



AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO AMBIENTAL
NA REGIÃO DO ARARIPE PERNAMBUCANO
UTILIZANDO TÉCNICAS DE
SENSORIAMENTO REMOTO

IVAN IGHOUR SILVA SÁ



IVAN IGHOUR SILVA SÁ

**AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO AMBIENTAL NA REGIÃO DO
ARARIPE PERNAMBUCANO UTILIZANDO TÉCNICAS DE
SENSORIAMENTO REMOTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Pernambuco, como parte das exigências para obtenção do título de *Mestre em Geografia*.

Orientadora: Josicleda Domiciano Galvínio

Co-orientadora: Magna Soelma Beserra de Moura

**RECIFE
PERNAMBUCO – BRASIL
2010**

Sá, Ivan Ighour Silva

Avaliação da degradação ambiental na região do Araripe pernambucano utilizando técnicas de sensoriamento remoto / Ivan Ighour Silva Sá. – Recife: O Autor, 2010.

65 folhas : il., fig., gráf., tab.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CFCH. Geografia, 2010.

Inclui: bibliografia.

1. Geografia. 2. Degradação ambiental. 3. Vegetação - Mapeamento. 4. Sensoriamento remoto - Região do Araripe (PE). I. Título.

**911
910**

**CDU (2. ed.)
CDD (22. ed.)**

**UFPE
BCFCH2010/30**

IVAN IGHOUR SILVA SÁ

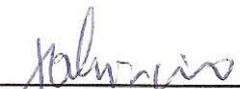
**AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO AMBIENTAL NA REGIÃO DO
ARARIPE PERNAMBUCANO UTILIZANDO TÉCNICAS DE
SENSORIAMENTO REMOTO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Pernambuco, como parte das exigências para obtenção do título de *Mestre em Geografia*.

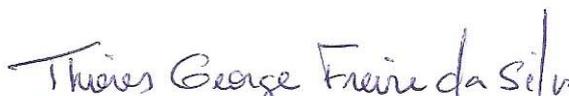
APROVADA EM: 26/02/2010



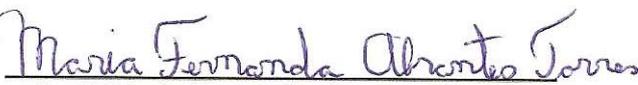
Pesq. Dra. Magna Soelma Beserra de
Moura
(Co-orientadora)
Embrapa Semiárido



Prof. Dra. Josicleida Domiciano Galvínio
(Orientadora)
Depto de Ciências Geográficas-UFPE



Prof. Thieres George Freire da Silva
Universidade Federal Rural de
Pernambuco - UFRPE



Prof. Maria Fernanda Abrantes Torres
Depto de Ciências Geográficas-UFPE

DEDICO

Aos meus Pais, Ivan Sá Filho e Lindalva Ana da Silva Sá,
pelo carinho, amor e dedicação durante toda a minha vida.

À minha Irmã Luanna Angélica,
pelo companheirismo e amizade.

À minha Filha Lorena Costa Sá,
pelo carinho, amor e felicidade
que me proporciona quando estamos juntos.

A todos meus verdadeiros amigos.

AGRADECIMENTOS

Ao Pai Celestial,
simplesmente pela dádiva da vida,
que está sendo percorrida com fé e amor ao próximo.

Às minhas orientadoras Josicleda Domiciano Galvêncio e
Magna Soelma Beserra de Moura, pelo respeito, amizade,
compreensão e competência durante o desenvolvimento deste trabalho.

À Universidade Federal de Pernambuco e à Embrapa Semiárido,
por disponibilizar a estrutura de ensino e pesquisa.

À Juliana Souza de Abreu, pelo carinho, compreensão
e companhia durante a elaboração deste trabalho.

À FACEPE, pelo incentivo financeiro.

Muito Obrigado!!!

SUMÁRIO

RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
APRESENTAÇÃO DA DISSERTAÇÃO	ix
INTRODUÇÃO	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	2
OBJETIVOS	3
Objetivo principal	3
Objetivos específicos	3
CAPÍTULOS	4
CONSIDERAÇÕES FINAIS	56

CAPÍTULO 1

ANÁLISE DA COBERTURA VEGETAL E USO DA TERRA NA REGIÃO ARARIPE PERNAMBUCANO COM BASE NO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI)	4
1. INTRODUÇÃO	5
2. MATERIAIS E MÉTODOS	7
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	11
4. CONCLUSÕES	26
5. AGRADECIMENTOS	26
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26

