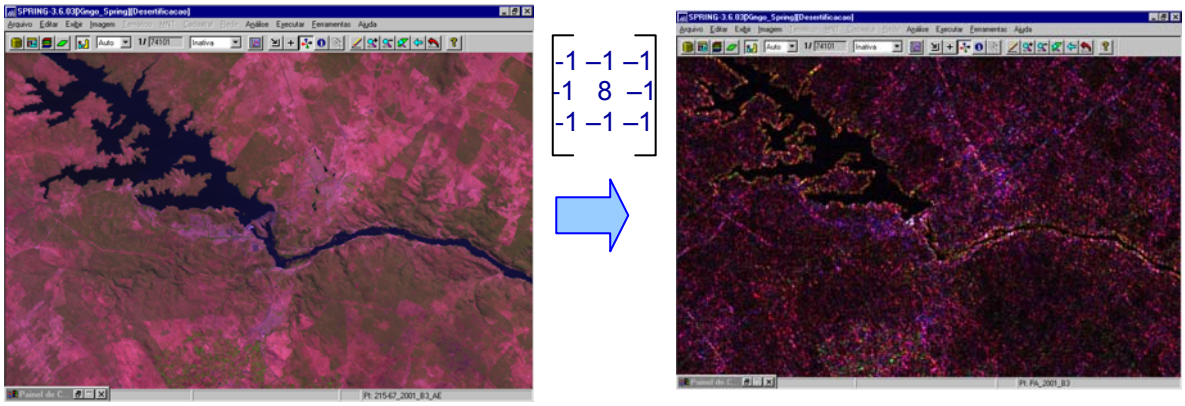


Figura 48 – Filtro Passa-Alta: à esquerda, a imagem original; à direita a imagem filtrada; entre as imagens, a matriz utilizada; observa-se a distinção das margens no cânion do São Francisco (Combinação Espectral RGB 543; Data: 06/11/95).

Das técnicas de realce de imagem testadas, conclui-se que, para esta pesquisa, o realce linear de histograma apresentou os melhores resultados na melhoria da qualidade visual das imagens e na distinção entre os alvos naturais e antrópicos, além de não modificar os valores espectrais originais.

A seguir foram testadas e avaliadas as técnicas de PDI referentes às Transformações Multiespectrais, objetivando-se uma avaliação espectro-temporal de imagens co-registradas[10].

As técnicas avaliadas foram:

- Razão entre bandas
- Componentes Principais
- Transformação RGB → IHS

[10] *De uma mesma localização geográfica, porém de épocas distintas.*

Foram testadas três técnicas de **razão entre bandas**: a primeira objetivou a detecção de corpos d'água, a segunda, a presença de vegetação, e a terceira, a mudança de cobertura vegetal entre os anos de 1989 e 2003.

Como a água limpa e profunda tem grande absorção nas bandas TM 2 e TM 5, a razão aritmética entre estas bandas diminui os NC's deste alvo, evidenciando sua presença na imagem resultante (Figura 49).

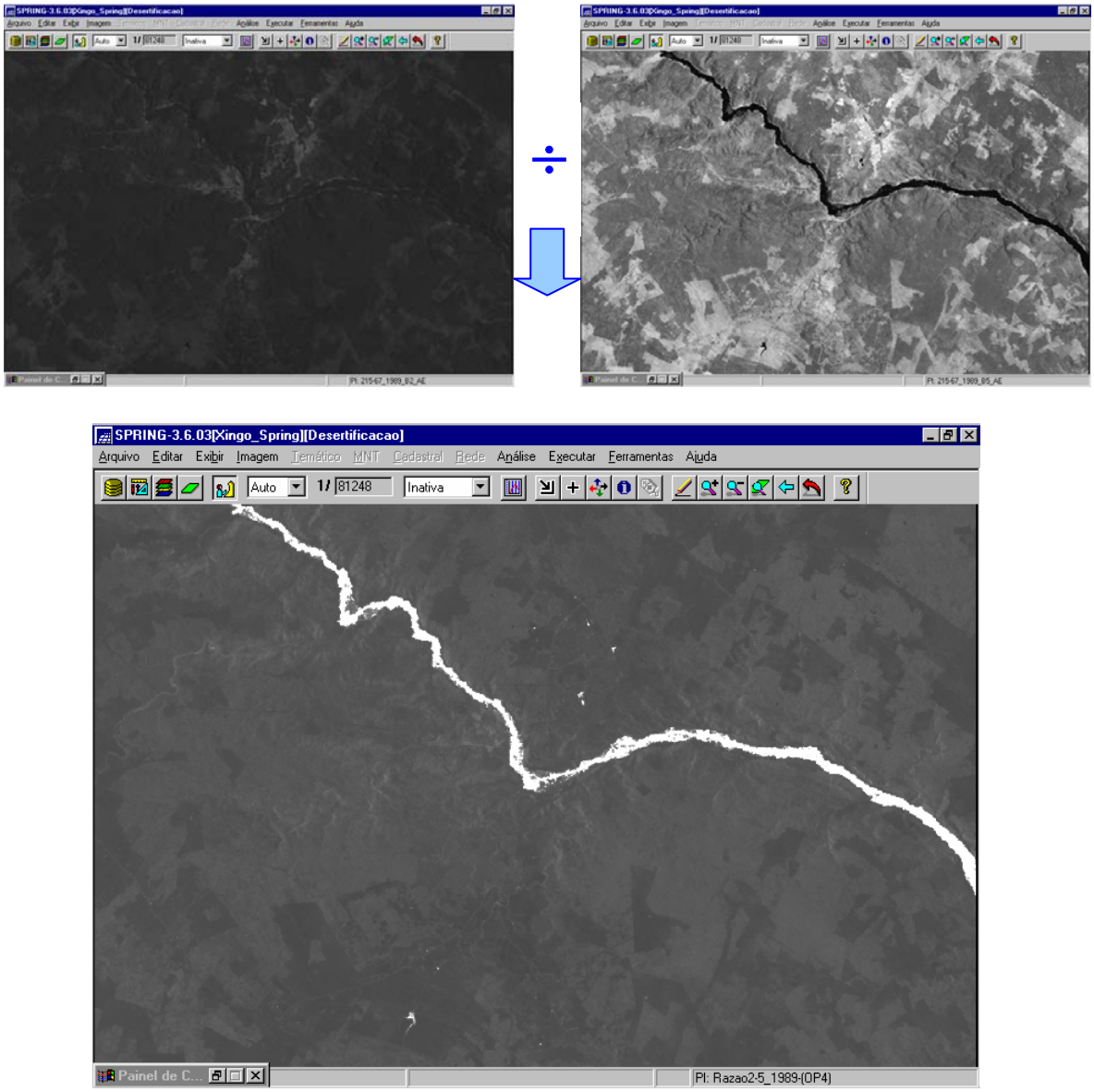


Figura 49 – Razão entre as bandas TM 2 e TM 5 para detecção de corpos d'água: excelentes resultados com a perfeita identificação do leito do rio São Francisco e outros pequenos corpos d'água (em branco); ao alto à esquerda, a banda TM 2 original; ao alto à direita, a banda TM 5 original; na figura maior, a imagem resultante (Data: 11/03/89).

Uma das mais importantes técnicas de transformações multiespectrais para detecção de mudança de vegetação é o NDVI. Trata-se de uma razão entre bandas espectrais de alta correlação entre si, uma operação aritmética que realça os alvos de interesse, no caso, a vegetação (KASMIERCZAK, 1996; OLIVEIRA *et alli*, 2003). Com a aplicação desta técnica, tem-se um aumento de contraste entre solo e vegetação, além dos efeitos de iluminação, declividade da superfície e geometria de visada do sensor serem parcialmente compensados.

Segundo KASMIERCZAK (1996) e COSTA *et alli* (2001), a equação do NDVI é:

NDVI = (TM4 – TM3) / (TM4 + TM3),

Na equação acima, TM representa uma determinada banda espectral do sistema LandSAT. Para a banda TM 3 (região do vermelho), a vegetação verde, densa e uniforme fica escura. Por outro lado, para a banda TM 4, os corpos d'água ficam escuros e a vegetação verde, densa e uniforme fica clara. Disto resulta uma nova banda espectral, representando a razão entre as bandas originais, onde as áreas claras indicam a presença de vegetação e as áreas escuras, sua ausência numa mesma data (Figuras 50 e 51).

As bandas NDVI de 1989 e 2003 foram, então, utilizadas com o objetivo de detectar mudanças de padrão da cobertura do solo no período. A técnica tem as seguintes etapas (CRÓSTA, 1993; MOREIRA, 2003):

- Obtenção das estatísticas da imagem, tomando-se a banda NDVI 1989 como referência, para modificar a banda NDVI 2003 (Figura 52);
- Cálculo de ganho e *offset* para igualar média dos NC's e variância das respectivas bandas (Figura 53):
    - NDVI 1989 – Média = 141,1358
    - NDVI 2003 – Média: antes = 191,7848; depois = 141,4315
- Ganho = $(V_{1989}/V_{2003})^{(½)}$
- Offset = M_{1989} – ganho x M_{2003}
- Igualar média e variância: NDVI-2003_igual = ganho x NDVI_CL_1989+offset
- Razão entre as bandas 1989/2003
- Realce de Contraste

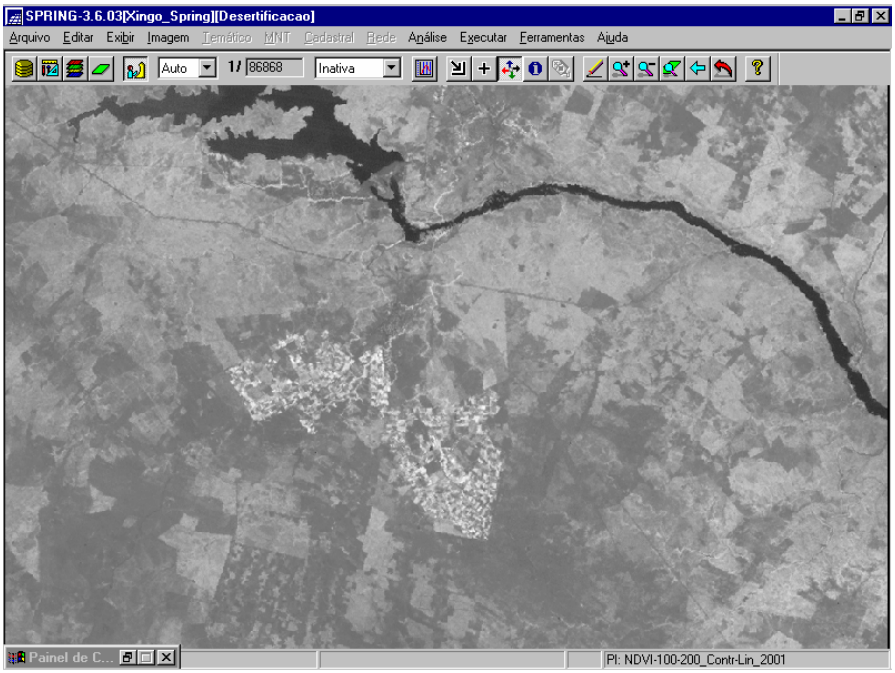


Figura 50 – NDVI: áreas claras indicam presença de vegetação (Data: 05/01/03).

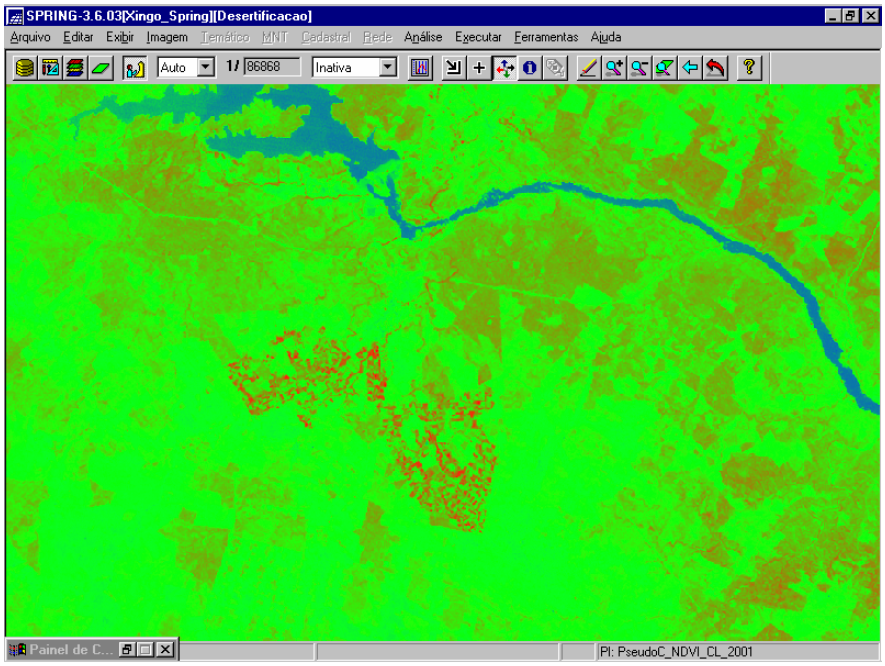


Figura 51 – Após o NDVI, aplicação de Pseudo-Color com Fatiamento em Arco-Íris - áreas em vermelho indicam presença de vegetação; observa-se na região central da figura o destaque para o projeto de irrigação Califórnia, em Canindé de São Francisco/SE.

Estatisticas_NDVI.txt - Notepad

File Edit Search Help

```
        MOMENTOS: Amostra =  Amostra1

Banda   Media   Desv.Padrao   Variancia    3_Momento        4_Momento

  0    162.62      34.36       1180.61     -14184.29       5505934.00
  1    184.27      12.71        161.49       -378.28        117455.88


        COEFICIENTES:  Amostra =  Amostra1

Banda   Coef. de Variacao   Coef. de Assimetria    Kurtosis (achatamento)

  0             0.21                -0.35                    0.95
  1             0.07                -0.18                    1.50


        VALORES:  Amostra =  Amostra1

Banda   Moda   Valor Minimo   Valor Maximo

  0      126          0            252
  1      175        128            251
```

Figura 52 – Quadro estatístico da banda NDVI 1989.

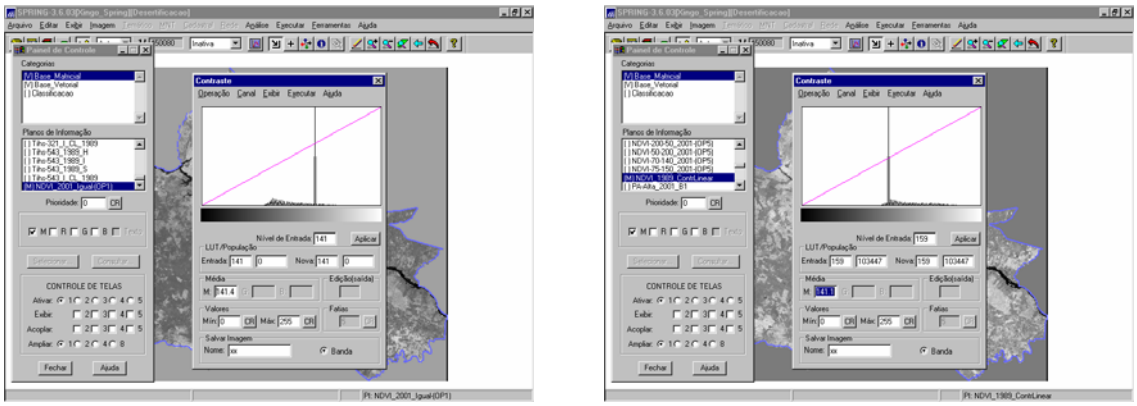


Figura 53 – Igualando a média da banda NDVI 2003 (esquerda) à banda NDVI 1989 (direita).

Ao realizar a razão entre as bandas NDVI de 1989 e 2003, antes igualando a média e a variância, resulta numa nova banda espectral que identifica as áreas onde houve perda de vegetação no período observado. Para melhorar a qualidade da imagem resultante, foi feita uma composição em pseudo-color com fatiamento em arco-íris, como mostra a Figura 54.

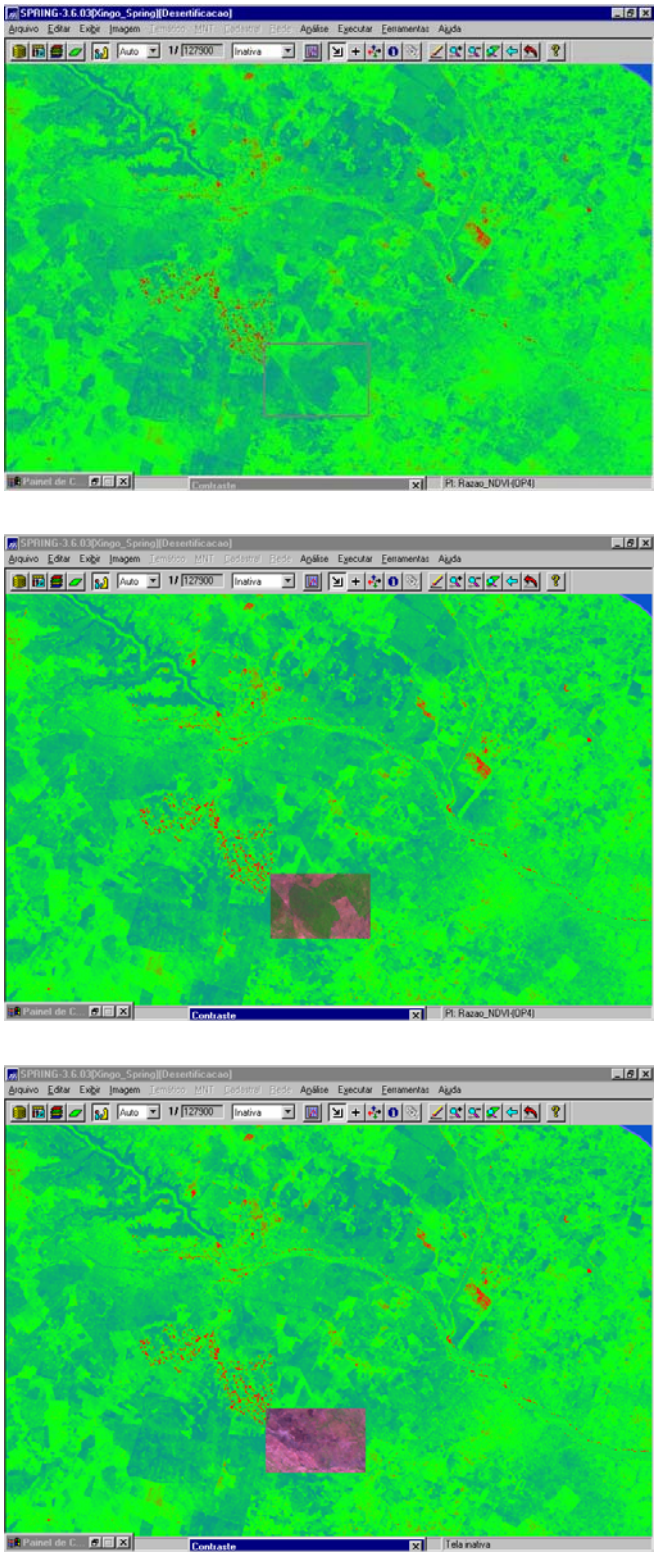


Figura 54 – Detecção no padrão de cobertura vegetal entre 1989 e 2003 a partir de NDVI: ao alto, a banda resultante; para efeito de comparação, a figura do centro mostra uma pequena área onde havia vegetação em 1989 e a figura acima mostra a mesma área com o solo praticamente exposto em 2003, comprovando, assim, eficácia da técnica.

A segunda técnica de Transformações Multiespectrais em PDI avaliada foi a de **CP**. Segundo FONSECA (2000), esta técnica está baseada nas propriedades estatísticas da imagem, ao contrário das anteriores que estão fundamentadas nas características físicas da cena e na experiência do usuário. A questão é que as bandas espectrais de uma imagem são, geralmente, altamente correlacionadas. Isto se deve, principalmente, ao sombreamento resultante da topografia do terreno, sobreposição espectral ou baixa reflectância de um determinado alvo numa faixa espectral, ou do próprio comportamento espectral do alvo.

