

## Aspectos metodológicos para o mapeamento e a análise espectro-temporal do processo de desertificação

Neison Cabral Ferreira Freire <sup>1</sup>  
Admilson da Penha Pachêco<sup>2</sup>  
Juliana Lyra Teixeira <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Fundação Joaquim Nabuco - Fundaj  
Diretoria de Pesquisas Sociais - DIPES  
Coordenação-Geral de Estudos Ambientais e da Amazônia – CGEA  
Rua Dois Irmãos, 92 - Apipucos – 52071-0440 – Recife - Pernambuco, Brasil  
neison.freire@fundaj.gov.br  
julianaLyra7@gmail.com

<sup>2</sup> Universidade Federal de Pernambuco – UFPE  
Centro de Tecnologia e Geociências – CTG  
Departamento de Engenharia cartográfica - DECart  
Av. Acadêmico Hélio Ramos,s/n - 2º andar – Cidade Universitária  
50740-530 – Recife – Pernambuco, Brasil  
admilpp@ufpe.br

**Abstract** 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 satellite images and current demographic data, a methodology was established to detect areas, which are degraded or prone to desertification in the six areas surrounding the Xingó Hydroelectric 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.

**Keywords:** Desertification, Remote Sensing, Caatinga, environmental degradation, Northeastern Brazil, desertificação, Sensoriamento Remoto, Caatinga, degradação ambiental, Nordeste do Brasil.

## 1. Introdução

Sabe-se que a degradação ambiental crescente no semi-árido brasileiro, o frágil equilíbrio do ecossistema da caatinga, o regime inconstante das chuvas, os solos 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. 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.

Desse modo, esta pesquisa adotou um conjunto de dados que permitiram o desenvolvimento de uma metodologia para a pesquisa sobre a desertificação no semi-árido nordestino, ao processar, extrair e cruzar dados espectrais com dados de setores censitários rurais oriundos dos censos demográficos, em séries temporais correlatas, abrangendo o período de 1989 a 2003. O estudo abrangeu a área de seis municípios mais próximos ao lago da Usina Hidrelétrica de Xingó, no Baixo São Francisco, entre os estados de Alagoas e Sergipe.

## 2. Metodologia

Inicialmente, foram solicitados ao CPTEC/INPE os dados referentes às médias mensais pluviométricas da área de estudo (figura 1), no período de 1978 a 2003. Uma vez que esses dados 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, além de que a escolha da cena teria de levar em consideração a pouca cobertura de nuvens (<10% para toda a cena).

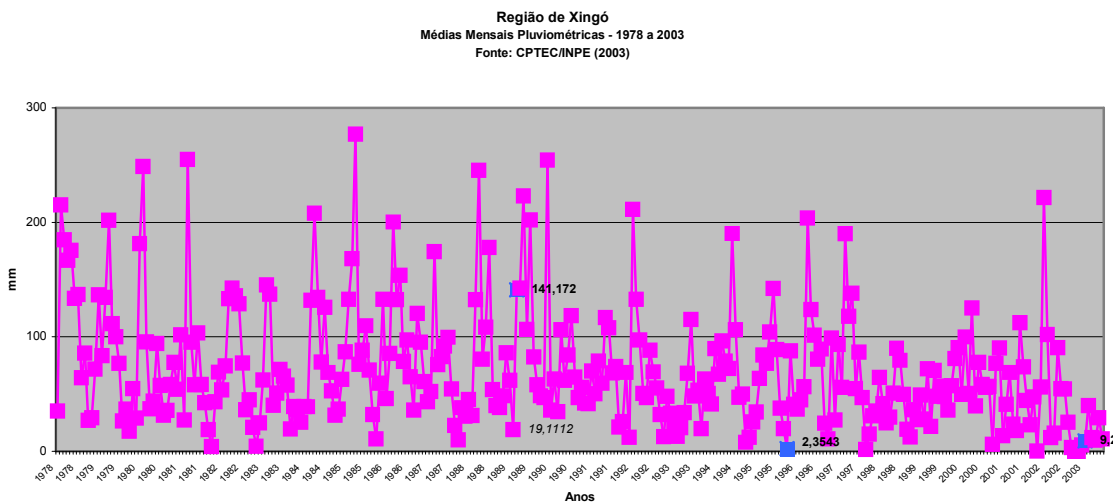


Figura 1 – Gráfico com os dados de médias mensais pluviométricas da Região de Xingó e datas escolhidas das imagens (azul).

Fonte: Adaptado de CPTEC/INPE, 2003.