CAPÍTULO 2

AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO AMBIENTAL NA REGIÃO DO ARARIPE PERNAMBUCANO UTILIZANDO TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO	30
1. INTRODUÇÃO	31
2. MATERIAIS E MÉTODOS	33
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	41
4. CONCLUSÃO	52
5. AGRADECIMENTOS	52
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52

RESUMO

SÁ, IVAN IGHOOR SILVA, M.Sc., Universidade Federal de Pernambuco-UFPE, Março de 2010. Avaliação da **degradação ambiental da Região do Araripe Pernambucano utilizando Técnicas de Sensoriamento Remoto**. Orientadora: Josiclea Domiciano Galvêncio. Co-orientadora: Magna Soelma Beserra de Moura.

O presente estudo se desenvolveu nos municípios de Araripina, Bodocó, Ipubi, Ouricuri e Trindade, que formam o pólo gesseiro do Araripe e estão localizados no extremo oeste do Estado de Pernambuco. A hipótese que orientou este trabalho foi a de que a degradação da vegetação nessa região está desencadeando processos de desertificação. O objetivo geral deste trabalho, foi então, analisar a degradação ambiental na região do Araripe pernambucano utilizando técnicas de sensoriamento remoto. Para se avaliar a degradação, foram levantados os dados de estágio atual da vegetação, bem como as mudanças ocorridas entre os anos de 1998 e 2008. O estágio atual foi identificado a partir da estimativa do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada-IVDN com validação por meio do levantamento de campo, enquanto que a mudança no ambiente foi obtida a partir do método de análise por componentes principais (ACP). Foi possível observar que na região encontram-se as fisionomias Savana Estépica nas suas fácies florestada e arborizada, as áreas de contato de vegetação do tipo Savana, Savana Estépica e Floresta Estacional, além das áreas onde essas fisionomias se encontram em regeneração, e as áreas de agropecuária. A precisão do mapeamento da cobertura vegetal foi satisfatória, apresentando uma estatística Kappa da ordem de 0,78. Os remanescentes de vegetação são da ordem de 50% do território da região, enquanto que as áreas em regeneração e a agropecuária ocupam 49%. Proporcionalmente o município que apresenta maior cobertura vegetal é o de Trindade, enquanto que Ouricuri tem a maior quantidade. Estas fisionomias se apresentam na forma rala, semi-rala, semi-densa e densa promovendo diferentes níveis de cobertura do terreno. Através da ACP pôde-se constatar que o desmatamento na região é da ordem de 1.143,74 km² (16,14%), enquanto que 1.119,77 km² (15,80%) da cobertura vegetal encontram-se em estágio de regeneração. As classes mapeadas com processo de desertificação na região do Araripe pernambucano estão assim distribuídas: 9,9 km² (0,13%) com grau muito severo, 953,15 km² (13,46%), severo, 2.057,87 km² (29,05%), moderado e 4.063,43 km² (57,36%), fraco.

Palavras-Chave: Geografia Degradação Ambiental Vegetação Mapeamento
Sensoriamento Remoto – Região do Araripe

ABSTRACT

SÁ, IVAN IGHOUR SILVA, Master., Universidade Federal de Pernambuco, March of 2010.
Evaluation of the environmental degradation of the Region “Araripe pernambucano” using techniques of remote sensing. Professor: Josicleda Domiciano Galvêncio and Magna Soelma Beserra de Moura.

The present study it developed in the municipal districts of Araripina, Bodocó, Ipubi, Ouricuri and Trindade, that form the “Pólo gesseiro do Araripe” and they are located in the extreme west of the State of Pernambuco. The hypothesis that guided this work went the one that to degradation of the vegetation in that area is unchaining desertification processes. The general objective of this work, was then, to analyze the environmental degradation in the area of Araripe from Pernambuco using techniques of remote sensing. To evaluate the degradation, they were lifted up the data of current stadium of the vegetation, as well as the changes among the years of 1998 and 2008. The current stadium was identified starting from the estimate of the Index of Vegetation by Difference Normalize-NDVI with validation by means of the field rising, while the change in the land was obtained starting from the analysis method by principal components (ACP). It was possible to observe that in the area meet the physiognomies Estepic Savanna florested and arboreous, the areas of contact of vegetation of the type Savanna, Estepic Savanna and Deciduos Forest, besides the areas where those physiognomies meet in regeneration, and the areas of agricultural. The precision of the mapping of the vegetable covering was satisfactory, presenting a statistical Kappa of the order of 0,78. The vegetation remainders are of the order of 50% of the territory of the area, while the areas in regeneration and the agricultural occupy 49%. In proportion the municipal district that presents larger vegetable covering is it of Trinidad, while Ouricuri has the largest amount. These physiognomies come in the thin form, it semi-grates, semi-dense and dense promoting different levels of covering of the land. Through ACP it could be verified that the removal of the vegetable covering in the area is of the order of 1.143,74 km² (16,14%), while 1.119,77 km² (15,80%) of the vegetable covering they meet in regeneration stadium. The classes mapping with desertification process in the area of Araripe from Pernambuco is like this distributed: 9,9 km² (0,13%) with very severe degree, 953,15 km² (13,46%), severe, 2.057,87 km² (29,05%), moderate and 4.063,43 km² (57,36%), weak.