Assim, o problema que se coloca é que bandas espectrais altamente correlacionadas reduzem a capacidade de extração de informações sobre a cena orbital. Portanto, o objetivo desta técnica é, a partir das bandas originais de uma imagem multiespectral, gerar novas bandas descorrelacionadas, isto é, sem redundâncias entre si. Trata-se, portanto, de uma técnica de realce que reduz ou remove esta redundância espectral.

O número de componentes principais é igual ao número de bandas espectrais utilizadas e são ordenadas de acordo com o decréscimo da variância de nível de cinza. “A primeira CP tem a maior variância (maior contraste) e a última, a menor variância. A segunda e as subseqüentes CP, apresentam gradativamente menos contraste entre os alvos e são desprovidas de informação topográfica, devido à ausência de sombreamento. A terceira e quarta componentes principais contêm tipicamente menos estrutura da imagem e mais ruído que as duas primeiras, indicando a compressão dos dados nos primeiros canais. A última componente representa basicamente o ruído existente nos dados originais” (FONSECA, 2000).

A técnica consiste em:

- Transformação da rotação dos eixos de atributos originais (canais 1 e 2) em eixos chamados de Componentes Principais, através de operações matemáticas lineares (Figura 55);
- Análise da Matriz de Covariância entre todas as bandas, calculando os autovalores, isto é, o comprimento dos eixos das componentes principais de uma imagem que são medidos em unidade de variância, definindo a contribuição de cada banda original para uma determinada CP, numa combinação aditiva e linear (Figura 56);
    - A 1ª. CP é semelhante a uma vista pancromática da cena (Figura 57)
- Realce por Decorrelação: visa o realce da distribuição das cores, através da eliminação da correlação entre as bandas; só pode ser aplicado sobre um

triplete de bandas (Figura 58), ao contrário da CP "tradicional" que é normalmente aplicada sobre todas as bandas.

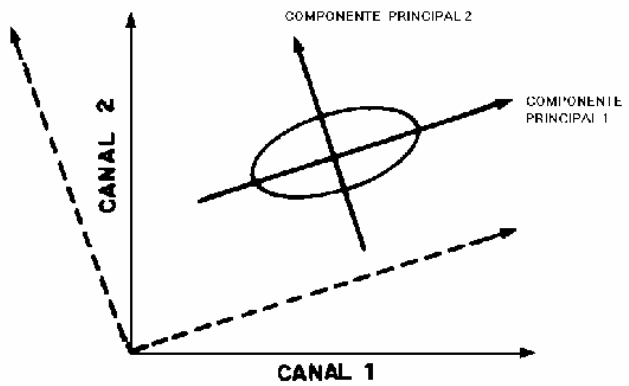


Figura 55 – Transformação da rotação dos eixos de atributos originais em CP: a figura mostra que a transformação de componente principal em duas dimensões corresponde à rotação do eixo original da coordenada para coincidir com as direções de máxima e mínima variância no dado.

Fonte: FONSECA, 2000.

A terceira e última técnica de Transformações Multiespectrais avaliada foi a **Transformação RGB → IHS**. O objetivo desta técnica é mapear o sistema de cores RGB para o sistema IHS, controlando melhor a formação de cores de acordo com a percepção do SVH.

De fato, segundo CRÓSTA (1993), quando descreve as propriedades de cor de um objeto em uma imagem, normalmente o olho humano não distingue a proporção de azul, verde e vermelho presentes, como no sistema computacional associado ao monitor de vídeo, e sim, avalia a intensidade (I), a cor ou matiz (H) e a saturação (S), onde:

- A **intensidade** ou brilho significa a medida de energia total envolvida em todos os comprimentos de onda, sendo, assim, responsável pela sensação de brilho dessa energia incidente sobre o olho;
- O **matiz** ou cor de um objeto traz a medida do comprimento de onda médio da luz que se reflete ou se emite, definindo, portanto, a cor do objeto;
- A **saturação** ou pureza expressa o intervalo de comprimento de onda ao redor do comprimento de onda médio, no qual a energia é refletida ou transmitida. Um alto valor de saturação resulta em uma cor espectralmente

pura, ao passo que um baixo valor indica uma mistura de comprimentos de onda que irá produzir tons pastéis (apagados).

Parametros-TCP_1989.txt - Bloco de notas

Arquivo Editar Formatar Ajuda

PI	Média	Variância
215-67_1989_B1_AE	56.99	2472.32
215-67_1989_B2_AE	26.13	536.23
215-67_1989_B3_AE	33.99	1015.24
215-67_1989_B4_AE	43.84	1494.83
215-67_1989_B5_AE	83.16	6068.34
215-67_1989_B7_AE	38.18	1462.82

PC	Auto-valor	Porcentagem
P1	12698.75	97.31
P2	275.81	2.11
P3	50.96	0.39
P4	16.50	0.13
P5	7.06	0.05
P6	0.70	0.01

Matriz de Covariância

2472.32	1146.96	1536.53	1872.72	3730.15	1759.40
1146.96	536.23	725.76	870.73	1755.72	835.16
1536.53	725.76	1015.24	1152.18	2454.47	1195.10
1872.72	870.73	1152.18	1494.83	2826.09	1304.59
3730.15	1755.72	2454.47	2826.09	6068.34	2937.15
1759.40	835.16	1195.10	1304.59	2937.15	1462.82

Matriz de Correlação

1.000	0.996	0.970	0.974	0.963	0.925
0.996	1.000	0.984	0.973	0.973	0.943
0.970	0.984	1.000	0.935	0.989	0.981
0.974	0.973	0.935	1.000	0.938	0.882
0.963	0.973	0.989	0.938	1.000	0.986
0.925	0.943	0.981	0.882	0.986	1.000

Matriz de Auto-vetores

0.43	0.20	0.28	0.33	0.69	0.33
0.49	0.16	-0.09	0.59	-0.37	-0.48
-0.59	-0.23	-0.30	0.61	0.34	-0.15
-0.34	0.17	0.59	0.38	-0.45	0.41

Figura 56 – Dados estatísticos sobre amostras da imagem multiespectral de 1989.

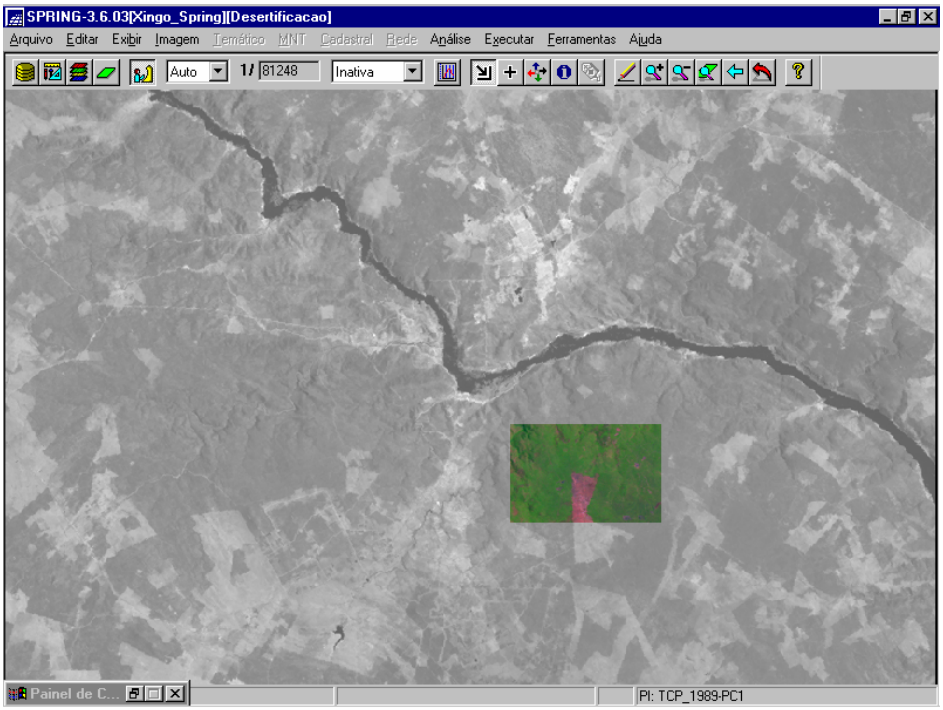


Figura 57 – 1ª. CP da imagem de 11/03/89, com realce de contraste aplicado; no detalhe, uma composição colorida RGB 543 da mesma imagem.

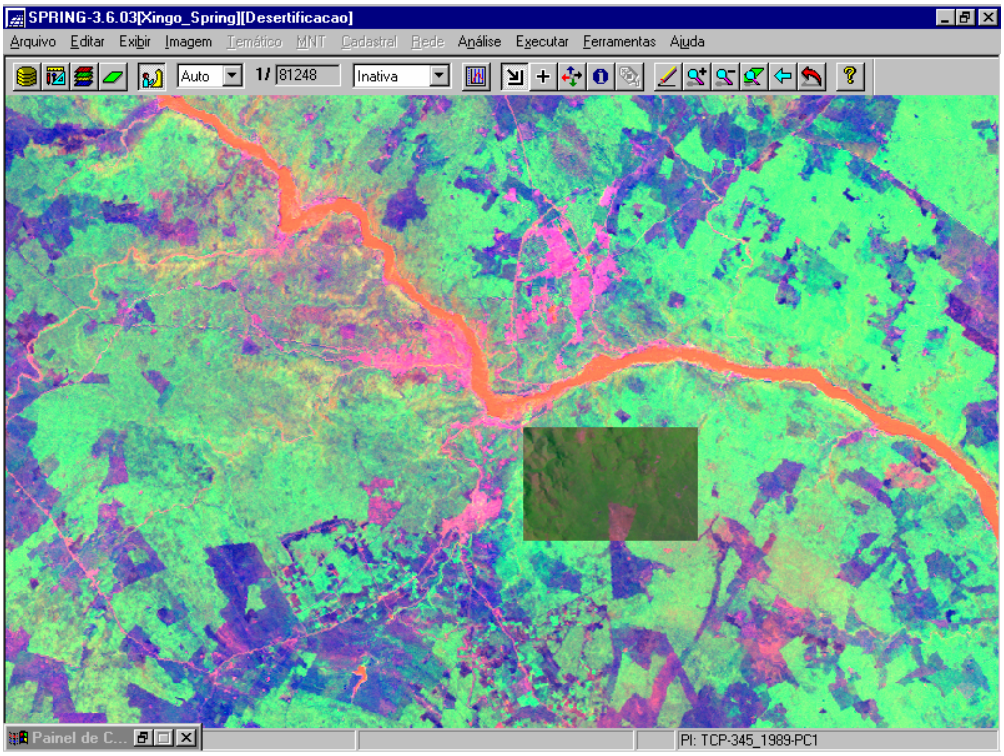


Figura 58 – Realce por Decorrelação de CP na cena de 1989: 1ª. CP = azul; 2ª. CP = verde; 3ª. CP = vermelho; no detalhe, uma composição colorida RGB 543; a vegetação, por ter uma faixa espectral mais ampla, aparece na 1ª. CP em azul, enquanto as áreas antropizadas (estradas, núcleos urbanos e canteiros de obras) aparecem em magenta (Data: 11/03/89).

A técnica consiste em calcular a intensidade, o matiz e a saturação de três bandas espectrais (Figura 59), depois processar a componente I, aplicando um realce de contraste (Figura 60) e, finalmente, fazer a reversão para o sistema RGB (Figura 61) para que possa, então, ser visualizado por um monitor de vídeo de microcomputador. Os resultados desta técnica podem ser vistos na Figura 62.

Das três técnicas de Transformações Multiespectrais avaliadas nesta pesquisa, a que apresentou resultados práticos mais significativos do ponto de vista de melhoria da extração de informações espectro-temporais foi a de NDVI, principalmente quando aplicada a técnica de razão entre bandas para detecção de mudança no padrão e cobertura vegetal no período observado. Assim, pela importância desta informação como indicador de processo de desertificação (MATALLO, 1999; ACCIOLY *et alli*, 2001; ARAÚJO *et alli*, 2002; SAMPAIO & SAMPAIO, 2002), optou-se por considerar, efetivamente, os resultados desta técnica de PDI como um dos elementos de suporte à identificação e localização de áreas degradadas na região em estudo, onde, associado a outros resultados a serem discutidos adiante, poderá validar em gabinete o conjunto de dados que, numa linguagem de

programação de álgebra espacial, permitirá mapear os processos de desertificação instalados em Xingó.

Figura 59 – Cálculo de IHS nas três bandas (5, 4 e 3) originais de 11/03/89.

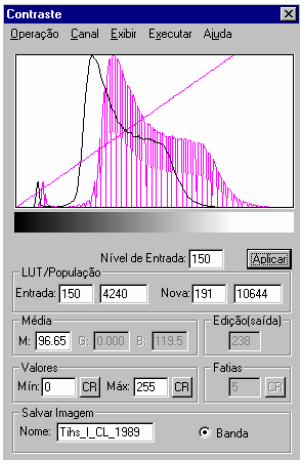


Figura 60 – Realce de contraste na componente I (intensidade) para melhorar a qualidade de brilho na imagem resultante.

Figura 61 – Reversão de IHS para RGB, utilizando a componente I realçada.

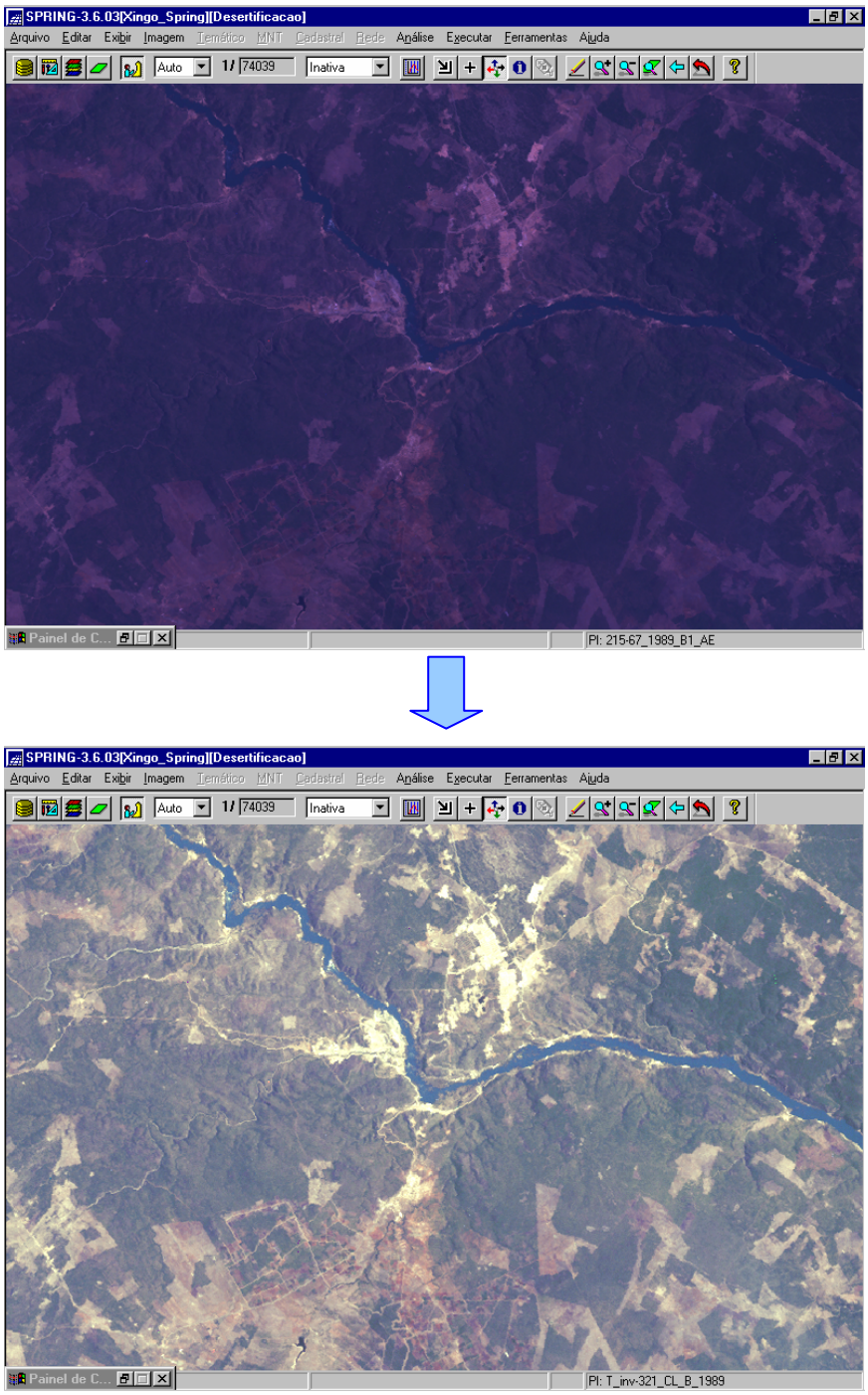


Figura 62 – Reversão de IHS para RGB: ao alto, a imagem original; acima, a mesma imagem transformada RGB → IHS;observa-se maior facilidade na distinção dos alvos da cena (Data: 11/03/89).

Para, então, compor este conjunto de dados a ser utilizado na análise espacial dos processos de desertificação em Xingó, utilizou-se a técnica de **Classificação Supervisionada** que, segundo CRÓSTA (1993), trata-se do processo de extração de informações em imagens para reconhecer padrões e objetos homogêneos. Assim, os

métodos de classificação são usados para mapear áreas da superfície terrestre que apresentam um mesmo significado em imagens digitais.

Como já abordado no Capítulo 3, cada imagem é formada por um conjunto de *pixel*, com suas coordenadas x,y e um atributo espectral L “que representa a radiância de um alvo no intervalo de comprimento de onda de uma banda espectral”. Portanto, pode-se afirmar que cada *pixel* de uma banda possui uma correspondência espacial com um outro *pixel*, em todas as outras bandas, ou seja, para uma imagem de K bandas, existem K níveis de cinza associados à cada *pixel*, sendo um para cada banda espectral (INPE, 2001). A este conjunto de características espectrais de um *pixel* denomina-se de "atributos espectrais".

Nesta pesquisa, utilizou-se o método de classificação “*pixel*-a-*pixel*” que identifica regiões homogêneas a partir da informação espectral isolada de cada *pixel*, fazendo, ainda, uso da teoria de probabilidade por métodos estatísticos. Assim, o resultado da classificação digital é apresentado por classes espectrais (áreas que possuem características espectrais semelhantes), considerando-se a relação entre a resposta espectral dos alvos de interesse na pesquisa e as classes a serem mapeadas. De fato, tem-se como resultado final de um processo de classificação uma única imagem digital composta por um mapa de *pixels* classificados, representados, neste caso, por cores.

No processo de classificação, um grande número de NC’s é transformado num pequeno número de classes temáticas. Como existem regiões na imagem em que se tem conhecimento da realidade de campo, através de pesquisas realizadas desde março de 2000 no Laboratório de Geoprocessamento INPE/Xingó, a Classificação Supervisionada pode ser empregada, tendo-se o cuidado de identificar nas imagens diversas áreas de treinamento representativas e homogêneas de cada classe de interesse na pesquisa, porém observando a inclusão de toda a variabilidade espectral dos alvos em estudo.

Foram definidas seis classes temáticas a serem mapeadas pelo método:

- Área urbana
- Corpos d’Água
- Caatinga Arbórea
- Caatinga Arbustiva
- Pasto/cultivo
- Solo exposto

Para cada classe foram identificadas doze amostras em cada uma das três datas, fazendo um subtotal de setenta e duas amostras para cada data e um total de duzentas e dezesseis amostras. Cada conjunto de doze amostras produziu uma Matriz de Erro que foi analisada isoladamente, sendo refeita algumas vezes até atingir um desempenho geral ≥ 95% (Figura 63) para cada data pesquisada. Isto garantiu a qualidade das amostras para a posterior classificação.