Após pesquisa junto ao banco de imagens LandsAT do INPE, verificou-se a disponibilidade de datas para a cena/órbita 215/067. Assim, as datas escolhidas foram: 11/03/89, 06/10/95 e 05/01/03.

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+.

## 2.1 Processamento dos Dados

Ao iniciar o processamento das imagens orbitais no programa computacional *Spring 6.3*, utilizaram-se Transformações Polinomiais e foi realizado o registro ou georreferenciamento das imagens originais, cujos pontos de controle foram obtidos a partir de coordenadas retiradas das cartas analógicas do Mapeamento Sistemático do Brasil, na escala de 1:100.000. No total, foram inseridos 17 pontos, sendo considerados os 10 melhores em termos de erro sistemático. Utilizou-se o interpolador Vizinho + Próximo, pois este permite um processamento mais rápido e não cria novos valores de NC's (níveis de cinza) segundo CRÓSTA (1993).

Assim, uma vez georreferenciadas todas as cenas, suas respectivas bandas espectrais foram importadas para os devidos Planos de Informações, dentro do *Spring*. O passo seguinte foi a importação vetorial do limite da área de estudo como observada na figura 2.

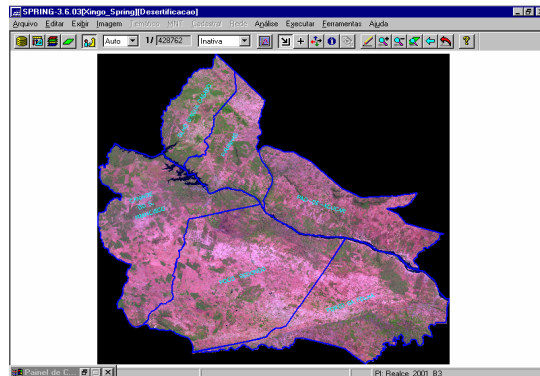


Figura 2 – Recorte geográfico nas cenas originais, delimitando a área de estudo: o leito do rio São Francisco e os limites municipais (Data: 06/10/95).

Uma vez que as imagens estavam georreferenciadas e recortadas, iniciaram-se as técnicas de PDI (Processamento Digital de Imagens), 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 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 foram RGB 321 e RGB 543.

O primeiro conjunto de técnicas de realce utilizado refere-se ao Realce de Contraste: Manipulação de Histograma (Linear e Equalização) e Filtragem Linear (Realce de Imagem TM e Filtro de Passa - Alta). Dessas técnicas 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 ter modificado os valores espectrais originais.

Foram testadas e avaliadas as técnicas de PDI referentes às Transformações Multiespectrais, objetivando-se uma avaliação espectro-temporal de imagens co-registradas. As técnicas avaliadas foram: Razão entre bandas, Componentes Principais e Transformação RGB → IHS.

Três técnicas de razão entre bandas foram testadas: 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 3).