Key word: Geographic Enviromental Degradation Vegetation Mapping
Remote Sensing - The Araripe’s Regions

APRESENTAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Esta dissertação é apresentada em dois capítulos. No primeiro foi realizada uma caracterização da cobertura vegetal da região do Araripe pernambucano, com base na classificação não-supervisionada do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN), composição colorida, levantamentos da verdade terrestre e dados encontrados na literatura. Neste capítulo foram identificadas espécies da flora que foram encontradas em cada classe mapeada, e que corroboraram para mostrar a intervenção antrópica sobre a cobertura vegetal. O resultado deste capítulo é o mapeamento da cobertura vegetal, e a tipificação da intervenção antrópica sobre a região de forma satisfatória, bem como a quantificação de cada classe mapeada por municípios. Este capítulo foi submetido à MERCATOR, Revista Eletrônica de Geografia da Universidade Federal do Ceará-UFC.

Com base nos resultados de cobertura vegetal obtidos no primeiro capítulo, e ainda estimando-se as mudanças ocorridas na paisagem da Região do Araripe com base no método de Análise por componentes principais seletivas, foi então realizado o segundo capítulo, que trata da avaliação dos riscos de desertificação da Região do Araripe pernambucano. Com este capítulo obteve-se a espacialização da densidade da cobertura vegetal para a Região. Foi possível constatar que a cobertura vegetal promove proteção do solo em quatro níveis. Outro resultado obtido com este trabalho foi à espacialização e a quantificação do desmatamento, e das áreas em processos de regeneração para cada município da Região.

O principal resultado do segundo capítulo é a espacialização e a quantificação dos riscos de desertificação, obtidos por meio do cruzamento das informações da cobertura do terreno e da espacialização da dinâmica do ambiente.

Por fim, fazem-se considerações acerca de cada classe de degradação, propondo alternativas que promovam o desenvolvimento sustentável da região.

1. INTRODUÇÃO

De forma geral, as regiões semiáridas estão caracterizadas pelo desequilíbrio entre a oferta e a demanda de recursos naturais tão necessários às populações que nelas residem. Essas regiões apresentam feições variadas em função do clima, solo, vegetação e relações humanas de produção. Este desequilíbrio é exercido pela necessidade de sobrevivência do homem, que por meio do uso inapropriado da terra tem causado tanto a degradação do solo e da vegetação, quanto à perda de diversidade biológica afetando toda a estrutura do seu ecossistema (MMA, 2004).

A região de desenvolvimento do Araripe, semiárido do Brasil, é constituída por dez municípios e está localizada no Sertão pernambucano. A principal atividade econômica da região é caracterizada pela exploração de gipsita no Pólo Gesseiro do Araripe, especificamente nos municípios de Araripina, Bodocó, Ipubi, Ouricuri e Trindade. A gipsita é um mineral que a partir do processo de calcinação é transformado em gesso. Estima-se que 40% das reservas de gipsita do mundo estejam concentradas nesta área. A economia dessa região baseia-se ainda em culturas de subsistência nas áreas de sequeiro, na pecuária extensiva, na agricultura, na apicultura e na exploração dos recursos florestais (SECTMA, 2007).

A cadeia produtiva do Pólo Gesseiro do Araripe possui 47 mineradoras, 72 calcinadoras e 193 indústrias de artefatos, sendo responsável pela geração de milhares de empregos tanto de forma direta como indireta (SINDUSGESSO, 2008).

A matriz energética do Pólo Gesseiro do Araripe é composta pela eletricidade, derivados do petróleo e lenha. A eletricidade é utilizada em todas as etapas do processo produtivo do gesso. Porém, a lenha apesar de ser apenas utilizada no processo de calcinação, ainda explorada intensivamente por métodos predatórios que causam degradação ambiental comprometendo a fauna e a flora da região, é a principal fonte de energia do setor (CUNHA et al., 2008).