Embora as classificações tenham sido realizadas sobre as bandas espectrais originais, cada amostra foi avaliada visualmente sobre as diversas técnicas de PDI testadas anteriormente, objetivando-se a confirmação da homogeneidade e exatidão da amostra em relação à classe temática a qual pertencia (Figura 64). A matriz de erro de classificação apresenta a distribuição de porcentagem de *pixels* classificados correta e erroneamente; as colunas representam o total porcentual por classe.

O classificador utilizado foi o de MAXVER, pois este considera a ponderação das distâncias entre as médias dos níveis digitais das classes, utilizando parâmetros estatísticos, onde um conjunto de amostras de treinamento define o diagrama de dispersão das classes e suas distribuições de probabilidade, considerando a distribuição de probabilidade normal para cada classe do treinamento.

Ao considerar, por exemplo, duas classes com distribuição de probabilidade distinta de um *pixel* pertencer a uma classe ou a outra dependendo de sua posição em relação a esta distribuição, o *pixel* que se situar na região onde as duas classes se sobrepõem estão sujeitos à definição de limiares de aceitação do classificador – um critério de decisão do usuário. Os limites de classificação são definidos a partir de pontos de mesma probabilidade de classificação de uma e de outra classe. Na Figura 65, por exemplo, um *pixel* localizado na região sombreada, apesar de pertencer à classe 2, será classificado como classe 1, pelo limite de aceitação estabelecido. Assim, objetivando a diminuição da confusão entre as classes, ou seja, uma redução desta sobreposição entre as distribuições de probabilidades das classes, diversas aquisições de amostras significativas de alvos distintos foram adquiridas, bem como as avaliações das matrizes de classificação dessas amostras.

Esta avaliação concluiu que o conjunto de amostras foi bastante satisfatório, atingindo uma média de 96% de exatidão para a maioria das classes identificadas nas imagens. Como limiar de aceitação, adotou-se o valor de 100% para uma completa classificação de todos os *pixels* na imagem.

amostras-classi-sup-1989-NOVA.amo - Bloco de notas

Arquivo Editar Formatar Ajuda

MATRIZ DE ERROS DE CLASSIFICACAO

(colunas: dados de referencia)

	Area_Urban	Caat_Arbor	Caat_Arbus	Corpos_Agu	Pasto	Solo_Expos	Abstencao	Soma lin.
Area_Urban	681 6.71%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	9 0.09%	0 0.00%	690
Caat_Arbor	0 0.00%	1297 12.78%	51 0.50%	0 0.00%	5 0.05%	0 0.00%	0 0.00%	1353
Caat_Arbus	0 0.00%	42 0.41%	2109 20.78%	0 0.00%	43 0.42%	0 0.00%	0 0.00%	2194
Corpos_Agu	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	504 4.97%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	504
Pasto	3 0.03%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	711 7.00%	0 0.00%	0 0.00%	714
Solo_Expos	264 2.60%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	27 0.27%	4405 43.39%	0 0.00%	4696
Soma col.	948	1339	2160	504	786	4414	0	10151

	Exatidao do produtor	Exatidao do usuario
Area_Urban	71.84%	98.70%
Caat_Arbor	96.86%	95.86%
Caat_Arbus	97.64%	96.13%
Corpos_Agu	100.00%	100.00%
Pasto	90.46%	99.58%
Solo_Expos	99.80%	93.80%

Desempenho geral: 95.63 %
Confusao media : 4.37 %
Abstencao media : 0.00 %

amostras-classi-sup-1995-NOVA.amo - Bloco de notas

Arquivo Editar Formatar Ajuda

MATRIZ DE ERROS DE CLASSIFICACAO

(colunas: dados de referencia)

	Area_Urban	Caat_Arbor	Caat_Arbus	Corpos_Agu	Pasto	Solo_Expos	Abstencao	Soma lin.
Area_Urban	241 4.19%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	2 0.03%	0 0.00%	243
Caat_Arbor	0 0.00%	215 3.74%	5 0.09%	0 0.00%	3 0.05%	0 0.00%	0 0.00%	223
Caat_Arbus	0 0.00%	41 0.71%	1051 18.29%	0 0.00%	34 0.59%	0 0.00%	0 0.00%	1126
Corpos_Agu	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	1351 23.51%	4 0.07%	0 0.00%	0 0.00%	1355
Pasto	4 0.07%	30 0.52%	9 0.16%	0 0.00%	1010 17.58%	64 1.11%	0 0.00%	1117
Solo_Expos	28 0.49%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	48 0.84%	1606 27.95%	0 0.00%	1682
Soma col.	273	286	1065	1351	1099	1672	0	5746

	Exatidao do produtor	Exatidao do usuario
Area_Urban	88.28%	99.18%
Caat_Arbor	75.17%	96.41%
Caat_Arbus	98.69%	93.34%
Corpos_Agu	100.00%	99.70%
Pasto	91.90%	90.42%
Solo_Expos	96.05%	95.48%

Desempenho geral: 95.27 %
Confusao media : 4.73 %
Abstencao media : 0.00 %

amostras-classi-sup-2003-NOVA.amo - Bloco de notas

Arquivo Editar Formatar Ajuda

MATRIZ DE ERROS DE CLASSIFICACAO

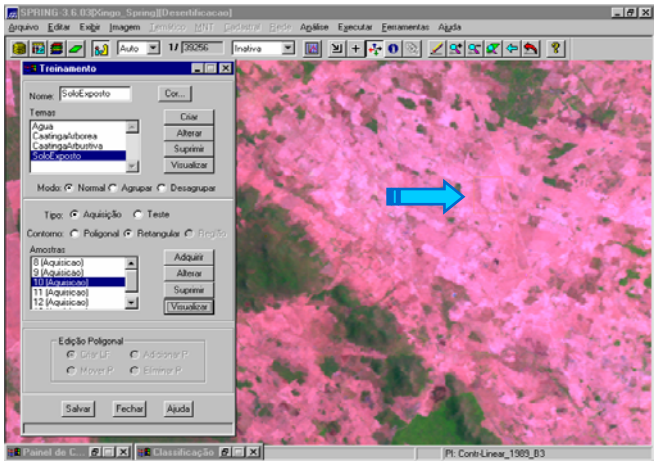
(colunas: dados de referencia)

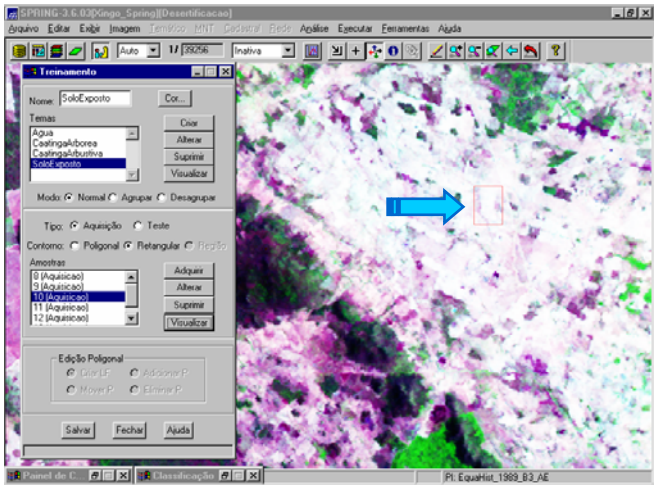
	Area_Urban	Caat_Arbo	Caat_Arbu	Corpos_Agu	Pasto	Solo_Expos	Abstencao	Soma lin.
Area_Urban	224 1.58%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	3 0.02%	0 0.00%	227
Caat_Arbo	0 0.00%	225 1.59%	2 0.01%	0 0.00%	2 0.01%	0 0.00%	0 0.00%	229
Caat_Arbu	1 0.01%	164 1.16%	6071 42.80%	0 0.00%	156 1.10%	5 0.04%	0 0.00%	6397
Corpos_Agu	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	2650 18.68%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	2650
Pasto	0 0.00%	0 0.00%	1 0.01%	0 0.00%	787 5.55%	2 0.01%	0 0.00%	790
Solo_Expos	51 0.36%	0 0.00%	0 0.00%	0 0.00%	11 0.08%	3828 26.99%	0 0.00%	3890
Soma col.	276	389	6074	2650	956	3838	0	14183

	Exatidao do produtor	Exatidao do usuario
Area_Urban	81.16%	98.68%
Caat_Arbo	57.84%	98.25%
Caat_Arbu	99.95%	94.90%
Corpos_Agu	100.00%	100.00%
Pasto	82.32%	99.62%
Solo_Expos	99.74%	98.41%

Desempenho geral: 97.19 %
Confusao media : 2.81 %
Abstencao media : 0.00 %

Figura 63 – Análise da Matriz de Erros da Classificação: ao alto, as amostras da imagem de 1989; ao centro, 1995; acima, 2003.





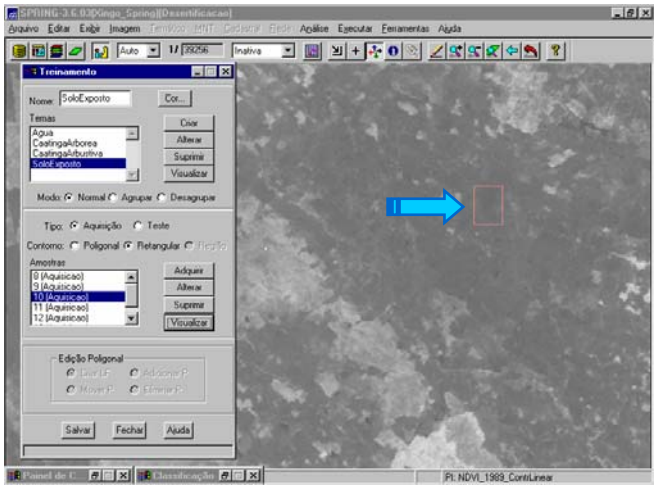


Figura 64 – Avaliação visual das amostras de treinamento para a classificação supervisionada, considerando-se os diversos PDI's anteriormente realizados (Data: 11/03/89): ao alto, análise de uma amostra da classe "Solo Exposto" sobre uma composição colorida RGB 543; ao centro, a mesma amostra sobre uma Equalização de Histograma; acima, a mesma amostra sobre o NDVI com Contraste Linear aplicado.

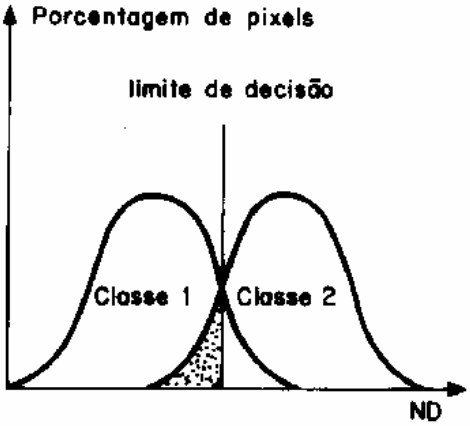


Figura 65 – Limiar de decisão entre duas classes supervisionadas.

Fonte: INPE, 2001.

Assim, foram realizadas as classificações supervisionadas nas três datas de imagem da pesquisa: 1989, 1995 e 2003, obtendo-se o mapeamento temático temporal da área de estudo, conforme ilustram as Figuras 66, 67 e 68, respectivamente.

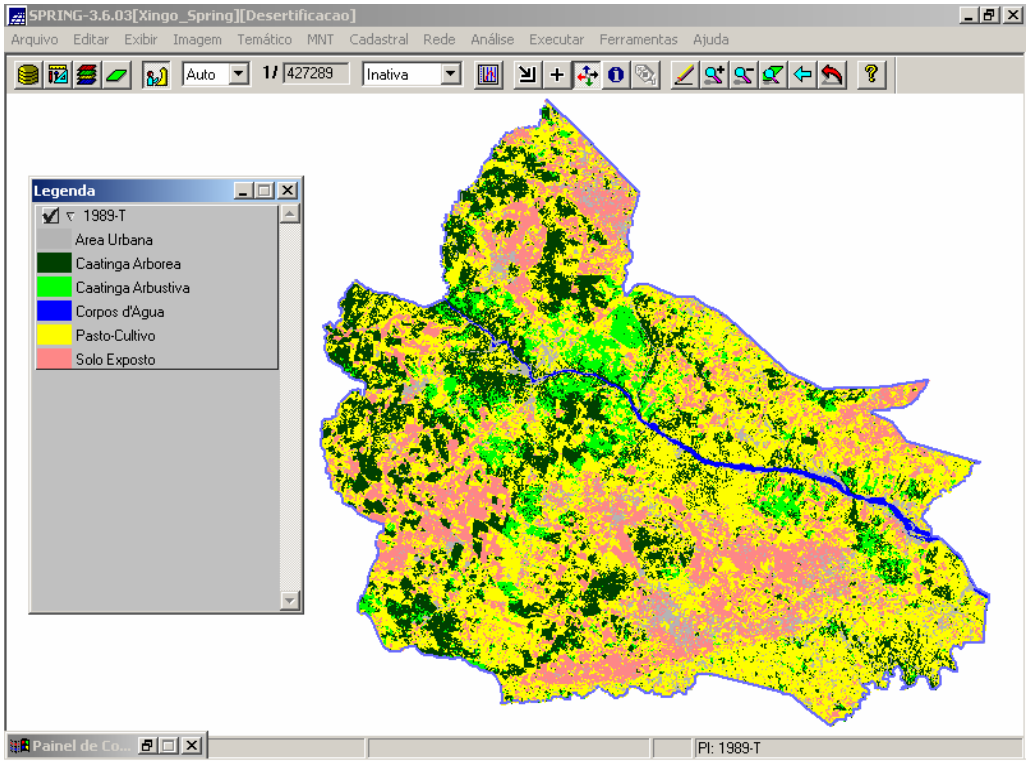


Figura 66 – Mapeamento temático obtido a partir de Classificação Supervisionada na imagem de 11/03/89, identificando as classes de interesse.

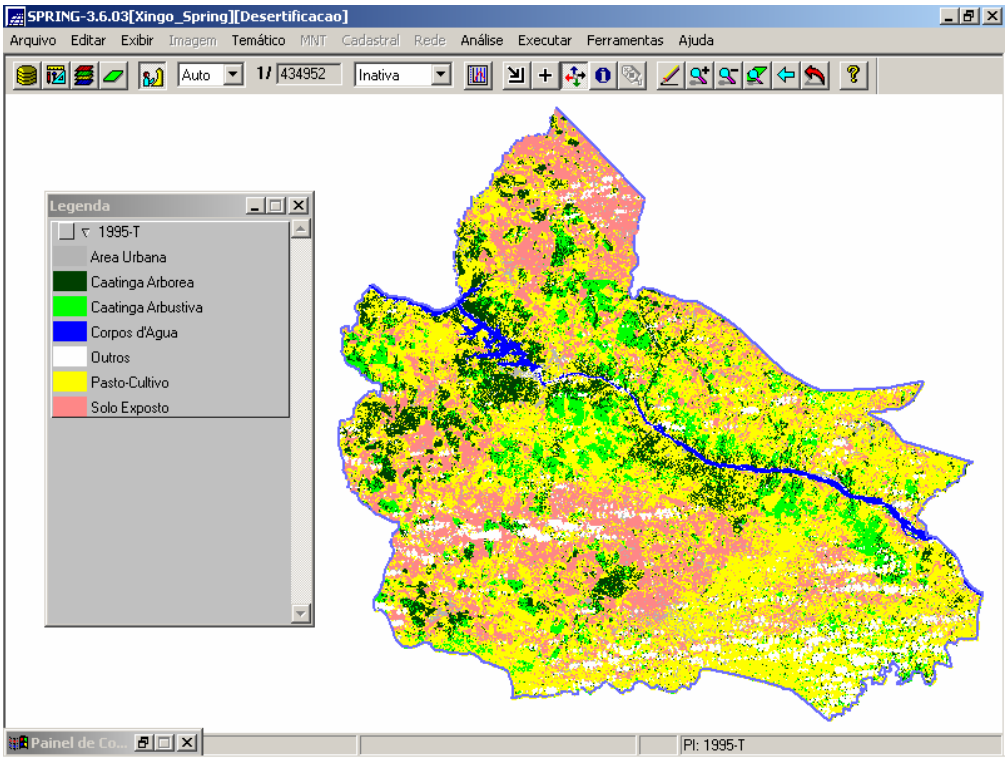


Figura 67 – Mapeamento temático obtido a partir de Classificação Supervisionada na imagem de 06/10/95, onde se observa uma discreta presença de nuvens na área.

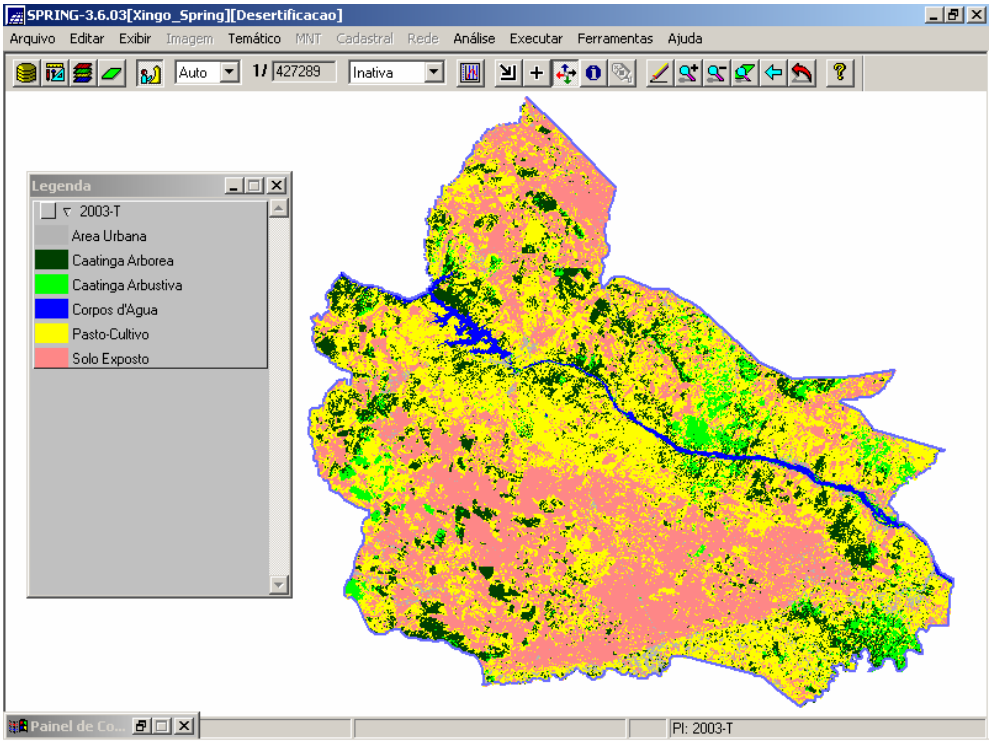
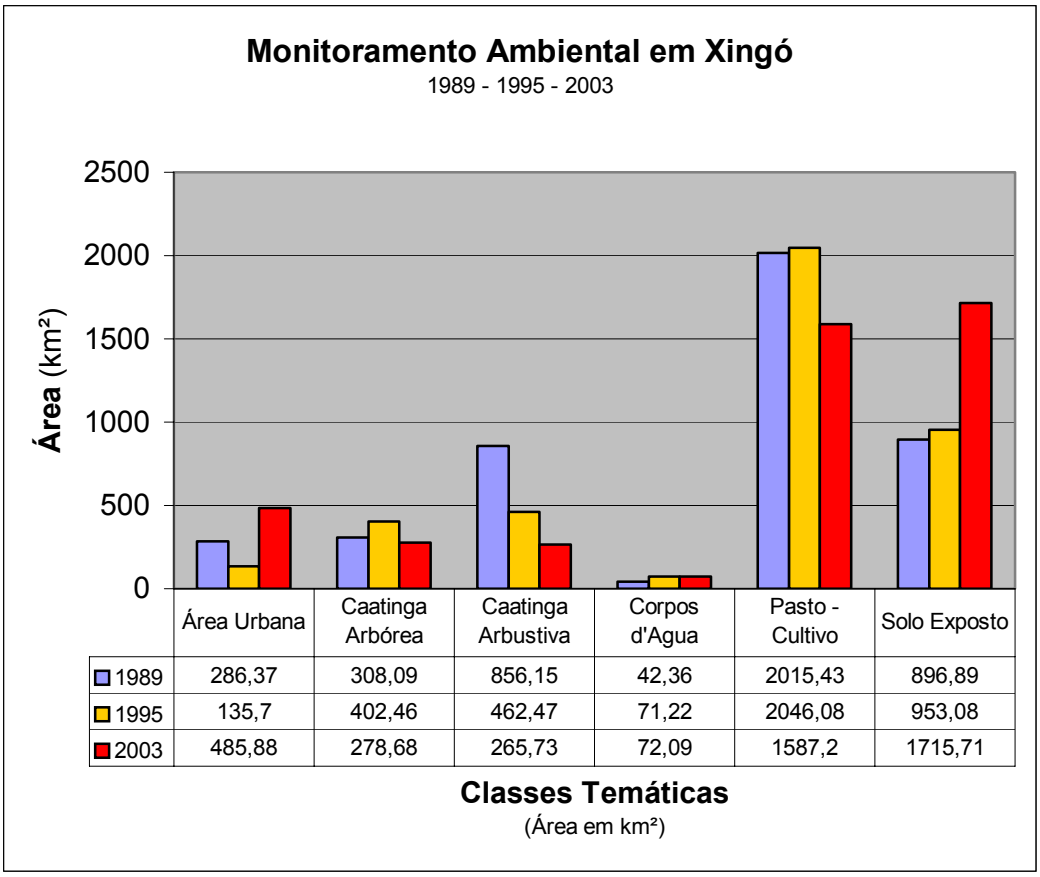


Figura 68 – Mapeamento temático obtido a partir de Classificação Supervisionada na imagem de 05/01/03.