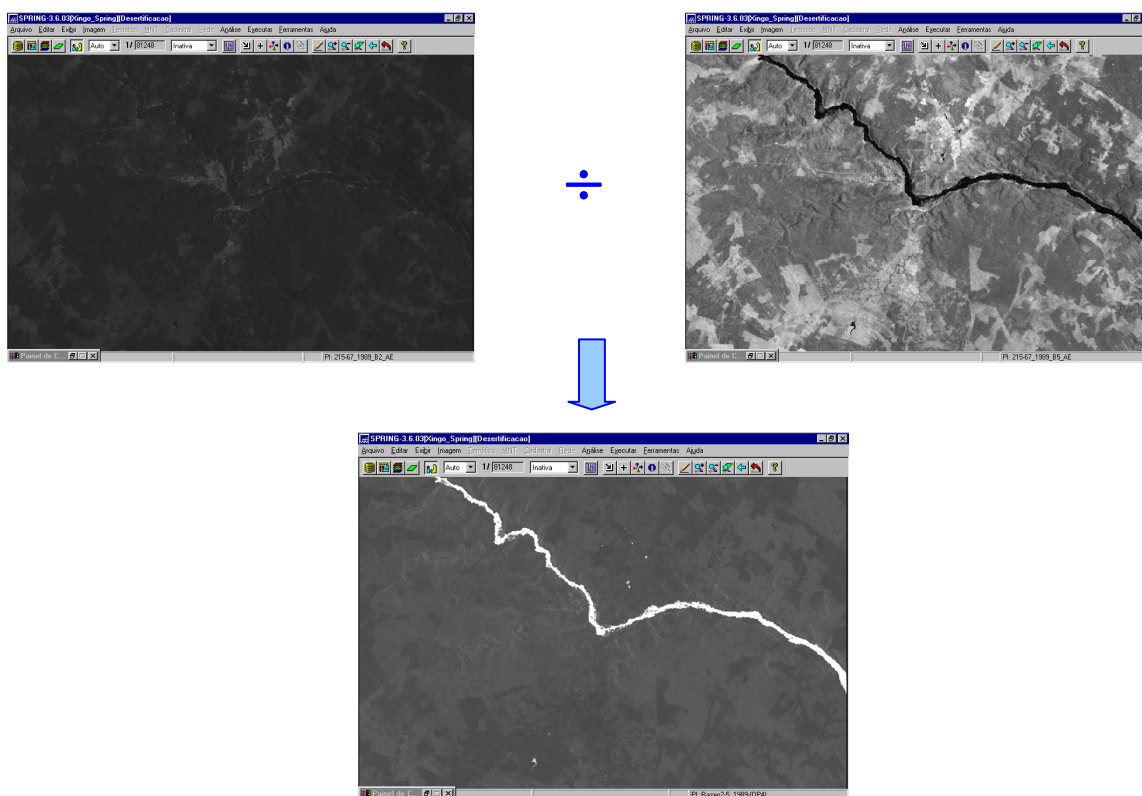


Figura 3 – Razão entre as bandas TM 2 e TM 5 para detecção de corpos d'água: excelentes resultados com a perfeita identificação do leito do rio São Francisco e outros pequenos corpos d'água (em branco); (Data: 11/03/89).

As bandas NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) de 1989 e 2003 foram, então, utilizadas com o objetivo de detectar mudanças de padrão da cobertura do solo no período. Ao realizar a razão entre essas bandas, antes igualando a média e a variância, resultou numa nova banda espectral que identificou 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.

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.

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.

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.

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.

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  $\geq 95\%$  para cada data pesquisada. Isto garantiu a qualidade das amostras para a posterior classificação. 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.

As classes foram quantificadas em termos de área e processadas através de planilha eletrônica, obtendo-se o gráfico exposto na figura 4.

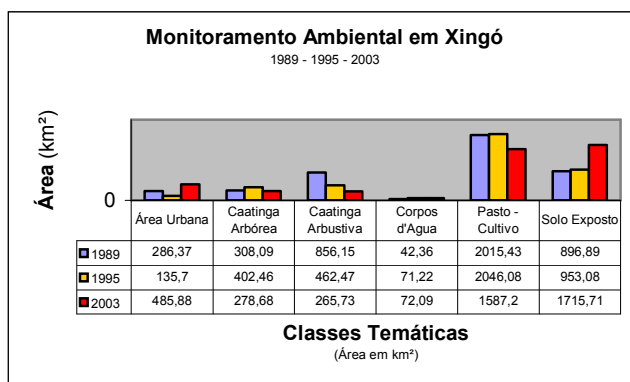


Figura 4 – Quantificação das classes temáticas em 1989, 1995 e 2003.

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 Figura 5 ilustra um fluxograma da programação desenvolvida em LEGAL: os dados de entrada, o processamento em LEGAL e a saída gráfica da Análise Espacial.

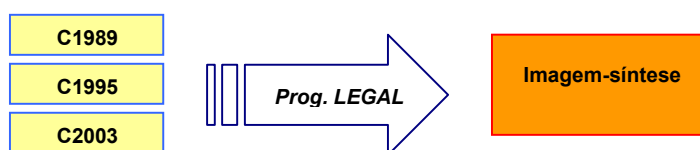


Figura 5 – Diagrama da Análise Espacial para o período 1989 – 1995 – 2003: dados de entrada com as imagens classificadas, a programação em LEGAL e a saída gráfica como uma imagem-síntese da Análise Espacial.

Nesta etapa 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. O resultado em termos espaciais pode ser visto na figura 6.