O Pólo Gesseiro consome em torno de 1,1 milhão de m³ de lenha proveniente quase que exclusivamente da vegetação nativa que representa 56% do total consumido na Região do Araripe em Pernambuco. Desta forma, as atuais atividades do Pólo Gesseiro do Araripe concorrem de maneira determinante para o agravamento dos problemas ambientais relacionados ao uso da cobertura vegetal como fonte de biomassa para geração de energia (EMBRAPA, 2006). Ainda, pode-se ressaltar que a velocidade da degradação pela qual está

passando os recursos naturais renováveis da região do Pólo Gesseiro do Araripe demonstra a forma pouco responsável de utilização pelo homem.

Neste sentido, visando contribuir com o aumento do conhecimento científico no que diz respeito à Região do Araripe Pernambucano, o presente trabalho se propôs a estudar a degradação ambiental nesta região, buscando com esse conhecimento fornecer informações aos órgãos competentes para que se possam ser elaboradas políticas públicas de desenvolvimento sustentável. Este trabalho se baseia na hipótese de que a degradação ambiental resultante da atividade local tem desencadeado processos de desertificação na região.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CUNHA, A. B. da.; CASTRO BARBOSA, M. S. de.; CASTRO FELISMINO, D. de.; Consumo de lenha na calcinação da gipsita e impactos ambientais no pólo gesseiro da mesorregião do Araripe-PE. **Revista de Biologia e Farmácia**, Campina Grande, v. 02, n.1, 2008.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Aumento da Oferta de Matéria-Prima de Base Florestal Sustentável para o Desenvolvimento Sócio-Econômico da Região do Araripe**. Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Semi-Árido. Drumond, M.A. Recursos Florestais/Agroenergia. Petrolina, Brasil, 2006.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS. **Programa de ação nacional de combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca**. Brasília, MMA, agosto, 2004.

SECRETARIA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA E MEIO AMBIENTE. PERNAMBUCO. **Região do Araripe**: Pernambuco - diagnóstico florestal. Brasília, DF: MMA: UNESCO, 2007. 79p. il.

SINDUSGESSO, disponível em www.sindusgesso.org.br acessado em 12/11/2008;

2. OBJETIVOS DO TRABALHO

2.1. Objetivo principal

O objetivo geral deste trabalho é analisar a degradação da cobertura vegetal na Região do Araripe pernambucano utilizando técnicas de sensoriamento remoto.

2.1.1. Objetivos específicos.

- Avaliar variações de precipitação e temperatura na área de estudo.
- Caracterizar a cobertura vegetal com base no Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN).
- Realizar levantamentos florísticos na área de estudo.
- Aplicar a técnica de detecção de mudança em imagens de satélite por meio de análise por componentes principais.
- Mapear os remanescentes de vegetação e das áreas degradadas.
- Quantificar os remanescentes de vegetação das áreas degradadas

CAPÍTULO 1

ANÁLISE DA COBERTURA VEGETAL E USO DA TERRA NA REGIÃO DO ARARIPE PERNAMBUCANO COM BASE NO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (IVDN)

RESUMO – O presente estudo foi desenvolvido nos municípios de Araripina, Bodocó, Ipubi, Ouricuri e Trindade. Estes municípios formam o pólo gesseiro do Araripe e estão localizados no extremo oeste de Pernambuco. Essa região sofre intensas modificações em sua paisagem pela remoção da cobertura vegetal para a utilização da lenha nas calcinadoras da região bem como para práticas agrícolas tradicionais. O objetivo deste estudo foi analisar a cobertura vegetal desta região com base na classificação não-supervisionada do índice de vegetação por normalizada (IVDN) e levantamentos de campo. Na região de desenvolvimento do Araripe encontram-se as fisionomias Savana Estépica nas suas fácies Florestada e Arborizada, localizadas na Unidade de Paisagem da Depressão Sertaneja; as áreas de contato de vegetação do tipo Savana, Savana Estépica e Floresta Estacional estão situadas na Chapada do Araripe; e finalmente as áreas onde essas fisionomias se encontram em regeneração e as áreas de agropecuária. A precisão do mapeamento foi satisfatória apresentando uma estatística Kappa da ordem de 0,78. Os remanescentes de vegetação são da ordem de 50% para a região, enquanto que as áreas em regeneração e a agropecuária ocupam 49% da região. Proporcionalmente o município que apresenta maior cobertura vegetal é o de Trindade (75,77%) enquanto que Ouricuri tem a maior quantidade 1.047,60 km².