As classes foram quantificadas em termos de área e processadas através de planilha eletrônica (Figura 69), obtendo-se os gráficos apresentados nas Figuras 70, 71 e 72. Ao analisar os gráficos, destaca-se o avanço de solo exposto nas classes de caatinga – um notável indicador de desertificação na área de estudo.



	Área Urbana	Caatinga Arbórea	Caatinga Arbustiva	Corpos d'Agua	Pasto - Cultivo	Solo Exposto
1989	286,37	308,09	856,15	42,36	2015,43	896,89
1995	135,7	402,46	462,47	71,22	2046,08	953,08
2003	485,88	278,68	265,73	72,09	1587,2	1715,71

Figura 69 – Quantificação das classes temáticas em 1989, 1995 e 2003.

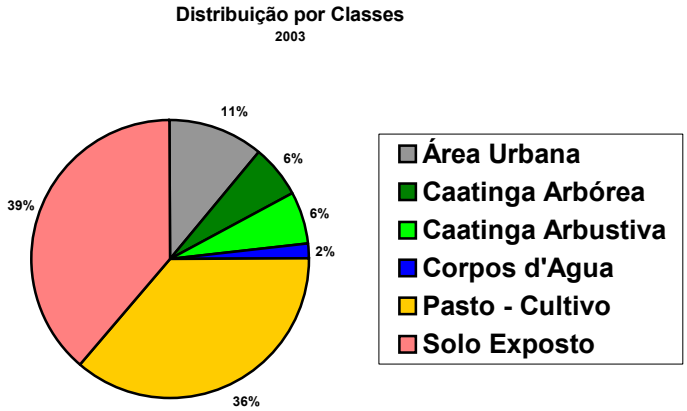


Figura 70– Contribuição das Classes Temáticas em 2003 na área de estudo.

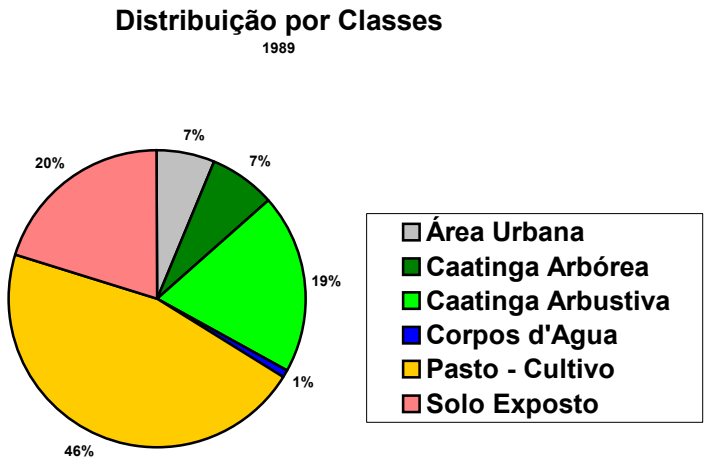


Figura 71 – Contribuição das Classes Temáticas em 1989 na área de estudo.

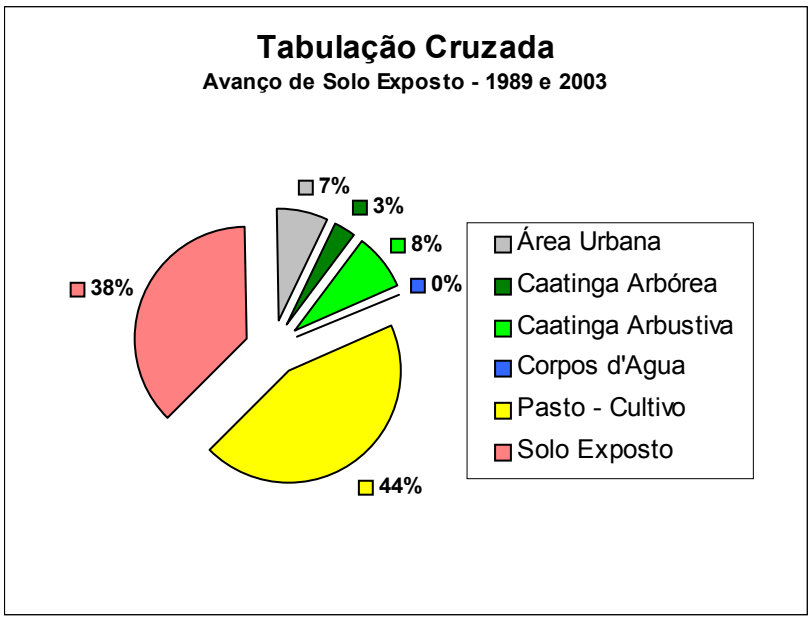


Figura 72 – Cruzamento de dados 1989 – 2003: este gráfico mostra o porcentual conquistado pelo solo exposto em 2003 em relação às classes de 1989.

Para compreender com maior precisão e acurácia a localização espacial dos processos de desertificação, foi elaborada uma Análise Espacial, a partir do desenvolvimento de um aplicativo em LEGAL, implementado no *Spring*.

A estrutura de uma programação em LEGAL exige as seguintes etapas:

- Declarações de variáveis (no caso, as imagens classificadas e a imagem-síntese a ser gerada);
- Instanciações[11] de variáveis (basicamente, quem são estas variáveis no sistema e seus parâmetros operacionais);
- Operações de álgebra de mapas (quais são as operações espaciais a serem efetuadas com as variáveis anteriormente declaradas);
- Comandos de controle.

A Figura 73 ilustra um fluxograma da programação desenvolvida em LEGAL: os dados de entrada, o processamento em LEGAL e a saída gráfica da Análise Espacial.

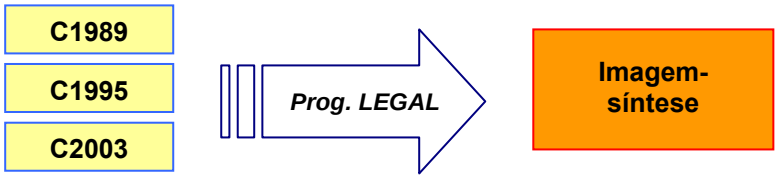


Figura 73 – Diagrama da Análise Espacial para o período 1989 – 1995 – 2003: dados de entrada com as imagens classificadas, a programação em LEGAL e a saída gráfica como uma imagem-síntese da Análise Espacial.

Tem-se como objetivo avaliar o comportamento espacial dos alvos ao longo do período observado, especialmente com relação aos indicadores de desertificação, neste caso, a diminuição da cobertura vegetal de caatinga e o avanço de solo exposto. De fato, para efeito desta análise-síntese da grave situação ambiental em Xingó, considerou para a programação em LEGAL que:

- Áreas que sempre permaneceram como “Solo exposto” nas três datas são consideradas áreas “Em processo de desertificação” (na legenda, “Desertificada”), e aparecem na cor vermelha na imagem-síntese;
- São consideradas “Áreas degradadas” (na legenda, “Degradada”), aparecendo na cor magenta, idem:
    - Áreas que eram cobertas por vegetação de caatinga em 1989 e/ou 1995 e em 2003 tornou-se “Solo exposto”;

[11] *Identificação dos dados no sistema em relação às variáveis antes declaradas.*

- Áreas que em 1989 e/ou 1995 eram cobertas por ”Caatinga arbórea” e em 2003 tornou-se “Caatinga Arbustiva”, pois isto indica perda de biomassa, certamente por atividades ilegais de extração de madeira;
- Áreas que em 1989 e/ou 1995 eram urbanas, pasto ou cultivo e em 2003 transformaram-se em “Solo Exposto”;

- Houve algumas poucas recuperações de caatinga no período, sendo todas essas áreas enquadradas na respectiva classificação identificada em 2003;
- Algumas áreas permaneceram com as mesmas classes no período em estudo, sem alterações em seu padrão de cobertura.

O algoritmo desenvolvido, chamado “Degradacao”, está publicado no Quadro 13, o resultado em termos espaciais pode ser visto na Figura 74 e um gráfico mostra a contribuição de cada classe desta análise espacial na Figura 75.

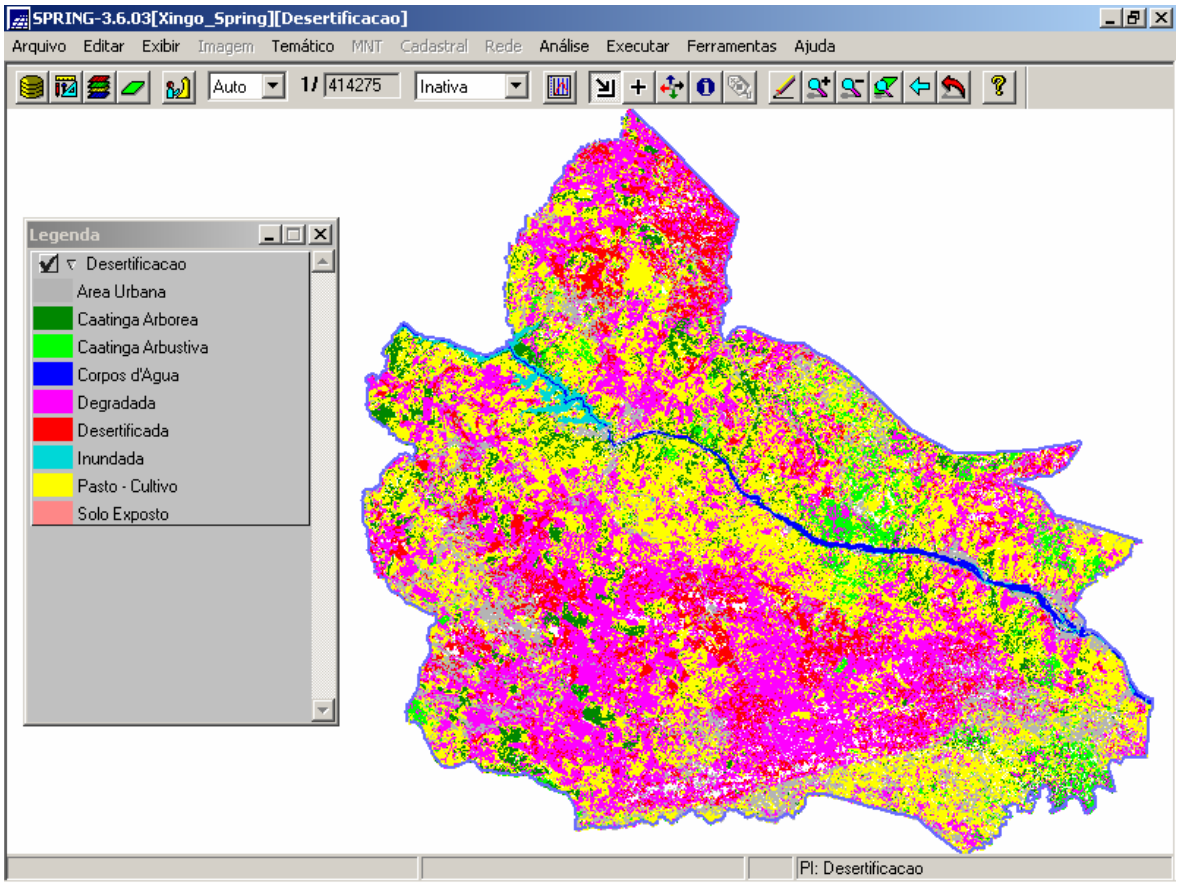


Figura 74 – Imagem-síntese gerada em LEGAL, a partir dos dados das imagens classificadas de 1989, 1995 e 2003: observa-se a expressiva degradação ambiental ocorrida no período (na cor magenta), a redução significativa da caatinga em decorrência do aumento das pastagens e áreas agrícolas e da ocorrência de processos de desertificação (na cor vermelha), principalmente na margem direita do rio São Francisco (SE).

Quadro 13 – Algoritmo “Degradação”, desenvolvido em LEGAL, objetivando uma Análise Espacial sobre áreas degradadas em Xingó, no período 1989 – 1995 – 2003; executado no *Spring,* sendo necessários 01h48min12s para o processamento dos dados.

```
{
// Programa em LEGAL para
// detectar areas desertificadas e degradadas
// em Xingo
// Autor: Neison Cabral Ferreira Freire
// UFPE - DECart - Pos-Grad em C. Geodesicas e Tec. da Geoinformação
// Data: 14-julho-2003, Revisado e Ampliado em 30-nov-2003

// Faz o cruzamento entre PI's tematicos
// Classif Sup 1989, 1995 e 2003
// identificando avanco de areas degradadas e desertificadas

Tematico T1989, T1995, T2003 ("Classificacoes");
Tematico Degrada ("Analises");
T1989 = Recupere (Nome = "1989-T");
T1995 = Recupere (Nome = "1995-T");
T2003 = Recupere (Nome = "2003-T");
Degrada = Novo (Nome = "Desertificacao", ResX=30, ResY=30, Escala=100000);
Degrada = Atribua (CategoriaFim="Analises")
{
"Desertificada": (T1989.Classe == "Solo Exposto" && T1995.Classe == "Solo Exposto" && T2003.Classe == "Solo Exposto" &&
T2003.Classe == "Solo Exposto"),

"Degradada":( (T1989.Classe == "Caatinga Arbustiva" && T2003.Classe == "Solo Exposto")||(T1989.Classe == "Caatinga Arborea" &&
T2003.Classe == "Solo Exposto")
||(T1989.Classe == "Caatinga Arborea" && T2003.Classe == "Caatinga Arbustiva")
||(T1989.Classe == "Pasto-Cultivo" && T2003.Classe == "Solo Exposto")
||(T1989.Classe == "Corpos d'Agua" && T2003.Classe == "Solo Exposto")
||(T1989.Classe == "Area Urbana" && T2003.Classe == "Solo Exposto")
),

"Corpos d'Agua": ((T1989.Classe == "Corpos d'Agua" && T2003.Classe == "Corpos d'Agua")),

"Inundada":((T1989.Classe == "Caatinga Arbustiva" && T2003.Classe == "Corpos d'Agua")
||(T1989.Classe == "Caatinga Arborea" && T2003.Classe == "Corpos d'Agua")
||(T1989.Classe == "Solo Exposto" && T2003.Classe == "Corpos d'Agua")
||(T1989.Classe == "Area Urbana" && T2003.Classe == "Corpos d'Agua")
||(T1989.Classe == "Pasto-Cultivo" && T2003.Classe == "Corpos d'Agua")),

"Caatinga Arbustiva": ((T1989.Classe == "Caatinga Arbustiva" && T2003.Classe == "Caatinga Arbustiva")||(T1989.Classe == "Solo
Exposto" && T2003.Classe == "Caatinga Arbustiva")
||(T1989.Classe == "Pasto-Cultivo" && T2003.Classe == "Caatinga Arbustiva")
),

"Caatinga Arborea": ((T1989.Classe == "Caatinga Arborea" && T2003.Classe == "Caatinga Arborea")
||(T1989.Classe == "Caatinga Arbustiva" && T2003.Classe == "Caatinga Arborea")
||(T1989.Classe == "Solo Exposto" && T2003.Classe == "Caatinga Arborea")
||(T1989.Classe == "Area Urbana" && T2003.Classe == "Caatinga Arborea")
),

"Area Urbana": ((T1989.Classe == "Area Urbana" && T2003.Classe == "Area Urbana")
||(T1989.Classe == "Pasto-Cultivo" && T2003.Classe == "Area Urbana")
||(T1989.Classe == "Caatinga Arborea" && T2003.Classe == "Area Urbana")
||(T1989.Classe == "Caatinga Arbustiva" && T2003.Classe == "Area Urbana")
||(T1989.Classe == "Solo Exposto" && T2003.Classe == "Area Urbana")
||(T1989.Classe == "Corpos d'Agua" && T2003.Classe == "Area Urbana")),

"Pasto - Cultivo": ((T1989.Classe == "Pasto-Cultivo" && T2003.Classe == "Pasto-Cultivo")
||(T1989.Classe == "Caatinga Arborea" && T2003.Classe == "Pasto-Cultivo")
||(T1989.Classe == "Caatinga Arbustiva" && T2003.Classe == "Pasto-Cultivo")
||(T1989.Classe == "Solo Exposto" && T2003.Classe == "Pasto-Cultivo")
||(T1989.Classe == "Corpos d'Agua" && T2003.Classe == "Pasto-Cultivo"))

};
}
```

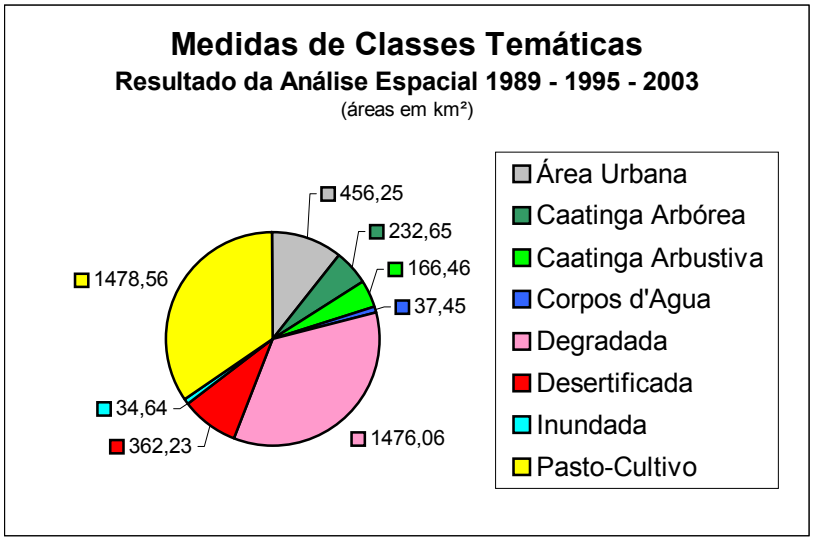


Figura 75 – Gráfico os porcentuais das classes temáticas, obtidos através da Análise Espacial em LEGAL com o cruzamento de dados das imagens classificadas de 1989, 1995 e 2003.