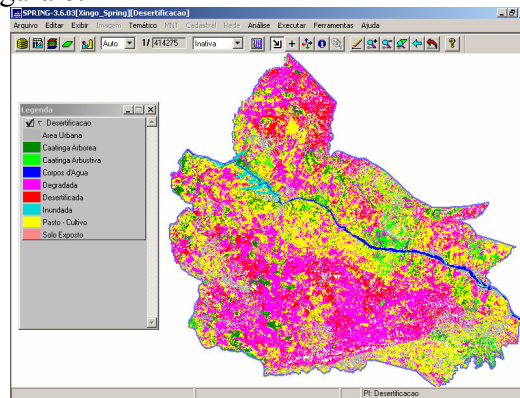


Figura 6 – Imagem-síntese gerada em LEGAL, a partir dos dados das imagens classificadas de 1989, 1995 e 2003: observa-se a expressiva degradação ambiental ocorrida no período (na cor magenta), a redução significativa da caatinga em decorrência do aumento das pastagens e áreas agrícolas e da ocorrência de processos de desertificação (na cor vermelha), principalmente na margem direita do rio São Francisco (SE).

## 2.2 Mapeamento Temático:

Para complementar a análise, foi desenvolvido um SIG (Sistema de Informação Geográfica) 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).

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

Logo após, utilizou-se o método da IMOV (Média Móvel), que é uma técnica que explora o valor médio  $\mu_i$  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 o reservatório (Figura 7).

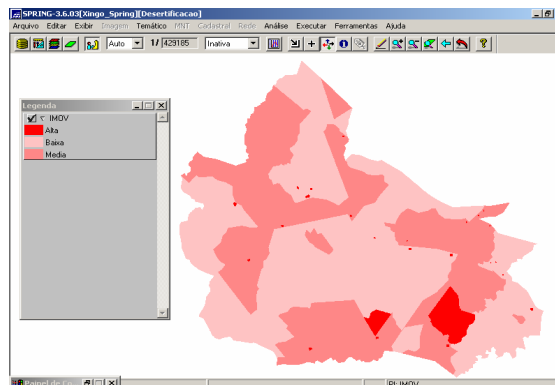


Figura 7 – Mapa Temático: Densidade Demográfica em 2000, pelo método de Média Móvel, na área de estudo.

### 3. Resultados e Discussões

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

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

Observou-se uma forte correlação entre as modificações temporais referentes aos dados de solo exposto e áreas agropastoris no período estudado, onde, ao aumento de solo exposto, correspondeu a uma diminuição das áreas agrícolas ou de pastagem. Por outro lado, a diminuição da cobertura vegetal natural da caatinga, correspondeu ao aumento das áreas de solo exposto na Região de Xingó. Assim, não há uma correlação entre o desmatamento e aumento das áreas agropastoris.

Das classes naturais, a caatinga arbustiva foi a que mais regrediu em termos de área. Isso se explica, principalmente, pelo seu porte lenhoso e conseqüente recurso energético para as populações rurais, além da necessidade de novas áreas agrícolas.

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

As áreas urbanas tiveram uma grande 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.

Verificou-se que as áreas de risco quanto à desertificação na Região de Xingó apresentou 849,93 km<sup>2</sup> de áreas consideradas especial; 770,48 km<sup>2</sup> caracterizada com grave risco e 214,96 km<sup>2</sup> com risco muito grave ao processo de desertificação.

### 4. Conclusões

De modo 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 bioma Caatinga foi bastante atingido pelo desmatamento, especialmente onde apresentava espécies comercialmente mais rentáveis, ora para compor a matriz energética, ora para a construção civil ou para a conquista de novas áreas de pastagem extensiva.

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 km<sup>2</sup>, sendo reduzida para 265,73 km<sup>2</sup> 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. 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 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 km<sup>2</sup> da área de estudo, a análise-síntese mostrou que cerca de 215 km<sup>2</sup> 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 km<sup>2</sup> 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.

## 5. 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 ao Prof. Dr. Admilson da Penha Pachêco, orientador acadêmico; 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; 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.

## 7. Referências

- 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.
- Araújo, A.; Santos, M.; Meunier, I.; Rodal, M. **Desertificação e Seca**. Recife: Gráfica e Editora do Nordeste Ltda., 2002. 63 p.
- Crôsta, A. **Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto**. Campinas, SP: IG/UNICAMP, 1993. 170 p.
- 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**. 2<sup>a</sup>. 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
- 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.
- 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.
- Matallo, H. **A Desertificação no Mundo e no Brasil**. In: SCHENKEL, C. S. & MATALLO, H. (org.). *Desertificação*. Brasília, DF: UNESCO, 1999. p. 9-25.
- Sampaio, E.; Sampaio, Y. **Desertificação**. Recife, PE: Editora Universitária UFPE, 2002. 85 p.
- Vasconcelos Sobrinho, J. **Metodologia para Identificação de Processos de Desertificação – Manual de Indicadores**. Recife, PE: SUDENE, 1978. 18 p.