PALAVRAS-CHAVE: Mapeamento, Região do Araripe, Cobertura Vegetal

ABSTRACT - The present study was developed in the municipal districts of Araripina, Bodocó, Ipubi, Ouricuri and Trindade. These municipal districts form the “Poló Gesseiro” of Araripe and they are located in the extreme west of Pernambuco. That area suffers intense modifications in its landscape for the removal of the vegetable covering for the use of the firewood in the manufacture of plaster of the area as well as for traditional agricultural practices. The objective of this study went analyze to vegetable covering of this area with base in the no-supervised classification of the vegetation index for having normalized (NDVI) and field risings. In the area of development of Araripe they meet the physiognomies Estepic Savanna Forested and Arboreous, located in the unit of landscape of the “Depressão sertaneja”; the areas of contact of vegetation of the type Savanna, Estepic Savanna and Deciduos Forest are placed in plated it of Araripe; and finally the areas where those physiognomies meet in regeneration and the areas of agricultural. The precision of the mapping was satisfactory presenting a statistical Kappa of the order of 0,78. The vegetation remainders are of the order of 50% for the area, while the areas in regeneration and the agricultural occupy 49% of the area. In proportion the municipal district that presents larger vegetable covering is it of Trinidad (75,77%) while Ouricuri has the largest amount 1.047,60 km².

KEYWORDS: Mapping, Região Araripe, vegetable covering.

1. INTRODUÇÃO

O termo uso da terra denota a forma pela qual o espaço está sendo ocupado, quer por aspectos naturais quer por atividades antrópicas. Em se tratando destas atividades, os fatores sociais e econômicos são os que determinam a dinâmica do uso da terra (TURNER, et al., 1996; WEAR et al., 1996; PAN et al., 2001; HIETEL et al., 2004).

Os estudos relacionados ao uso da terra subsidiam então informações para criação de um banco de dados que possibilitam melhorias na utilização do espaço regional, dá indicações sobre a tradição e sobre os conhecimentos empíricos arraigados na cultura dos lavradores e suas ações perante o meio ambiente em que vivem (calendário agrícola, práticas agrícolas adotadas, variedades plantadas). Já a cobertura vegetal dá uma idéia de como o ecossistema se apresenta na atualidade, além de permitir em perspectivas futuras, o uso e a conservação do meio estudado (RIBEIRO et al., 2008).

Existem diversas maneiras e métodos para o levantamento do uso da terra. Os métodos convencionais são mais onerosos e demandam grandes períodos de tempo para sua realização, diferentemente dos métodos modernos como, por exemplo, das fotografias aéreas e imagens de satélite, que proporcionam reduções significativas de tempo e economia no tocante ao custo (FERREIRA et al., 2001). Assim, as técnicas de sensoriamento remoto, tornam-se alternativas imprescindíveis quando se pretende estudar áreas relativamente grandes.

Por exemplo, Teotia et al. (2001) utilizaram imagens do sensor HRV (High Resolution Visible) do SPOT (Système Pour l'Observation de La Terre) para realização de estudos temáticos de uso da terra e da cobertura vegetal, e para a classificação do solo na região semiárida do Piauí.

Azambuja Madruga (2004) utilizou imagens do sensor *Thematic Mapper* (TM) do satélite LANDSAT para mapeamento de uso da terra, onde diferenciou os diversos tipos de cobertura vegetal natural e antrópica em áreas do Estado do Rio Grande do Sul, utilizando a classificação supervisionada.

Barbosa et al. (2007) realizaram uma análise da dinâmica do uso das terras entre os anos de 1987 e 2003 com imagens do LANDSAT 5, a partir de algumas técnicas de sensoriamento remoto e com base na cobertura do solo avaliaram a degradação das terras do município de Picos-PI.

Ribeiro et al. (2008), também utilizando imagens do sensor TM do LANDSAT 5 e técnicas de interpretação visual e levantamentos de campo, obtiveram o mapa de uso atual da terra dos municípios de Pocinhos e Puxinanã, ambos localizados no agreste Paraibano.

Souza et al. (2008), utilizando imagens de satélite do LANDSAT 5 e técnicas de geoprocessamento realizaram um estudo da evolução temporal da cobertura vegetal dos municípios de Boa Vista-PB, chegando à conclusão que a cobertura vegetal deste município foi reduzida ao longo do período de 1987 a 2004. Barbosa et al. (2009) também realizaram um estudo da cobertura vegetal e uso agrícola do solo utilizando imagens do LANDSAT 5 para o município de Lagoa Seca-PB. Sá et al. (2009) realizaram o mapeamento e caracterização da cobertura vegetal da Bacia Hidrográfica do São Francisco utilizando imagens do sensor ETM+ (Enhanced Thematic Mapper Plus) do LANDSAT 7, com base na interpretação visual das imagens e do IVDN – Normalized Difference Vegetation Index.