5.3.4 Mapeamento Temático

Para complementar a análise, foi desenvolvido um **SIG** a partir dos dados da malha de setores censitários rurais (IBGE, 2003), associados aos dados dos Censos de 1991 e 2001. Objetivou-se, assim, associar mais um importante indicador de desertificação ao processo de análise, neste caso, os dados demográficos, especificamente a Densidade Populacional por Setor censitário Rural (VASCONCELOS SOBRINHO, 1978; MATALLO, 1999; SAMPAIO & SAMPAIO, 2002).

Os dados descritivos dos censos foram modelados num banco de dados *MS-Acess*, onde cada setor censitário foi associado, como chave-primária espacial, ao seu respectivo polígono na base cartográfica digital importada do *AutoCAD Map*.

Esta base, além de uma geometria de polígonos fechados, continha um código específico para cada setor censitário, na forma de texto e inserido dentro do seu respectivo polígono. A este identificador chama-se de centróide topológico que, além de conter os vínculos aos respectivos registros no banco de dados, também contém os vínculos às tabelas topológicas do sistema *Spring*. Uma topologia de polígono foi criada no *AutoCAD Map* para a obtenção das áreas dos setores censitários rurais. Uma consulta (*query*) foi, então, realizada para obter-se uma tabela que relacionasse o código do setor censitário com sua respectiva área topológica, no formato *.TXT. Depois, este arquivo digital foi importado

no banco de dados MS-Access e uma nova consulta foi feita, cruzando-se os dados de SETOR, ÁREA, POPULAÇÃO e DENSIDADE POPULACIONAL (Anexo 4).

Uma vez realizada a ligação dos centróides aos seus respectivos registros no banco de dados, realizou-se um mapeamento temático sobre População Total nestes setores, analisando o comportamento demográfico em relação ao Censo 2000. Utilizando-se dos conceitos de Estatística Espacial, objetivou-se caracterizar a densidade demográfica, procurando descrever a variação espacial da população na área de estudo.

Segundo CÂMARA (2000), "a distribuição de eventos cuja localização está associada a áreas (delimitadas por polígonos) não dispõe de sua localização exata, mas sim de um valor agregado por área". Assim, o objetivo da análise será determinar a existência de um padrão espacial nos valores observados.

A primeira análise foi realizada agregando os dados por quantis, divididos em três classes, de tal forma que cada classe tenha aproximadamente o mesmo número de valores (Figura 76).

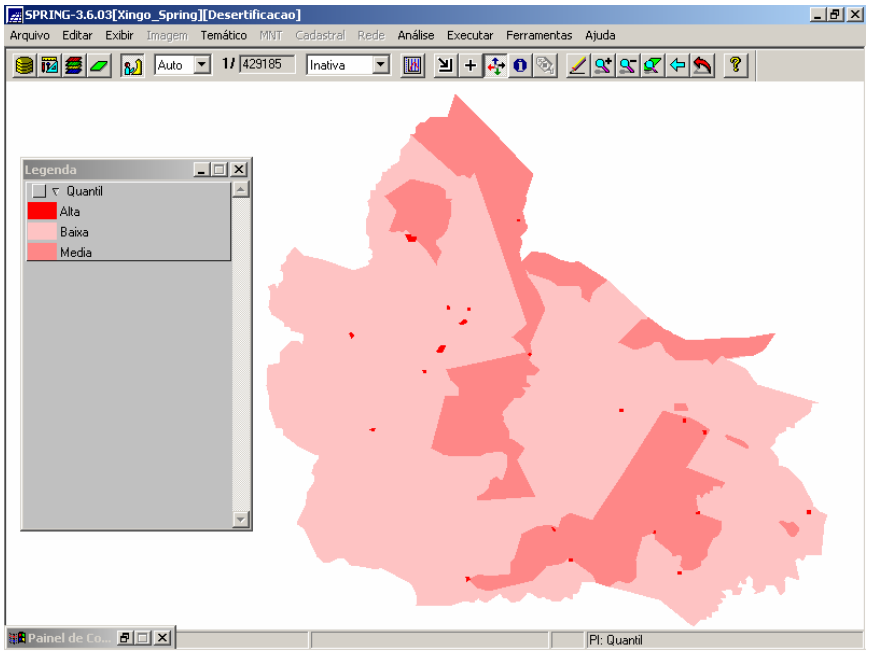


Figura 76 – Mapa Temático: Densidade Demográfica em 2000, por quantis e desvio-padrão = 1.

Entretanto, uma forma simples e útil de explorar a variação espacial dos dados é calcular a média dos valores dos vizinhos, produzindo uma primeira aproximação da

variabilidade espacial, “pois a operação tende a produzir uma superfície menos descontínua que os dados originais” (FONSECA, 2000), sendo os setores censitários rurais influenciados pelo valor de seus vizinhos.

Assim, utilizou-se o método da IMOV, que é uma técnica que explora o valor médio μ_i do atributo na região de estudo, fornecendo uma visão das grandes tendências do fenômeno em estudo, neste caso, uma forte densidade populacional em algumas regiões periféricas ao lago da UHE Xingó, caracterizando núcleos de pressão demográfica circundando a UHE Xingó (Figura 77).

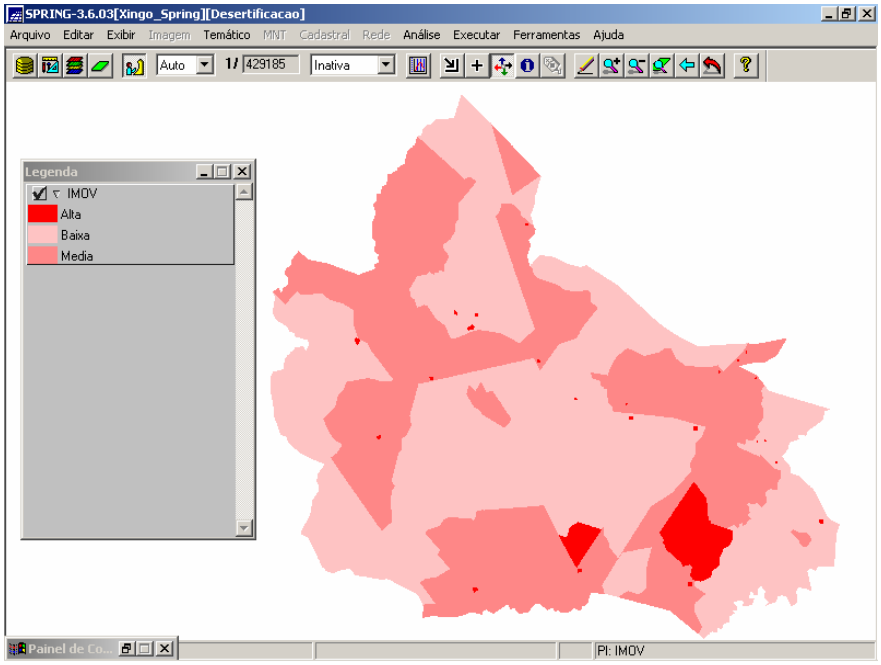


Figura 77 – Mapa Temático: Densidade Demográfica em 2000, pelo método de Média Móvel, na área de estudo.

Concluindo o processamento dos dados e objetivando inferir um indicador social no estudo sobre as áreas desertificadas em Xingó, conforme analisado no Capítulo 2, este mapa temático de densidade populacional por média móvel foi, então, cruzado com o mapa temático da imagem-síntese produzido sobre as classificações supervisionadas das imagens de 1989, 1995 e 2003. Para fazer esta Análise Espacial, que é a síntese deste estudo ao identificar **áreas de risco à desertificação** (Anexo 1), um novo algoritmo em LEGAL foi desenvolvido para este cruzamento de dados (Quadro 14), considerando-se que:

- Áreas onde na imagem-síntese das classificações estão identificadas como "Em processo de desertificação" (ou "Desertificadas") e no mapa temático de População indica "Alto Crescimento" demográfico no período, ou áreas onde na imagem-síntese das classificações estão identificadas como "Em processo de desertificação" e no mapa temático de População indica "Médio Crescimento" demográfico no período, ou eram áreas "Degradadas" e com densidade populacional média, foram consideradas áreas de risco "**Muito Grave**" do ponto de vista da desertificação, e foram assinaladas na cor vermelha;
- Áreas onde na imagem-síntese das classificações estão identificadas como "Degradadas" e no mapa temático de População indica médio crescimento demográfico no período, foram consideradas áreas de risco "**Grave**" do ponto de vista da desertificação, e foram assinaladas na cor amarela;
- Áreas onde na imagem-síntese das classificações estão identificadas como "Degradadas" e no mapa temático de População indica baixo crescimento demográfico no período, foram consideradas áreas "**Especiais**", sujeitas à atenção e foram assinaladas na cor cinza claro;
- Outras áreas com situação estável ou em recuperação, foram assinaladas na cor branca.

5.4 Resultados Obtidos

Muitos foram os resultados ao longo da experimentação laboratorial desta pesquisa. A quantidade de informações processadas atingiram um espaço em disco rígido de 9,3 Gb e estão agora disponíveis para a pesquisa científica sobre o tema.

Enfim, após o processamento dos dados, constatou-se, no período 1989 - 2003:

- Aumento de 91,3% de solo exposto;
- Diminuição de áreas agropastoris de 21,2%;
- Diminuição de caatinga arbórea de 9,7%;
- Diminuição de caatinga arbustiva de 68,7%;
- Aumento de áreas urbanas ou antropizadas de 70%.

Observa-se uma forte correlação entre os dados de solo exposto e áreas agropastoris no período estudado. Conforme evidencia a Figura 78, ao aumento de solo exposto, corresponde uma diminuição das áreas agrícolas ou de pastagem. Por outro lado, à diminuição da cobertura vegetal natural da caatinga, observa-se, também, o aumento das áreas de solo exposto na Região de Xingó. De fato, não há uma correlação entre o desmatamento e aumento das áreas agropastoris.

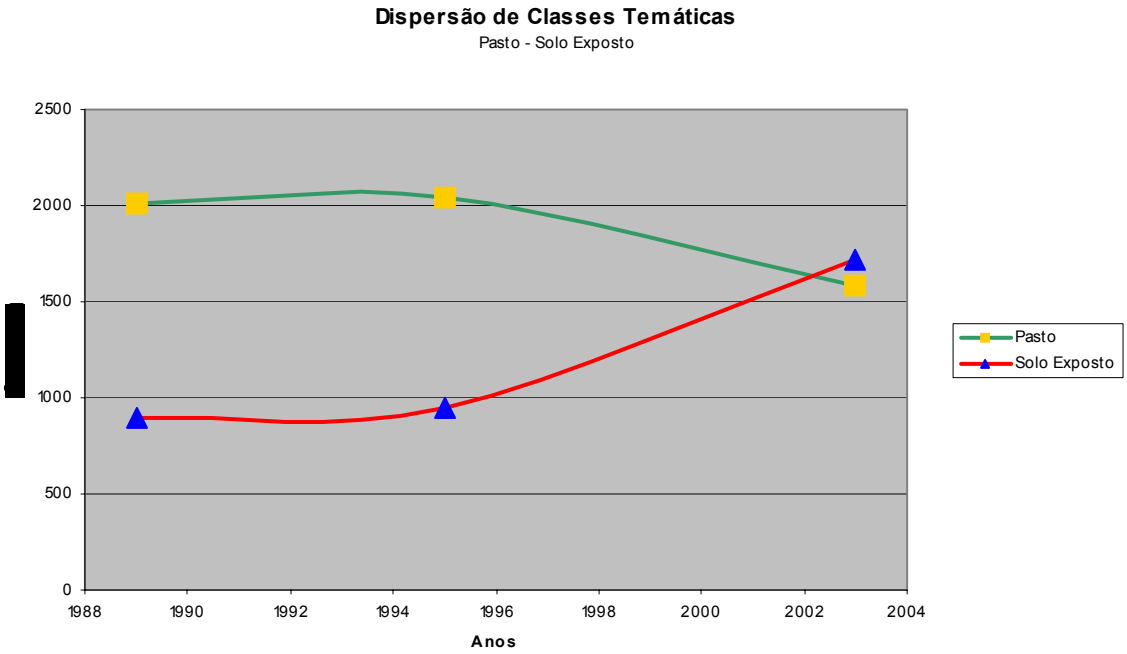


Figura 78 – Gráfico de Dispersão dos Dados: Solo Exposto *versus* Pasto/Agricultura.

Das classes naturais, a caatinga arbustiva foi a que regrediu em termos de área. Isso se explica, principalmente, pelo seu porte lenhoso e conseqüente disponibilidade energética para as populações rurais, além da necessidade de novas áreas agrícolas em substituição àquelas já exauridas por técnicas de cultivo inadequadas ao semi-árido ou mesmo pela expansão das fronteiras de pastagens extensivas.

Entretanto, os resultados obtidos na classe de caatinga arbustiva indicam uma possível sobreposição com a classe de pasto-cultivo, devido às semelhantes respostas espectrais dos alvos observados, ou seja, em ambas as classes têm-se uma vegetação caracterizada por arbustos e estrato herbáceo, com porte médio de 2 m e diâmetro a altura do peito não ultrapassando a 10 cm. Algumas árvores jovens alcançam até 3 m de altura como *Cnidosculus quercifolius* Pohl. e *Aspidosperma pyrifolium* associadas aos cactos

Pilosocereus gounellei (Weber) Byles & Rowley*, P. piauhyensis* (Gürke) Byles & Rowley. Os arbustos predominantes da área são: *Caesalpinia pyramidalis, Jatropha mollissima* (Pohl) Baill.*, Melochia tomentosa, Sida galheirensis e Croton rhamnifolius,* entremeados com cactos das espécies *Opuntia palmadora* K. Schum. *e O. inamoema* Britton & Rose*.* Por outro lado, nas áreas de pastagens, observa-se uma vegetação herbácea e alguns arbustos intercalados que florescem no período chuvoso. As ervas predominantes nos meses chuvosos (de maio a agosto/2002) foram *Centratherum punctatum, Heliotropium angiospermum* Murray*, Chamaecrista repens* (Vogel) Irwin & Barneby*, Evolvulus sp., Crolataria holosericea* Nees & Mart., *Sida ciliaris* L.*, Richardia grandiflora* (Cham. & Schltdl.) e *Boerhavia coccinea* Mill. Alguns arbustos que floriram neste período foram *Indigofera suffruticosa, Stylosanthes viscosa, Melochia tomentosa e Sida galheirensis.* As espécies arbóreas encontradas no local foram indivíduos de *Tabebuia aurea, *Spondias tuberosa, Prosopis juliflora* (SW.) DC. *e *Zyziphus joazeiro* (FREIRE *et alli*, 2003)*.*

Na área, pratica-se a pecuária extensiva de gado bovino, caprino e ovino. Também se pode constatar o corte contínuo e a queima das leiras (galho e folhas da vegetação ruderal), para o preparo do solo e plantio de feijão e milho, no período chuvoso.

Então, conclui-se que para um melhor discernimento entre estas classes um novo sensor com maior resolução espectral precisaria ser avaliado, situação esta não foi considerada no âmbito deste estudo.

A verdade terrestre foi avaliada a partir de seis expedições ao campo, onde 52 pontos pré-determinados em gabinete foram atingidos com o uso de receptor GPS, no processo de validação da pesquisa.

As áreas urbanas tiveram uma expressão territorial em 1989, devido principalmente às obras de construção da UHE Xingó. A diminuição verificada em 1995 deve-se à conclusão destas obras e depressão econômica diretamente relacionada. A recuperação das áreas urbanas torna-se evidente na classificação de 2003, com um aumento excepcional de 258% em relação ao ano de 1995. Entretanto, convém observar que a classe como um todo não representa mais que 11% da área total de estudo, evidenciando, mais uma vez, o caráter eminentemente rural desses municípios.

O Anexo 1 ilustra o Mapa-Síntese desta pesquisa, baseado em todo o embasamento teórico sobre os temas de Desertificação, Sensoriamento Remoto e SIG aplicados ao

Monitoramento Ambiental utilizados nesta pesquisa, além da experimentação laboratorial. Este mapa sintetiza e registra as **áreas de risco à desertificação** na área de estudo.

Os métodos, técnicas, dados e processamentos apresentaram os melhores resultados possíveis e serão analisados no Capítulo 6, que trata das Conclusões e Recomendações.

Quadro 14 – Algoritmo “Desertificacao”, desenvolvido em LEGAL.

```
{
// Programa em LEGAL para
// detectar areas desertificadas e degradadas
// em Xingo com base em dados do Censo 2000
// Autor: Neison Cabral Ferreira Freire
// UFPE - DECart - Pos-Grad em C. Geodesicas e Tec. da Geoinformação
// Data: 31-nov-2003

// Faz o cruzamento entre PI's tematicos
// Desertificacao e IMOV

Tematico Degra ("Analises");
Tematico Deserto ("Desertificacao");
Tematico Pop ("Pop_2000");
Degra = Recupere (Nome = "Desertificacao");
Pop = Recupere (Nome = "IMOV");
Deserto = Novo (Nome = "AnaliseFinal", ResX=30, ResY=30, Escala=100000);
Deserto = Atribua (CategoriaFim="Desertificacao")
{
"Gravissimo": (Degra.Classe == "Desertificada" && Pop.Classe == "Alta"),

"Muito Grave": (Degra.Classe == "Degradada" && Pop.Classe == "Alta")
||(Degra.Classe == "Desertificada" && Pop.Classe == "Media"),

"Grave": (Degra.Classe == "Degradada" && Pop.Classe == "Media")
||(Degra.Classe == "Desertificada" && Pop.Classe == "Baixa"),

"Especial": (Degra.Classe == "Degradada" && Pop.Classe == "Baixa")


};
}
```

5.5 Validação em Campo

Para comprovar os resultados obtidos em gabinete, foram empreendidas diversas expedições ao campo, por toda a área de estudo. Muitas de dificílimo acesso, estas expedições foram muito importantes para validar os resultados, confirmando os resultados atingidos nesta pesquisa.

Utilizando-se um receptor GPS, tipo navegação, uma câmara fotográfica digital e plotagens dos mapas temáticos produzidos ao longo da pesquisa, verificaram-se a exatidão das classificações supervisionadas e dos processos de desertificação instalados, além das

áreas degradadas na Região de Xingó. No total, 52 pontos amostrais previamente estabelecidos em gabinete foram registrados em campo. Este registro fotográfico está disponível no Anexo 3, bem como o mapa de pontos identificados e fotografados no campo.

Um resumo das áreas de risco quanto à desertificação está ilustrado no gráfico da Figura 79.

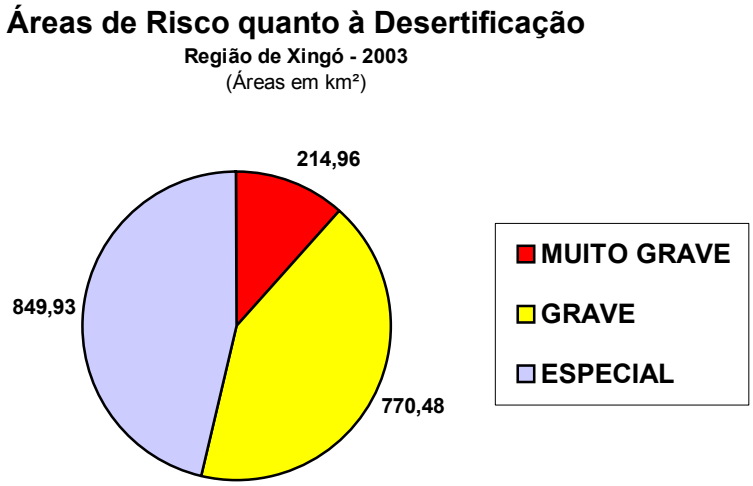


Figura 79 – Gráfico das Classes Temáticas da Carta-Síntese da Desertificação em Xingó.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1 Energia e pobreza: a dualidade intrínseca de Xingó – uma discussão

A UHE Xingó gera cerca de ⅓ da energia elétrica consumida na Região Nordeste do Brasil. Entretanto, ao gerar energia a partir deste notável recurso natural que é o rio São Francisco, alimentando o desenvolvimento dos longínquos centros urbanos das capitais, de fato, nada, ou quase nada, foi acrescentado em termos de melhoria nas condições de vida para as populações que habitam a região, ou mesmo para o meio ambiente. Ao contrário, fica evidente, neste estudo, um grave quadro de degradação ambiental na região, motivado pelas mais diversas causas, intimamente relacionadas.