Dentre as técnicas mais utilizadas tem-se o IVDN que é um produto de sensoriamento remoto usado para avaliar tanto a variação espacial quanto à temporal das condições da vegetação e da dinâmica dos ecossistemas (PERRY & LAUTENSCHLAGER, 1984; COHEN, 1991). Este é o índice de vegetação mais utilizado nos estudos sobre a cobertura vegetal. Segundo Karniely et al. (1996), este índice, além de possibilitar o estudo da dinâmica do ecossistema, também pode ser utilizado nos estudos de mudanças do uso da terra, desertificação e processos de mudanças climáticas em escala regional e global.

Sá et al. (2000), utilizando o IVDN como indicador de degradação ambiental por meio de análise temporal, demonstraram que a frequência da ocorrência dos valores baixos do NDVI teve um considerável aumento nas zonas de menor densidade de cobertura vegetal, que estão associadas às estruturas antrópicas e sua vizinhança, ao passo que foi observado um aumento das frequências de valores altos do IVDN, indicando uma expressiva melhora nas zonas de maior densidade de cobertura vegetal, normalmente associadas às áreas florestais.

Segundo Liu (2007), o objetivo dos índices de vegetação é condensar as informações espectrais e discriminar o que é vegetação e não vegetação, com a vantagem de corrigir parcialmente os efeitos das variações locais das condições atmosféricas e das variações de ângulo de visada.

Segundo Barbosa et al. (2006), tornou-se imperativo a utilização do NDVI no mapeamento da cobertura do solo, bem como está sendo amplamente explorado em estudos e projetos de investigação e desenvolvimento relacionados com o monitoramento global da vegetação. Praticamente todos os estudos realizados sobre o tema uso da terra têm o objetivo

de mapear o estádio atual e as alterações na paisagem. Desta forma, estes estudos têm grande importância na região Nordeste do Brasil, pois é fortemente sustentada da exploração dos recursos naturais, principalmente no que se refere ao extrativismo da cobertura vegetal, o superpastejo de áreas nativas e a exploração agrícola sem qualquer tipo de preocupação conservacionista (SAMPAIO & SALCEDO, 1997).

Um exemplo deste tipo de exploração ocorre na Região de desenvolvimento do Araripe pernambucano, uma vez que o processo de produção de gesso desta região utiliza lenha proveniente da caatinga, muitas das vezes oriundas de desmatamento ilegal.

Assim, esta atividade tem relação intrínseca com a problemática ambiental causada pela remoção de cobertura vegetal nativa - caatinga. Face ao exposto este estudo tem como objetivo analisar a cobertura vegetal da Região do Araripe Pernambucano a partir do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) e visitas de campo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Caracterização da área de estudo

Este estudo foi realizado nos municípios de Araripina, Bodocó, Ouricuri, Trindade e Ipubi, no Estado de Pernambuco, que formam o pólo gesseiro do Araripe Pernambucano, totalizando 7.082,86 km², que representam 7,20% da área total do Estado de Pernambuco. O município de Ouricuri é o maior deles e ocupa 33,55% da região estudada (Figura 1).

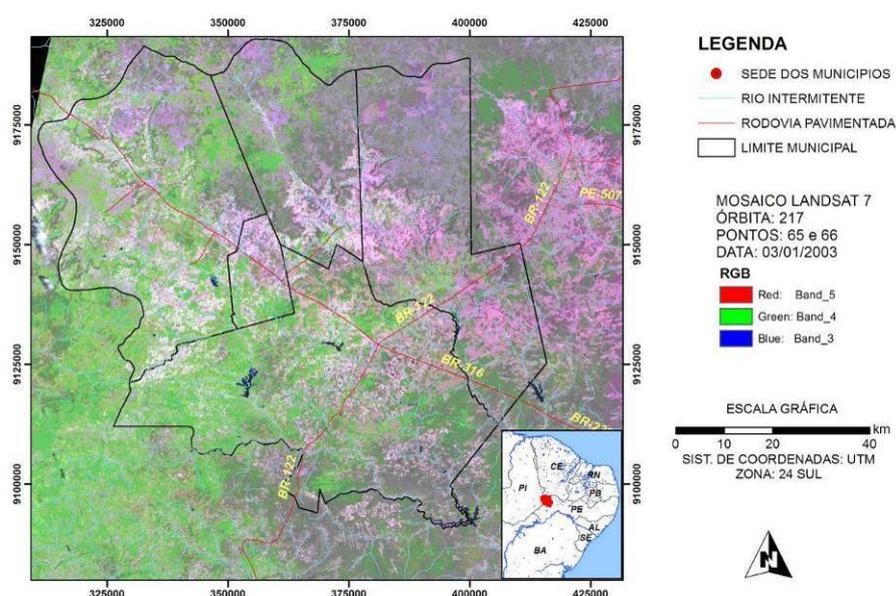


Figura 1. Localização da área de estudo.

A região de estudo está contida no Bioma Caatinga e, segundo Giuliatti et al. (2004) é uma área de extrema importância biológica com necessidade de conservação da sua flora, pois se trata de uma região de mosaicos vegetacionais.

A Caatinga é classificada pelo IBGE como Savana Estépica. Este termo foi empregado no Brasil para designar a área do “sertão árido nordestino” com dupla estacionalidade, possuindo dois períodos secos anuais, um com longo déficit hídrico seguido de chuvas intermitentes e outro com seca curta, seguido de chuvas torrenciais que podem faltar durante anos (IBGE, 1992).

De acordo com o Zoneamento Agroecológico do Estado de Pernambuco, realizado na escala de 1:100.000 (ZAPE, 2004), na região do Araripe existem nove classes de solos: Neossolo Flúvico, cambissolo háplico, latossolo amarelo, luvissole crômico, argissolo amarelo, argissolo solódico, argissolo vermelho-amarelo, neossolo litólico e vertissolos distribuídos nos cinco municípios (Figura 2).

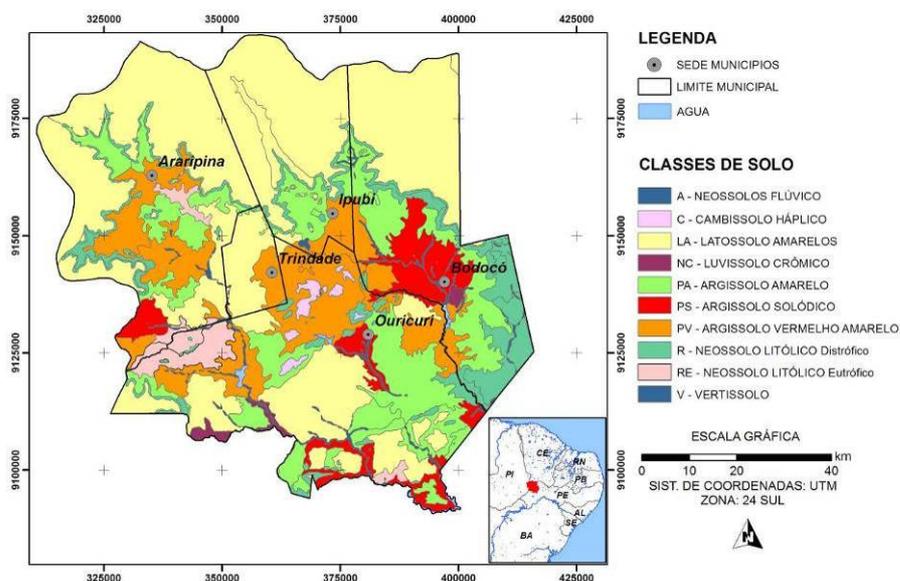


Figura 2. Solos da região do Araripe Pernambucano (Fonte: ZAPE, 2004).

As precipitações são baixas e irregulares em toda a área de estudo, e a estação seca se prolonga por 7 a 10 meses, com temperatura média variando entre 24 a 26 °C. A semiáridéz é acentuada na parte mais baixa, onde os totais anuais precipitados variam entre 400 e 500 mm. Na região norte, o que corresponde à Chapada do Araripe, as precipitações aumentam, atingindo médias entre 700 e 800 mm. O clima predominante da área de estudo é BSw^h conforme classificação de Köppen. Este tipo climático apresenta-se como quente semiárido,

tipo estepe, com a estação chuvosa atrasada para o outono. O mês mais frio mostra-se com temperatura superior a 18° C (LOPES, 2005).