Algo está errado neste modelo. Não faz sentido que a exploração deste poderoso capital natural não tenha revertido em nenhum benefício realmente significativo para estas populações, a não ser um crescente e avassalador quadro de degradação ambiental e, o que é pior, especialmente nas circunvizinhanças da represa.

Teoricamente, a partir da construção e funcionamento da UHE Xingó em 1996, estes municípios deveriam ser os maiores beneficiários desta mega construção – orgulho da engenharia nacional ao aproveitar o cânion natural do Rio São Francisco – e, com suas próprias rochas, represar as já escassas águas do São Francisco a um custo financeiro relativamente baixo para este tipo de empreendimento. Neste aspecto, cabe notar que a própria criação do lago já representou um grande impacto ambiental devido as áreas de vegetação e fauna inundadas. Mas foram as ações antrópicas, ao longo dos últimos 13 anos, que trouxeram para a região este quadro desolador aqui apresentado.

Portanto, o que se questiona é: quais são as vantagens significativas da geração de energia elétrica para a região? Os indicadores de desenvolvimento humano continuam os mais baixos do país, os núcleos urbanos não registram um crescimento ordenado, mas sim a instalação de bolsões de pobreza e de exclusão social alimentados pela histórica estrutura latifundiária própria da região, combinado com o quadro generalizado de degradação ambiental e o conseqüente declínio da atividade econômica. Os repasses de *royalties* da CHESF restringem-se a Piranhas/AL com 20% e Canindé do São Francisco/SE com 80%, sob valores legais muito abaixo das reais necessidades destes municípios. Mesmo as ações localizadas e verticais do Instituto Xingó não trouxeram nenhum avanço significativo para estas populações, embora caiba registrar o espírito de

luta, a seriedade com o trato social junto às comunidades carentes e o esforço coletivo de todos os que fazem o IX.

Este estudo documentou e comprovou cientificamente que o quadro é adverso sob os mais diversos aspectos: ambiental, social e econômico. De fato, os municípios em estudo precisam cada vez mais de repasses financeiros dos Estados e da União para suprir suas demandas sociais emergenciais, num ciclo vicioso de dependência econômica e política, onde as secas agravam a situação, mas não representam, por si só, a causa eloqüente do grave quadro ambiental aqui registrado.

De fato, tristemente se concluiu que a energia que gera riqueza para o Nordeste não traz desenvolvimento sustentável para as comunidades carentes mais próximas à UHE Xingó, mas sim um quadro geral de consumo devastador dos limitados recursos naturais da caatinga, em ritmo de destruição perigosamente exponencial. Certamente um limite de carga no ecossistema da região está muito próximo de ocorrer.

6.2 1989 – 2003: o recrudescimento dos indicadores ambientais nas áreas desertificadas

Numa visão geral, o estudo concluiu que no período observado, 1989 a 2003, a Região de Xingó sofreu uma contínua, sistemática e devastadora degradação ambiental. De fato, sob todos os aspectos, o ecossistema Caatinga foi bastante atingido pelo desmatamento, especialmente onde apresentava espécies comercialmente mais rentáveis, ora para compor a matriz energética das populações sertanejas, ora para a construção civil ou para a conquista de novas áreas de pastagem extensiva.

Esta demanda antrópica pelos recursos naturais num meio ambiente de frágil equilíbrio entre seus múltiplos agentes e ao mesmo tempo de lenta recuperação, propiciou o surgimento de extensas áreas degradadas, diminuição de áreas agrícolas e de pastagens e o conseqüente recrudescimento de indicadores sociais, estes fartamente divulgados pela imprensa nacional. Neste contexto, as condições climáticas, geomorfológicas e sócio-culturais da região favoreceram o surgimento de processos desertificatórios significativos na região.

A **desertização** tem causas naturais, elaboradas ao longo de séculos pelas forças da natureza. Mas a **desertificação** tem causas eminentemente antrópicas, em ritmo

crescente, como foi constatado neste estudo. Isto ficou muito evidente nestes 13 anos estudados – um período muito curto para os desígnios da natureza provocarem tamanho desastre ambiental.

Neste aspecto, a perda de biodiversidade, por exemplo, está registrada essencialmente pela diminuição da classe caatinga arbustiva. Em 11/03/89, esta classe ocupava uma área de 856,15 km², sendo reduzida para 265,73 km² em 05/01/03, ou seja, uma diminuição de 69% no período, isto considerando que as condições pluviométricas mantiveram-se dentro dos padrões esperados para o clima semi-árido, alternando os períodos chuvosos com os secos. O porte lenhoso e seu potencial energético, a necessidade de novas áreas para as atividades agropastoris, ou às vezes em substituição àquelas já degradadas, e a retirada de plantas medicinais são as principais causas do desmatamento nesta classe.

Os dados também mostraram que em 11/03/89 a já preocupante extensão de solo exposto – portanto improdutivo do ponto de vista social, econômico e ambiental – representava 20% da área total de estudo (Figura 70). Em 05/01/03, a mesma classe já passava para 39% (Figura 69), piorando a situação. Esse preocupante aumento desta classe foi conquistado principalmente de áreas agrícolas ou de pastagem (44%), ou seja, áreas que em 11/03/89 eram economicamente produtivas e em 05/01/03 estão totalmente improdutivas. Cerca de 11% do solo exposto classificado na data de 2003 também foi conquistado da caatinga, mostrando a fragilidade deste ecossistema quando sumária e sistematicamente desmatado.

Considerando os 4.405,29 km² da área de estudo, a análise-síntese mostrou que cerca de 215 km² nos seis municípios mais próximos à UHE Xingó apresentam problemas muito graves com relação à desertificação em janeiro de 2003. No total, cerca de 985,44 km² têm problemas ambientais significativos relacionados à desertificação, ou seja, 22,37% da área de estudo estão relacionados com algum processo de desertificação, necessitando de atenção urgente por parte do Governo e da sociedade.

Convém registrar o aspecto conservador da análise ao considerar, por exemplo, que as áreas consideradas “Gravíssimas” teriam que necessariamente apresentar solo exposto nas imagens de 1989, 1995 e 2003, além de estarem situadas num limiar de alta densidade demográfica para a região. Portanto, não bastou a imagem mais recente (05/01/03) apresentar extensas áreas degradadas, pois se inferiu ao modelo de análise espacial outras variáveis ambientais e demográficas, permitindo à pesquisa científica

sobre o tema vislumbrar novas oportunidades de incorporar outros dados que possam ter uma representatividade espacial.

Um aspecto importante a concluir diz respeito à comprovação em campo dos resultados obtidos a partir das técnicas de Processamento Digital de Imagens em Sensoriamento Remoto utilizadas ao longo do estudo. Embora não seja nenhuma novidade na literatura sobre o tema, não se registrou nenhum outro estudo que enfocasse especificamente a Região de Xingó no contexto dos processos desertificatórios, conciliando dados espectrais oriundos de imagens satelitais com dados demográficos ao nível do micro dado representado pelos setores censitários rurais. Pode-se, assim, afirmar que a pesquisa foi favorecida pela publicação desses dados em 2003 pelo IBGE.

Enfim, o estudo concluiu claramente que o modelo econômico em uso não é sustentável na Região de Xingó. Pelo contrário, exige-se de toda a sociedade uma mudança na forma de pensar e agir sobre o semi-árido nordestino e sua viabilidade agro-ecológica. Muitas experiências, algumas novas e outras nem tanto, têm demonstrado o potencial e a viabilidade geoambiental do semi-árido brasileiro, como vem mostrando diversas e recorrentes reportagens na imprensa.

Como dito anteriormente, só o binômio Ciência & Tecnologia tem as reais condições para viabilizar uma solução ambientalmente sustentável para estas comunidades carentes do sertão, sem comprometer as gerações futuras ou, como se está evidenciando neste estudo, até mesmo a atual geração.

Acredita-se que este estudo atingiu plenamente seus objetivos ao propor não apenas um método, mas sim uma metodologia transdisciplinar que integra dados georreferenciados numa aplicação prática de suporte a decisões estratégicas para o semi-árido brasileiro ao identificar e localizar o fenômeno da desertificação na Região de Xingó. Caberá à sociedade e, mais especificamente, à academia, continuar este trabalho.

Enfim, esta pesquisa destacou as seguintes conclusões:

- As ações antrópicas nos últimos 13 anos trouxeram um grave desequilíbrio ambiental na região
- Entre 1989 e 2003 houve um recrudescimento dos indicadores ambientais na área de estudo, com especial degradação da vegetação Caatinga

- Desertização *versus* Desertificação: o primeiro conceito refere-se às causas naturais, ao passo que o segundo, à ação antrópica – daí a opção pelo segundo termo nesta pesquisa
- Os sistemas de produção agropecuária em uso não são ambientalmente sustentáveis na Região de Xingó
- Há uma dualidade intrínseca em Xingó: riqueza energética *versus* pobreza humana
- A validação em campo confirmou a eficiência das tecnologias de Sensoriamento Remoto e SIG na identificação, quantificação e localização das áreas de risco
- A contribuição à pesquisa científica sobre o tema da desertificação está evidenciada pelo método controlado que integra diversos tipos de dados geoespaciais numa análise espaço-temporal
- Aquisição de 10Gb de dados georreferenciados disponibilizados aos estudantes, professores, pesquisadores e instituições públicas.

6.3 Algumas proposições de políticas públicas para o combate à desertificação em Xingó

Não basta identificar as áreas em processo de desertificação, pois embora não seja um objetivo específico deste estudo científico, não se quer cair no vazio da simples denúncia. Afinal, se nada for proposto, estar-se-ão mapeando as áreas desertificadas numa espiral de crescimento ininterrupto e tudo ficará um só deserto.

Os investimentos públicos em educação fundamental e profissionalizante precisam ser permanentes e efetivos, pois só o conhecimento aplicado das novas tecnologias pode criar as condições necessárias para a população lidar com o ecossistema da caatinga, incorporando as tradições culturais que ao longo de séculos trouxeram uma valiosa contribuição às práticas de convivência com as adversidades do clima semi-árido.

As políticas públicas de controle da desertificação devem conter ações voltadas à caracterização e monitoramento dos processos, além de medidas preventivas, de combate e mitigação dos efeitos, legitimados através da participação popular, como já apontou, em 1999, a Oficina de trabalho sobre Ciência e tecnologia para a

Sustentabilidade do Semi-árido do Nordeste do Brasil (ARAÚJO *et alli*, 2002). Este estudo também apontou para a necessidade de "reivindicações veementes, junto aos órgãos de fomento, de linhas de financiamento específicas para a pesquisa e a educação voltadas ao problema da Desertificação no semi-árido", concluindo que "as medidas de combate à Desertificação só têm chance de sucesso quando levam em consideração estratégias de combate a pobreza, tornadas prioritárias metas que promovam a segurança alimentar e o abastecimento hídrico das comunidades" (ARAÚJO *et alli*, 2002).

Faz-se também necessária a instalação do Instituto Nacional do Semi-árido para promover a pesquisa, o ensino e a extensão acadêmica, envolvendo a transdisciplinaridade da desertificação e atuando continuamente na região.

A geração de energia elétrica na Região de Xingó, especificamente, não pode prescindir de uma responsabilidade social efetiva e não assistencialista. É imperativa uma revisão da política social praticada nestes seis municípios sob os auspícios da CHESF, definindo novas atuações que permitam o crescimento econômico das comunidades sertanejas, mas imbuídas de um compromisso ambientalmente sustentável. O quadro geral de miséria e consumo desenfreado dos recursos naturais da caatinga precisa ser revertido.

Por fim, recomenda-se aos órgãos de Ciência e Tecnologia, especialmente às universidades públicas que atuam na região, um macro estudo que defina um detalhado e abrangente Zoneamento Agro-ecológico para a Região de Xingó, em escala adequada, levando em consideração os diversos aspectos aqui levantados e outros que necessariamente precisam ser considerados como, por exemplo, aqueles que diretamente podem ser ouvidos destas populações em consultas às entidades civis representativas.

Há que se mensurar as capacidades de suporte dos recursos naturais ainda disponíveis, regredir os processos desertificatórios já instalados, recuperando as áreas atingidas e, essencialmente, promover o desenvolvimento local, integrado e sustentável da Região de Xingó, objetivando uma melhoria das trágicas condições de vida do sertanejo.

Um novo horizonte com melhores perspectivas para o sustentáculo da vida em todas as suas formas pode e precisa ser alcançado no semi-árido brasileiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACCIOLY, L.; OLIVEIRA, M.; DA SILVA, F.; BURGOS, N. **Avaliação de Mudanças no Albedo do Núcleo de Desertificação do Seridó através de Imagens do Landsat TM.** In: X SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Foz do Iguaçu, 2001, p. 549-556. Anais.

ACCIOLY, L.; PACHÊCO, A.; COSTA, T.; LOPES, O.; OLIVEIRA, M. Relações empíricas entre a estrutura da vegetação e dados do sensor TM/LANDSAT. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.** Campina Grande, PB, vol. 6, n. 3, p. 492-498, 2002.

ADAMI, M.; PINHEIRO, E.; MOREIRA, M. **Aplicações de Diferentes Algoritmos para a Classificação de Imagens ETM+/LANDSAT-7 no Mapeamento Agrócola.** São José dos Campos, SP: INPE, 2002. 41 p.

AMORIM, A.; BRANDÃO, R.; MATTOS, J; FREIRE, N. **Projeto Geoturismo Xingó.** Canindé de São Francisco, SE: Instituto Xingó, 2001. 196 p.

AMORIM, A.; GAMA, H.; MATTOS, J.; FREIRE, N. **Atlas Xingó**. Canindé de São Francisco, SE: Instituto Xingó, 2002. 64 p.

ANDRADE, M.C. **A Problemática da Seca**. Recife, PE: Líber Gráfica e Editora, 1999. 94p.

ANDRADE-LIMA, D. **Um pouco de ecologia para o Nordeste.** Recife, PE: UFPE, 1972.

_____. ***The caatingas dominium***. In: Revista Brasileira de Botânica, n. 4, p. 149-153, 1981.

ARAÚJO, A.; SANTOS, M.; MEUNIER, I.; RODAL, M. **Desertificação e Seca.** Recife: Gráfica e Editora do Nordeste Ltda., 2002. 63 p.

ARONOF, S. ***Geographic information system: a Management Perspective***. Canadá: WDL Publications, 1989.

ASSIS, J. S. **Biogeografia e Conservação da Biodiversidade**. Maceió, AL: Catavento, 2000. 199 p.

_____. **Desertificação em Alagoas (Análise Físico-Ambiental Preliminar).** Maceió, AL: UFAL, 2002. Apostila.

AURÉLIO. **Novo Dicionário Básico da Língua Portuguesa.** Folha de São Paulo, Editora Nova Fronteira: Rio de Janeiro, 1988. 689 p.

AYALA, R.; BECERRA, A; IRIBARNE, L. F.; BOSCH, A. DÍAZ, J.R. ***GIS System as a Decision Support Tool for Agricultural Planning in Arid Zones os Spain.*** In: GEOMÁTICA, Vol. 51, N° 6, 1997, pp. 234 a 255.

BANON, G.J.F.; BARREIRA, J. **Bases da Morfologia Matemática para a Análise de Imagens Binárias**. UFPE, Recife, 1994.

BARROS, I.; SAMPAIO, E. ***Phenology of Caatinga Species at Serra Talhada, PE, Northeastern Brazil.*** Revista Biotropica, n. 29(1), 1997. p. 57-68.

BAUTISTA, H. P. **Espécies Arbóreas da Caatinga: sua importância econômica.** In: Simpósio sobre a Caatinga e sua Exploração Racional. Feira de Santana, BA: 1988. 215 p.

BONHAM-CARTER, G.F. ***Geographic information system for geocientists: modelling with GIS***. Ottawa: Pergamon. 398 p. (Computer Methods in the Geosciences, 13).

BRASIL, GOVERNO DO. **Desertificação – III Conferência das Partes da Convenção das Nações Unidas.** Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente; Prática Gráfica e Editora, 1999. 23 p.

_____. **Diretrizes para a Política Nacional de Controle da Desertificação – projeto BRA 93/036.** Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 1998.

_____. **Desertificação.** Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2003. Disponível em <http://www.mma.gov.br/port/redesert/desertbr.html>. Acesso em 19/09/03.

_____. *Mapa de Susceptibilidade à Desertificação*. Brasília, DF: 1998b. 95 p.

BRITO, E. (Coordenação Geral). **Mapeamento Cultural dos Municípios do Vale do Rio São Francisco no Estado de Alagoas.** Maceió: Ministério da Cultura, 2000. 182 p.

BURROUGH, P.A. ***Principles of geographical information systems for land resources assessment***. Oxford: Oxford University Press, 1986. 194p. (monographs on Soil and resources Survey, 12).

CALHEIROS, S. **Turismo versus Agricultura no Litoral Meridional Alagoano.** Rio de Janeiro, RJ, 2000. 255 p. Tese (Doutorado em Geografia). Departamento de Geografia. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

CÂMARA, G. **Epistemologia do Geoprocessamento.** São José dos Campos, SP: INPE, 2001.

CÂMARA, G. **Geoprocessamento: Teoria e Aplicações**. São José dos Campos, SP: INPE, 2000. Disponível em <http://dpi.inpe.br/gilberto/livro>. (Apostila).

CARVALHO, V. **Abordagem multiescala para o monitoramento de indicadores do processo de desertificação.** In: X SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Foz do Iguaçu, 2001, p. 1539-1551. Anais.

CAVALCANTE, E. (Organizador). **Desenvolvimento Regional e Sustentabilidade.** Maceió: Catavento, 1999. 139 p.

CARNAP, R.; GARDNER, M. ***Introduction to the Philosophy of Science***. Dover Publications, London: 1995.

CHESF. **A história do Rio São Francisco.** Recife, PE: CHESF, 2001. Disponível em <http://www.chesf.gov.br>. Acesso em 11/10/03.

_____. **Inventário Turístico da Região dos Lagos do Rio São Francisco**. Recife, PE: CHESF, 1995.

CHRISTOFOLETTI, A. **Modelagem de Sistemas Ambientais.** 1ª. Ed. São Paulo, SP: Edgard Blücher, 1999. 215 p.

COLWELL, R.N. ***Manual of Remote Sensing***. Falls Church, Virginia : American Society of Photogrammetry, 1983.

COSTA, T.; ACCIOLY, L.; OLIVEIRA, M.; BURGOS, N.; SILVA, F. **Mapeamento da Fitomassa da Caatinga do Núcleo de Desertificação do Seridó, pelo Índice de Área de Planta (IAP) e o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI), obtido com dados do Sensor Landsat 7 TM.** In: X SIMPÓSIO

BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Foz do Iguaçu, 2001, p. 1563-1573. Anais.

CRÓSTA, A. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto.** Campinas, SP: IG/UNICAMP, 1993. 170 p.

CUÉLLAR, J. (Organizador). **Nossa diversidade criadora.** Campinas, SP: Papirus; Brasília, DF: UNESCO, 1997. 416 p.

DIETERICH, H. **Novo Guia para a Pesquisa Científica.** Blumenau, SC: Editora da FURB, 1999. 263 p.

EMBRAPA –Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** Brasília, DF: 1999. 412 p.

ERDAS Field Guide. 5ª. ed. – Atlanta : ERDAS Inc., 1999.

FAO. ***Desertification***. Disponível em <http://www.fao.org/desertification/default.asp?lang=en>. Acesso em 12/10/03.

FATORGIS. **O que é Geoprocessamento?... E o que isto tem a ver com você?** Curitiba: Sagres Editora, 2000. Disponível em <http://www.fatorgis.com.br>. Acesso em 05/11/02.

FERREIRA, D. G.; MELO, H. P.; NETO, F. R. R.; NASCIMENTO, P. J. S.; RODRIGUES, V. **A Desertificação no Nordeste do Brasil: Diagnóstico e Perspectivas**. In: Conferência Nacional e Seminário Latino-Americano da Desertificação. Fortaleza, 1994.

FLORENZANO, T. **Imagens de satélite para estudos ambientais.** São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 97 p.

FOLHA ON LINE. **ONU discute desertificação e seca durante reunião em Cuba**. Disponível em <http://www.folhaonline.com.br>. Acesso em 18/09/2003.

FONSECA, L.; LOPES, E.; YAMAGUCHI, F.; VINHAS, L. **Processamento Digital de Imagens.** São José dos Campos, SP: INPE, 2000. (Apostila).

FRANCO, A. **Por que precisamos de Desenvolvimento Local, Integrado e Sustentável**. Brasília: Ágora, 2000.

FREIRE,N.; MOURA, D.; PEREIRA, E.; SCHLINDWEIN, C.; PACHÊCO, A. **Classificação de Fitofisionomias no Entorno da Usina Hidrelétrica de Xingó, segundo Níveis de Degradação obtidos através do Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto.** Recife, PE: UFPE, 2003. (no prelo.)

FRIEDEL, H. **As grandes leis da biosfera.** São Paulo, SP: EDUSP, 1999. 479 p.

GEMAEL, C. **Introdução ao ajustamento das observações: aplicações geodésicas.** Curitiba, PR: UFPR, 1994.

GOLD, C.M., CASSAULT, P. ***An Event-Driven Approach to Spatio-Temporal Mapping***. In: GEOMÁTICA, Vol. 50, N° 4, 1996, pp. 415 a 424.

GOLDCHILD, M.F. ***Geographical information systems in undergraduate geography: a contemporary dilemma.*** In: The Operational Geographer, n. 8, 1985. p. 34-38.

HAZELTON, N. W. ***Temporal Aspects of Map and Mapping: Some Implications***. In: Surveying and Land Information Systems, Vol. 57, N° 1, 1997, pp. 42 a 54.

IBAMA. **Desertificação no Brasil.** Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2003. Disponível em <http://www.ibama.gov.br>. Acesso em 22/09/03.

INPE. **Divisão de Geração de Imagens de Sensoriamento Remoto.** Disponível em <http://www.inpe.br/dgi>. Acesso em 10/10/03.

INPE. **Tutorial do Spring**. São José dos Campos, SP: INPE, 2001. 305 p. (Apostila).

_____. **Divisão de Geração de Imagens de Sensoriamento Remoto.** Site da Internet. Disponível em <http://www.inpe.br/dgi>. Acesso em 05/10/03.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 1991 Agregado por Setores Censitários – Vol. 2 Região Nordeste.** Rio de Janeiro: IBGE, 2003. 1 CD-ROM

_____. **Censo Demográfico 2000 Agregado por Setor Censitário dos resultados do universo – Vol. 3 Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Bahia.** 2ª. Edição. Rio de Janeiro: IBGE, 2003. 1 CD-ROM

_____. **Malha de Setor Censitário Rural Digital do Brasil – Situação 2000 – Vol. 3**. Rio de Janeiro: IBGE, 2003. 1 CD-ROM

_____. **Base de Informações Municipais 4**. Rio de Janeiro: IBGE, 2003. 1 CD-ROM

_____. **Mapa da Série Brasil-Geográfico**. Escala 1:5.000.000, Sistema de Projeção Policônica. Rio de Janeiro: IBGE, 1997. 1 CD-ROM

INSTITUTO XINGÓ. **Relatório de Atividades do Geoxingó.** Canindé de São Francisco, SE: IX, 2002.

JENSEN, J.R. ***Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective***. Englewood Cliffs, New Jersey : Pretice-Hall, 1999.

JESUS, P. & SOARES, G. **Estruturação de um serviço de apoio às atividades econômico-produtivas no âmbito do Programa Xingó**. Recife, PE: UFRPE, 2000. (Relatório Técnico.)

JORNAL DO COMMERCIO. **Nada brota no solo salino de Cabrobó.** Recife, PE: 14/11/99, Caderno Especial.

_____. **Seca, devastação e abandono.** Recife, PE: 10/11/02. 1º. Caderno.

KATO, M.T. (coord.). **Diagnóstico das Condições Sanitárias e Ambientais na Área de Xingó**. Recife, PE: Departamento de Engenharia Civil/Grupo de Saneamento Ambiental, UFPE, 1999. 155 p.

KAZMIERCZAK, M. **Uso de Dados AVHRR/NOAA GAC para Análise da Sazonalidade da Caatinga.** Fortaleza, CE: Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, 1996.

_____. **Desenvolvimento de um Algoritmo para Modelar a Suscetibilidade de Desertificação no Nordeste Brasileiro: Algoritmo ISD**. In: X SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Foz do Iguaçu, 2001, p. 1675-1691. Anais.

LANDSAT 5 TM. Cena 215; Órbita: 067; Data de passagem: 11/03/1989. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2002. Imagem de Satélite. Bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7.

_____. Cena 215; Órbita: 067; Data de passagem: 06/10/1995. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2002. Imagem de Satélite. Bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7.

LANDSAT 7 ETM+. Cena 215; Órbita: 067; Data de passagem: 05/01/2003. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2002. Imagem de Satélite. Bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7.

LIN, H.; CHOI, S.K. ***A Multi-window Approach for 4-D Spatio-Temporal Information Visualization***. In: GEOMÁTICA, Vol. 50, N° 3, 1996, pp. 261 a 267.

LINS, M.; ALBUQUERQUE, C. **Tecnologias para reduzir a pobreza no semi-árido.** Salvador, BA: UFBA, 2001.

LOCH, C. **Topografia contemporânea.** Florianópolis, SC: UFSC, 1995.

MALDONADO, F. **Rotação Espectral Controlada como alternativa em Análise por Componentes Principais para detecção de mudanças em regiões do semi-árido.** In: X SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Foz do Iguaçu, 2001, p. 627-630. Anais.

MATALLO, H. **A Desertificação no Mundo e no Brasil.** In: SCHENKEL, C. S. & MATALLO, H. (org.). *Desertificação*. Brasília, DF: UNESCO, 1999. p. 9-25.

MENDONÇA, A. **Pão de Açúcar História e Efemérides**. Pão de Açúcar, AL: Prefeitura Municipal de Pão-de-Açúcar, 1974.

MENESES, P.; MADEIRA NETTO, J. (Organizadores). **Sensoriamento Remoto – Reflectância dos Alvos Naturais.** Brasília: Editora UnB, 2001. 262 p.

MOREIRA, M. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação.** 2ª. Ed. Viçosa, MG: UFV, 2003. 307 p.

MORIN, E. **Os Sete Saberes Necessários à Educação do Futuro.** São Paulo: Cortez; Brasília, DF: UNESCO, 2000. 118 p.

_____. **Saberes Globais e Saberes Locais.** Rio de Janeiro: Garamond, 2000. 76 p.

MOURA, D. **Riqueza e Abundância de Abelhas em Diferentes Estágios de Degradação da Caatinga como Indicadores Ambientais no Entorno da Usina Hidrelétrica de Xingó.** Dissertação de Mestrado em Gestão e Políticas Ambientais. Recife, PE: UFPE, Departamento de Geografia, 2003.

NOVO, E. **Sensoriamento Remoto – Princípios e Aplicações.** São Paulo: Edgard Blücher, 1989. 293 p.

OLIVEIRA, S.; BARRETO, M. LEITE, F. CARVALHO, G. **Degradação Ambiental e Susceptibilidade à Desertificação na Região do Médio Jaguaribe – CE.** In: XI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Belo Horizonte, 2003, p. 1315-1322. Anais.

PERAZZO, G.M; KATO, M.T.; FLORENCIO, L.. Avaliação do Saneamento Ambiental em 29 Municípios na Região do Semi-Árido, Nordeste do Brasil. In: XXVIII Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitária y Ambiental. **Anais**. Cancún, México, 2002.

PONZONI, F.J. Comportamento Espectral da Vegetação. In: MENESES, P. R., NETTO, J. S. M. **SENSORIAMENTO REMOTO – REFLECTÂNCIA DOS ALVOS NATURAIS.** Brasília, DF: UnB; Planaltina: Embrapa Cerrados, 2001. 262p.

RAMALHO FILHO, R. (Organização). **Sustentabilidade do Desenvolvimento.** Recife: Ed. Universitária da UFPE, 1998. 150 p.

REIS, J. **Desertificação no Nordeste**. Recife, PE: SUDENE, 1988. 40 p.

REIS, M. **Conservação dos Ecossistemas do Nordeste Brasileiro.** In: Simpósio sobre Caatinga e sua Exploração Racional. Feira de Santana, BA: EMBRAPA-DDT, 1984. 361 p.

RESENDE, M.; CURI, N.; REZENDE, S.; CORRÊA, G. **Pedologia: base para distinção de ambientes.** 3ª. ed. – Viçosa : NEPUT, 1999.

RODRIGUES, V.; MATALLO Jr., H; LINHARES, M. C.; GALVÃO, A. L. C.; GORGÔNIO, A. S. **Avaliação do Quadro da Desertificação no Nordeste: Diagnóstico e Perspectivas**. In: Conferência Internacional sobre Impactos de Variações Climáticas e Desenvolvimento Sustentável em Regiões Semi-áridas. Fortaleza, 1992.

ROMÃO, V. **Geodésia.** (Apostila). Recife, PE: UFPE, 2002.

SACHS, I. **Estratégias de Transição para o Século XXI.** São Paulo: Studio Nobel, 1993. 103 p.

_____. **Caminhos para o Desenvolvimento Sustentável.** Rio de Janeiro: Garamond, 2000. 96 p.

SAMPAIO, E.; SAMPAIO, Y. **Desertificação.** Recife, PE: Editora Universitária UFPE, 2002. 85 p.

SANTOS, A. **Geodésia Elementar: princípios de posicionamento global – GPS.** Recife, PE: Editora da UFPE, 2001.

SANTOS, A.;ANDRADE, J. **Nova Geografia de Sergipe**. Aracaju, SE: Secretaria do Estado da Educação do Esporte e Lazer, Universidade Federal de Sergipe, 1998. 148 p.

SEABRA, G. **Pesquisa Científica: o Método em Questão.** Brasília, DF: Editora Universidade de Brasília, 2001. 124 p.

SISTEMAS DE INFORMACÍON AMBIENTAL EN LOS PROGRAMAS DE ACCÍON NACIONAL PARA LA LUCHA CONTRA LA DESERTIFICACIÓN. PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. New York, EUA, 1999.

SOUZA, C. **Análise multitemporal da cobertura vegetal para detecção de mudanças no município de Cedro-PE.** In: XI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, Belo Horizonte, 2003, p. 2907-2912. Anais.

STAR, J.; ESTES, J. ***Geographic Information Systems: An Introduction***. Englewood Cliffs, New Jersey : Prentice-Hall, 1990.

SUDENE. **Levantamento Exploratório de Solos do Estado de Alagoas.** Recife: SUDENE, 1975. 523 p.

_____. **Levantamento Exploratório de Solos do Estado de Sergipe.** Recife: SUDENE, 1975. 505 p.

_____. **Processos de Desertificação no Nordeste.** Recife, PE: Ministério do Interior, 1983.

SUITS, G.H. ***Manual of Remore Sensing***. Falls Church, Virginia : American Society of Photogrammetry, 1983.

THOMSON, R.C., RICHARDSON, D.E. ***Generalization, Temporal GIS and Map Revision***. In: GEOMÁTICA, Vol. 50, N° 4, 1996, pp. 441 a 448.

TORGE, W. ***Geodesy***. 2a. ed. New York: De Gruyter, 1991. 264 p.

UNESCO. **Desertificação.** Brasília, DF: UNESCO, 1999.

VASCONCELOS SOBRINHO, J. **Metodologia para Identificação de Processos de Desertificação – Manual de Indicadores.** Recife, PE: SUDENE, 1978. 18 p.

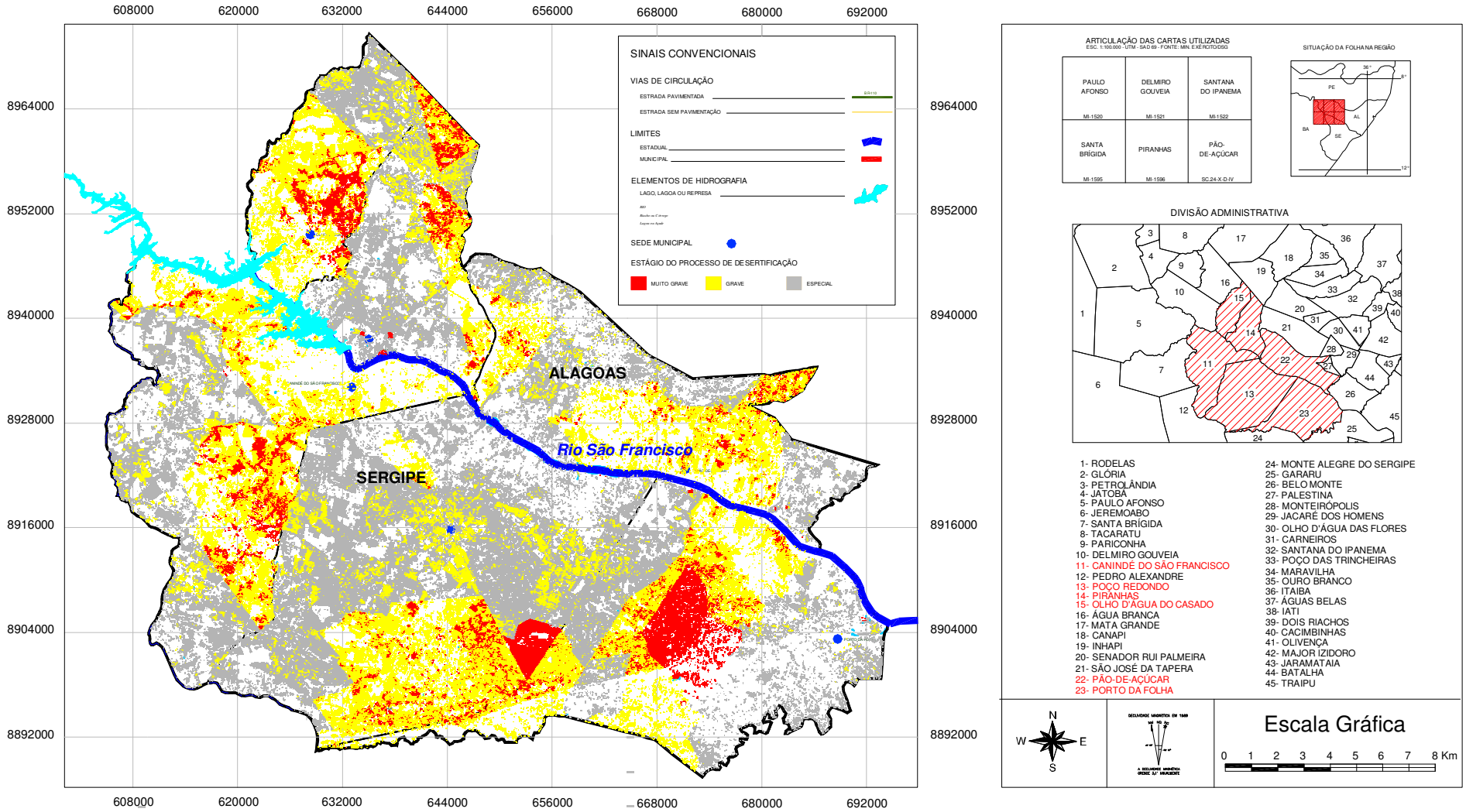
VIANA, M.; RODRIGUES, M. **Um Índice Interdisciplinar de Propensão à Desertificação (IPD): Instrumento de Planejamento.** Fortaleza, CE: Revista Econômica do Nordeste, v. 30, n. 3, p. 264-294, jul.-set., 1999.

VIEIRA, P.; RIBEIRO, M.; FRANCO, R.; CORDEIRO, R. (Organizadores). **Desenvolvimento e Meio Ambiente no Brasil – A Contribuição de Ignacy Sachs.** Porto Alegre: Pallotti; Florianópolis: APED, 1998. 448 p.

XINGÓ, I. **O que é o Instituto Xingó.** Canindé de São Francisco, SE: Instituto Xingó, 2003. 56 p.

XINGÓ, P. **Uma proposta estruturante no semi-árido nordestino**. Canindé do São Francisco, SE: CHESF, 1996.

ANEXO 1 – Carta-Imagem das Áreas de Risco à Desertificação na Região de Xingó



ANEXO 2

Tabela 02 - Dados Pluviométricos

(Região de Xingó – 1978 a 2003 – Precipitação Pluviométrica Mensal – PPM – em mm)
Fonte: CPTEC/INPE, 2003.

MÊS	ANO	PPM(mm)
JAN	1978	35,0241
FEB	1978	215,156
MAR	1978	184,627
APR	1978	166,643
MAY	1978	175,471
JUN	1978	133,592
JUL	1978	136,91
AUG	1978	64,2428
SEP	1978	85,7806
OCT	1978	26,8247
NOV	1978	29,4948
DEC	1978	71,8763
JAN	1979	136,665
FEB	1979	83,5607
MAR	1979	134,251
APR	1979	201,822
MAY	1979	111,483
JUN	1979	99,9835
JUL	1979	76,7562
AUG	1979	26,4884
SEP	1979	36,6882
OCT	1979	17,2769
NOV	1979	54,6174
DEC	1979	29,0521
JAN	1980	181,442
FEB	1980	248,591
MAR	1980	95,5182
APR	1980	36,8949
MAY	1980	43,6883
JUN	1980	94,1595
JUL	1980	57,3198
AUG	1980	31,5837
SEP	1980	35,6684
OCT	1980	58,4991
NOV	1980	77,5381
DEC	1980	54,2052
JAN	1981	101,689

FEB	1981	27,2071
MAR	1981	254,85
APR	1981	95,1251
MAY	1981	57,9275
JUN	1981	103,464
JUL	1981	58,2079
AUG	1981	42,4052
SEP	1981	18,9554
OCT	1981	4,2078
NOV	1981	43,3739
DEC	1981	69,2063
JAN	1982	53,6565
FEB	1982	74,6418
MAR	1982	133,317
APR	1982	142,438
MAY	1982	135,722
JUN	1982	128,755
JUL	1982	77,0439
AUG	1982	36,1705
SEP	1982	45,0001
OCT	1982	20,8379
NOV	1982	4,2692
DEC	1982	24,8862
JAN	1983	62,3601
FEB	1983	145,194
MAR	1983	137,037
APR	1983	40,3493
MAY	1983	50,9868
JUN	1983	71,6338
JUL	1983	65,4825
AUG	1983	57,7365
SEP	1983	19,7105
OCT	1983	39,2527
NOV	1983	36,3866
DEC	1983	25,3173
JAN	1984	39,0984
FEB	1984	38,8228
MAR	1984	131,806
APR	1984	207,808
MAY	1984	134,32
JUN	1984	77,7574
JUL	1984	125,737
AUG	1984	68,9286
SEP	1984	52,7905
OCT	1984	31,5948

NOV	1984	36,6533
DEC	1984	62,7252
JAN	1985	86,8334
FEB	1985	132,638
MAR	1985	167,955
APR	1985	276,9
MAY	1985	75,798
JUN	1985	88,0727
JUL	1985	109,594
AUG	1985	71,0369
SEP	1985	31,961
OCT	1985	10,9142
NOV	1985	59,6821
DEC	1985	132,627
JAN	1986	46,0887
FEB	1986	85,5206
MAR	1986	200,05
APR	1986	132,466
MAY	1986	153,801
JUN	1986	78,4645
JUL	1986	97,2307
AUG	1986	65,0629
SEP	1986	35,9791
OCT	1986	120,591
NOV	1986	95,3042
DEC	1986	61,0422
JAN	1987	43,2387
FEB	1987	52,2436
MAR	1987	174,367
APR	1987	75,5614
MAY	1987	82,5916
JUN	1987	91,8398
JUL	1987	99,4291
AUG	1987	54,4445
SEP	1987	22,4653
OCT	1987	9,9514
NOV	1987	37,988
DEC	1987	30,8231
JAN	1988	45,2031
FEB	1988	31,2551
MAR	1988	132,354
APR	1988	245,305
MAY	1988	80,5714
JUN	1988	108,16
JUL	1988	177,912

AUG	1988	53,9573
SEP	1988	40,0494
OCT	1988	38,0742
NOV	1988	48,3094
DEC	1988	85,9466
JAN	1989	62,0427
FEB	1989	19,1112
MAR	1989	141,172
APR	1989	142,656
MAY	1989	223,085
JUN	1989	106,3
JUL	1989	202,114
AUG	1989	82,4349
SEP	1989	58,0345
OCT	1989	48,327
NOV	1989	46,7058
DEC	1989	254,362
JAN	1990	36,0139
FEB	1990	63,1073
MAR	1990	34,5002
APR	1990	106,174
MAY	1990	62,0934
JUN	1990	84,0182
JUL	1990	118,445
AUG	1990	64,8383
SEP	1990	46,8738
OCT	1990	55,87
NOV	1990	42,1675
DEC	1990	41,5482
JAN	1991	70,0813
FEB	1991	50,2943
MAR	1991	78,8027
APR	1991	59,4845
MAY	1991	116,686
JUN	1991	107,632
JUL	1991	68,3375
AUG	1991	74,067
SEP	1991	21,1992
OCT	1991	25,8795
NOV	1991	68,7729
DEC	1991	12,115
JAN	1992	211,374
FEB	1992	132,754
MAR	1992	96,9807
APR	1992	50,6651

MAY	1992	46,6529
JUN	1992	88,2036
JUL	1992	69,3181
AUG	1992	55,3028
SEP	1992	32,2012
OCT	1992	12,851
NOV	1992	47,9383
DEC	1992	33,0722
JAN	1993	24,2162
FEB	1993	13,134
MAR	1993	20,7836
APR	1993	33,657
MAY	1993	68,005
JUN	1993	114,939
JUL	1993	48,1606
AUG	1993	53,3604
SEP	1993	19,7836
OCT	1993	63,0591
NOV	1993	50,6383
DEC	1993	41,3649
JAN	1994	89,6409
FEB	1994	67,2817
MAR	1994	96,3665
APR	1994	78,961
MAY	1994	72,4559
JUN	1994	190,165
JUL	1994	105,976
AUG	1994	46,9981
SEP	1994	50,1028
OCT	1994	7,9886
NOV	1994	12,1816
DEC	1994	25,5171
JAN	1995	34,3663
FEB	1995	63,6474
MAR	1995	83,9738
APR	1995	76,5648
MAY	1995	104,126
JUN	1995	142,132
JUL	1995	88,5411
AUG	1995	37,5929
SEP	1995	19,8563
OCT	1995	2,3543
NOV	1995	87,6617
DEC	1995	41,0423
JAN	1996	36,6443

FEB	1996	44,8077
MAR	1996	56,2094
APR	1996	203,853
MAY	1996	123,846
JUN	1996	101,343
JUL	1996	80,4194
AUG	1996	89,116
SEP	1996	24,4239
OCT	1996	10,7652
NOV	1996	98,6134
DEC	1996	27,2572
JAN	1997	93,1587
FEB	1997	55,7689
MAR	1997	189,789
APR	1997	117,675
MAY	1997	137,802
JUN	1997	54,7836
JUL	1997	86,5386
AUG	1997	46,7426
SEP	1997	1,5773
OCT	1997	14,8302
NOV	1997	31,0196
DEC	1997	35,0174
JAN	1998	64,4032
FEB	1998	41,6257
MAR	1998	24,6545
APR	1998	29,9095
MAY	1998	50,8782
JUN	1998	90,0128
JUL	1998	79,2911
AUG	1998	49,7791
SEP	1998	19,3139
OCT	1998	12,6379
NOV	1998	36,1722
DEC	1998	27,5445
JAN	1999	49,2093
FEB	1999	28,182
MAR	1999	72,1438
APR	1999	21,8002
MAY	1999	70,672
JUN	1999	47,788
JUL	1999	56,9312
AUG	1999	47,6901
SEP	1999	36,0115
OCT	1999	57,1166

NOV	1999	80,937
DEC	1999	90,4578
JAN	2000	49,7145
FEB	2000	99,8824
MAR	2000	50,6291
APR	2000	125,226
MAY	2000	39,7745
JUN	2000	77,492
JUL	2000	58,1678
AUG	2000	55,8918
SEP	2000	56,6095
OCT	2000	5,9191
NOV	2000	76,6699
DEC	2000	90,4242
JAN	2001	13,6025
FEB	2001	41,1212
MAR	2001	68,9415
APR	2001	23,5477
MAY	2001	17,9657
JUN	2001	112,328
JUL	2001	73,6876
AUG	2001	44,3957
SEP	2001	23,1042
OCT	2001	47,3749
NOV	2001	0,4
DEC	2001	56
JAN	2002	221,8
FEB	2002	102,1
MAR	2002	12
APR	2002	15,8
MAY	2002	90,5
JUN	2002	54,8
JUL	2002	54,4
AUG	2002	25,4
SEP	2002	3,2
OCT	2002	0,1
NOV	2002	0
DEC	2002	5,4
JAN	2003	9,2
FEB	2003	40,1
MAR	2003	12
APR	2003	9,9
MAY	2003	29,3
JUN	2003	11

ANEXO 3 – Acervo Fotográfico

Região de Xingó, Outubro de 2003.

As fotografias foram obtidas durante a validação de campo, utilizando-se uma câmera fotográfica digital marca Sony, modelo Mavica, e um GPS marca Garmin, modelo GIII Plus 12X. As coordenadas têm como referência o Sistema Geodésico Brasileiro, *datum* SAD 69, projeção UTM, Fuso 24[12].

Ponto	Coord. N	Coord. E	Data
01A	8933245	631997	08/10/03

Caatinga arbustiva aberta em fundo de vale, Canindé do São Francisco/SE.

Ponto	Coord. N	Coord. E	Data
01B	8933245	631997	08/10/03

Relevo ondulado e Caatinga arbustiva aberta em fundo de vale, Canindé do São Francisco/SE.

Ponto	Coord. N	Coord. E	Data
02A	8930700	631747	08/10/03

Agricultura irrigada pelo rio São Francisco, Projeto Califórnia, Canindé do São Francisco/SE.

Ponto	Coord. N	Coord. E	Data
02B	8930700	631747	08/10/03

Agricultura irrigada pelo rio São Francisco, Projeto Califórnia, Canindé do São Francisco/SE.

[12] *Apenas as fotografias mais representativas da área de estudo estão aqui reproduzidas.*

Ponto	Coord. N	Coord. E	Data
03A	8928380	628116	08/10/03

Área degradada em avançado estado de desertificação, Canindé do São Francisco/SE.

Ponto	Coord. N	Coord. E	Data
03B	8928380	628116	08/10/03

Solo exposto, Canindé do São Francisco/SE.

Ponto	Coord. N	Coord. E	Data
04A	8926791	625830	08/10/03

Solo exposto em área degrada, Capim Grosso, Canindé do São Francisco/SE.

Ponto	Coord. N	Coord. E	Data
04B	8926791	625830	08/10/03

Área degradada em Capim Grosso, Canindé do São Francisco/SE.

Ponto	Coord. N	Coord. E	Data
05A	8925544	625065	08/10/03

Caatinga degradada e área em processo de desertificação, Canindé do São Francisco/SE.

Ponto	Coord. N	Coord. E	Data
06	8921724	623147	08/10/03

Caatinga degradada, Canindé do São Francisco/SE.

Ponto	Coord. N	Coord. E	Data
05B	8925544	625065	08/10/03

Área degradada em avançado estado de desertificação, Canindé do São Francisco/SE.

Ponto	Coord. N	Coord. E	Data
24A	8943364	629598	08/10/03

Reserva Ecológica de Xingó/SE.

Ponto	Coord. N	Coord. E	Data
24B	8943364	629598	08/10/03

A biodiversidade em plena estação seca na reserva ecológica de Xingó, Canindé de S. Francisco/SE.

Ponto	Coord. N	Coord. E	Data
25	8946269	631415	08/10/03

A beleza do "Luar do sertão" em área degradada, Olho d'Água do Casado/AL.

Ponto	Coord. N	Coord. E	Data
38	8930295	632459	08/10/03

Agricultura irrigada, Projeto Califórnia, Canindé do São Francisco/SE.

Ponto	Coord. N	Coord. E	Data
40	8923694	637309	08/10/03

Pasto na estação seca, Canindé do São Francisco/SE.

Ponto	Coord. N	Coord. E	Data
41	8917518	643309	08/10/03

Área bastante degradada, Poço Redondo-SE.

Ponto	Coord. N	Coord. E	Data
44	8894756	657491	08/10/03

A caatinga em regeneração, Porto da Folha-SE

Ponto	Coord. N	Coord. E	Data
45	8898699	658941	08/10/03

Desmatamento em 1°. plano e a caatinga arbustiva.

Ponto	Coord. N	Coord. E	Data
46	8903023	661634	08/10/03

Açude seco, Poço Redondo-SE.

Ponto	Coord. N	Coord. E	Data
47	8905419	663120	08/10/03

Sobrepastoreio em área rural de Porto da Folha-SE.

Ponto	Coord. N	Coord. E	Data
48	8908158	664820	08/10/03

Pastagem em Canindé do S. Francisco-SE.

Ponto	Coord. N	Coord. E	Data
49	8911709	669385	08/10/03

Pastagem degradada em Poço Redondo-SE.

Ponto	Coord. N	Coord. E	Data
50A	8916415	671825	29/10/03

Caatinga arbustiva em Porto da Folha-SE e Pão-de-Açúcar-AL na outra margem do S. Francisco.

Ponto	Coord. N	Coord. E	Data
50B	8916415	671825	29/10/03

Área nativa de caatinga em Porto da Folha-SE.

Ponto	Coord. N	Coord. E	Data
51A	8918451	672147	29/10/03

Desmatamento das margens do S. Francisco em Pão-de-Açúcar-AL.

Ponto	Coord. N	Coord. E	Data
51B	8918451	672147	29/10/03

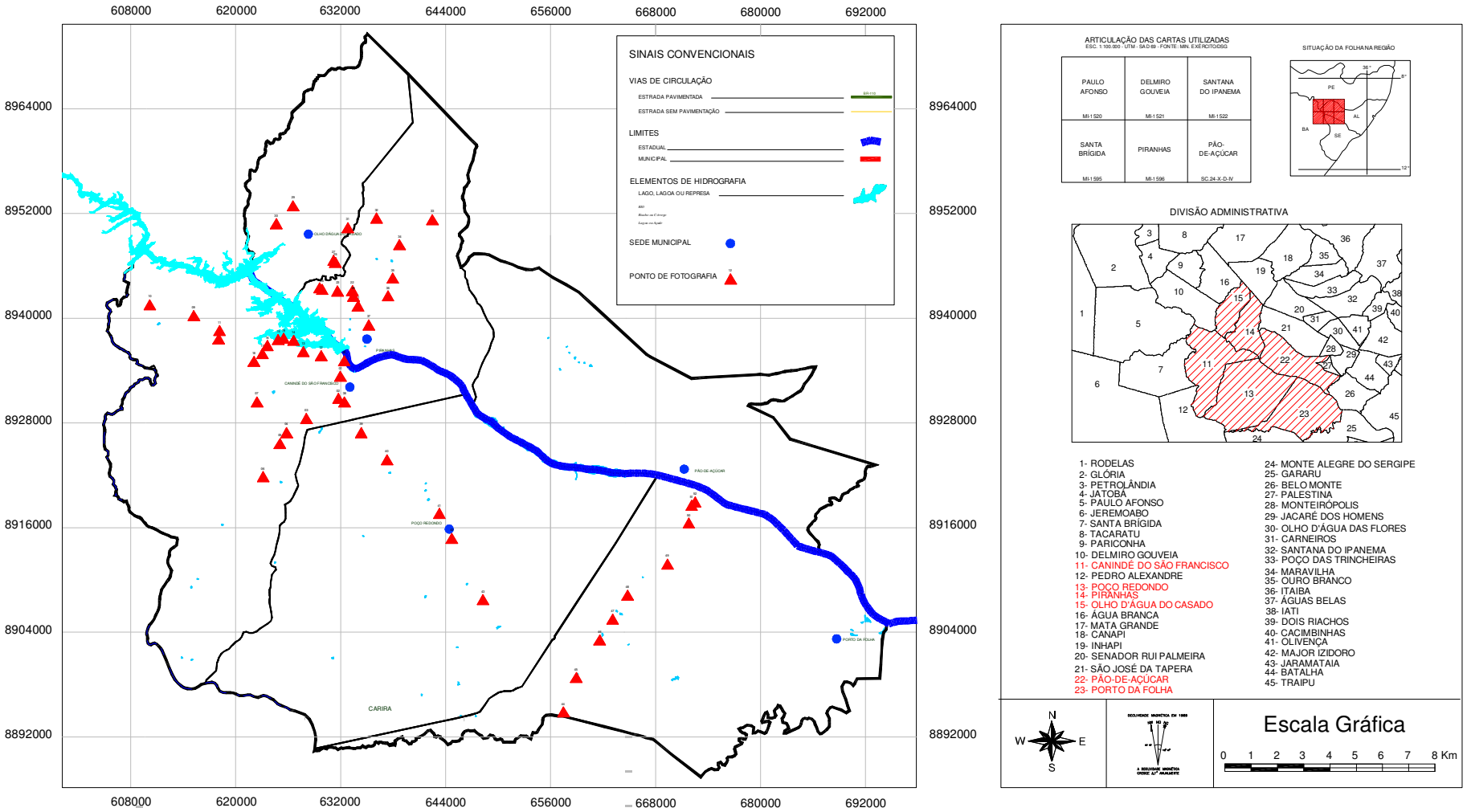
Pão-de-Açúcar-AL.

Ponto	Coord. N	Coord. E	Data
52	8918834	672545	29/10/03

Degradação da terra na caatinga.

Mapa dos Pontos de Tomada das Fotografias

(Coordenadas da câmara)



ANEXO 4

Tabela de Setores Censitários 2000

Fonte (População Censo 2000): IBGE, 2003.

Obs.: As áreas dos setores censitários foram calculadas a partir de operações topológicas realizadas com a Malha Digital de Setores Censitários Rurais (IBGE, 2003).

SETOR	AREA (m²)	AREA(km²)	POP_2000	DENS (hab/km²)
270580405000001-0003	1374123,128	1,374	1396	1.015,92
270580405000004	149291683,5	149,291	897	6,00
270580405000005	83082813,57	83,082	1086	13,07
270580405000006	89330919,41	89,330	1189	13,31
270640605000001-0008	2707824,782	2,707	916	338,27
270640605000009-0009	84276,16309	0,084	434	5.149,74
270640605000010	142852981,2	142,852	1097	7,67
270640605000011	149245679,6	149,245	1481	9,92
270640605000012	61957139,51	61,957	772	12,46
270640605000013	48490361,59	48,490	1563	32,23
270640605000014	22257065,55	22,257	764	34,32
270640605000015-0015	85936,35059	0,085	749	8.715,75
270640605000016	36879586,08	36,879	1115	30,23
270640605000017-0017	86674,97266	0,086	453	5.226,42
270640605000018	18562606,37	18,562	1344	72,40
270640605000019-0019	86670,93652	0,086	791	9.126,47
270640605000020-0020	84300,03027	0,084	729	8.647,68
270640605000021	97066721,63	97,066	716	7,37
270640610000001-0001	96831,82568	0,096	665	6.867,58
270640610000002-0002	87677,21289	0,087	328	3.740,99
270640610000003-0003	85430,89746	0,085	276	3.230,68
270640610000004	79248110,7	79,248	933	11,77
270710705000001-0001	643348,1982	0,643	863	1.341,42
270710705000002-0007	271988,373	0,271	1723	6.334,83
270710705000008-0012	298998,1045	0,298	1087	3.635,47
270710705000013	252870753,2	252,870	950	3,75
270710710000001-0001	251633,0581	0,251	477	1.895,62
270710710000002	78426939,1	78,426	1074	13,69
270710710000003-0005	180858,6123	0,180	879	4.860,15
270710710000006	43962569,47	43,962	1388	31,57
270710710000007	29962864,82	29,962	1028	34,30
280120705000001-0009	1389846,468	1,389	657	472,71
280120705000010	105173404,2	105,173	888	8,44
280120705000011-0011	346771,6592	0,346	885	2.552,11
280120705000012-0013	364257,2319	0,364	673	1.847,60
280120705000014	85653610,8	85,653	331	3,86
280120705000015	117735661,2	117,735	659	5,59
280120705000016	87087560,64	87,087	520	5,97
280120705000017	89070610,02	89,070	553	6,20
280120705000018	183391330,9	183,391	648	3,53
280120705000019-0019	607932,8418	0,607	1169	1.922,91
280120705000020	229592546	229,592	753	3,27
280540605000001-0006	6954261,088	6,954	786	113,02
280540605000007	113301907,9	113,301	685	6,04
280540605000008-0008	144700,6353	0,144	306	2.114,71
280540605000009	169718341	169,718	1180	6,95

SETOR	AREA (m²)	AREA(km²)	POP_2000	DENS (hab/km²)
280540605000010-0010	361234,3896	0,361	640	1.771,70
280540605000011	62729134,05	62,729	714	11,38
280540605000012	23013283,94	23,013	806	35,02
280540605000013-0014	357140,6484	0,357	1051	2.942,82
280540605000015	45748961,15	45,748	1103	24,10
280540605000016	100275833,4	100,275	1172	11,68
280540605000017	31888535,17	31,888	676	21,19
280540605000018	120478808,2	120,478	699	5,80
280540605000019	86865254,39	86,865	1218	14,02
280540605000020	65717329,99	65,717	581	8,84
280540605000021	22979819,87	22,979	921	40,07
280540605000022	12088159,05	12,088	1104	91,32
280540605000023	52918389,5	52,918	775	14,64
280540605000024	21714890,11	21,714	893	41,12
280540605000025-0026	499962,29	0,499	1059	2.118,16
280540605000027	112529061,7	112,529	969	8,61
280540605000028	162865419,3	162,865	1394	8,55
280560405000001-0008	4510008,317	4,510	673	149,22
280560405000009	79896101,7	79,896	179	2,24
280560405000010-0010	370091,3452	0,370	640	1.729,30
280560405000011	129380564,8	129,380	865	6,68
280560405000012	75890814,63	75,890	528	6,95
280560405000013	78671808,83	78,671	969	12,31
280560405000014-0015	373138,2446	0,373	637	1.707,14
280560405000016	61173477,13	61,173	783	12,79
280560405000017-0018	291366,7388	0,291	858	2.944,74
280560405000019	57366524,37	57,366	407	7,09
280560405000020	39140781,96	39,140	636	16,24
280560405000021	40491441,83	40,491	1103	27,24
280560405000022-0022	278711,4238	0,278	693	2.486,44
280560405000023	31731664,1	31,731	902	28,42
280560405000024	31403539,05	31,403	477	15,18
280560405000025-0025	366580,4365	0,366	411	1.121,17
280560405000026	45078958,36	45,078	42	0,93
280560405000027	2882202,968	2,882	248	86,04
280560405000028	65180242,12	65,180	633	9,71
280560405000029-0030	313084,627	0,313	776	2.478,56
280560405000031	28237088,32	28,237	469	16,60
280560405000032	39862004,23	39,862	623	15,62
280560405000033	83644121,29	83,644	1059	12,66
280560405000034-0034	373383,9771	0,373	403	1.079,32

Impresso no Brasil

UFPE/CTG/DECart
Laboratório de Sensoriamento Remoto
Recife – PE
Março de 2004