Para entender melhor sobre o clima da região e a influência da precipitação na cobertura vegetal este trabalho realizou uma análise da variação espacial e temporal da temperatura e precipitação, com as normais climatológicas. Os dados de precipitação foram obtidos junto ao Laboratório de Agrometeorologia da Embrapa Semiárido, e a temperatura estimada pela equação proposta por Cavalcanti & Silva (1994). Ainda analisaram-se as precipitações diárias ocorridas no período de 01/05/2008 e 31/09/2008. A escolha desse período se deu em função da data da imagem de satélite utilizada neste estudo. Adotou-se o critério de se analisar os três meses anteriores à imagem de satélite, isto porque é um período suficiente para avaliar as interferências da precipitação na cobertura vegetal.

2.2. Processamento digital das imagens

Neste estudo foram utilizadas imagens digitais do sensor Thematic Mapper (TM) do satélite LANDSAT 5, obtidas na órbita 217 e pontos 65 e 66 em 21/09/2008 pertencentes então à época seca. Uma base digital de rodovias da região elaborada a partir de levantamento de campo com equipamento de sistema de posicionamento global - GPS (marca Garmin, Modelo Etrex Legend cx), com precisão em torno de 6 metros, foi utilizada no processo de correção geométrica. No processamento das imagens digitais, foram utilizados os softwares Erdas Imagine 9.3 e ARCGIS 9.3, licença do Departamento de Ciências Geográficas-DCG.

As imagens da órbita 217 e pontos 65 e 66, adquiridas em 21/09/2008, foram obtidas no site de geração de imagens do INPE em formato geotiff com projeção/datum UTM/SAD-69. O ângulo de elevação solar do ponto 65 é 59,51 e do ponto 66 é 58,94, porém o valor utilizado foi uma média aritmética (59,22) da elevação destes dois pontos por a região de estudo compreender a área de intersecção das duas imagens. É de grande importância ressaltar que este satélite possui uma resolução espacial de 30x30 metros cobrindo cada *pixel* 900m², resolução temporal de 16 dias e radiométrica de oito bits.

O primeiro processamento foi o empilhamento das sete bandas de cada imagem com posterior mosaicagem e recorte da imagem para a região de estudo utilizando a malha municipal digital do IBGE na escala de 1:250.00. O empilhamento das bandas foi necessário para a confecção da imagem em composição colorida que auxiliou na interpretação visual da cena.

No processo de correção geométrica (registro) foi utilizado o método polinomial de primeira ordem para ajustar a imagem com a realidade do campo, no sentido de se fazer levantamentos acerca da florística e da fisionomia florestal para as classes levantadas.

A retificação radiométrica foi feita a partir da conversão dos números digitais em radiância e, posteriormente, em reflectância, utilizando as equações 1 e 2 no sentido de se atenuar os efeitos atmosféricos sobre as imagens de satélite (BASTIAANSEN, 2000):

$$L\lambda = ND \cdot \frac{L_{\max} - L_{\min}}{255} + L_{\min} \quad (1)$$

onde $L\lambda$ é a radiância de cada banda, ND é o valor do número digital do pixel na banda λ e L_{\max} e L_{\min} são a radiância máxima e mínima expressas em $Wm^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$ para o sensor e banda em questão.

$$\rho\lambda = \frac{\pi \cdot L\lambda \cdot d^2}{ESol\lambda \cdot Cos\theta_s} \quad (2)$$

onde $\rho\lambda$ é a reflectância planetária ao nível de satélite para cada banda, π é o ângulo sólido do hemisfério projetado, $L\lambda$ a radiância espectral na abertura do sensor em $Wsr^{-1} m^{-2} \mu m^{-1}$ para cada banda (Equação 1), d é a distância do Sol à Terra em Unidades Astronômicas, $ESol\lambda$ é a irradiância solar média espectral extraterrestre em $Wm^{-2} \mu m^{-1}$, θ_s é o zênite solar no pixel da imagem em questão que, para simplificar, utiliza-se o ângulo central fornecido na imagem.

A partir dos dados de reflectância foi obtido o NDVI por meio da equação 3 proposta por Rouse et al. (1974).

$$NDVI = \frac{\rho_4 - \rho_3}{\rho_4 + \rho_3} \quad (3)$$

onde ρ_4 e ρ_3 são as reflectâncias planetárias ao nível do satélite Landsat 5 na banda 4 e na banda 3, respectivamente.

Após a obtenção da imagem NDVI foi feita uma classificação não supervisionada em 12 classes gerando o mapa do NDVI que foi o material cartográfico utilizado para a diferenciação das fisionomias em campo. Após as considerações levantadas em campo foi

elaborado o mapa da cobertura vegetal da região do Araripe Pernambucano baseado nas classes do manual técnico de vegetação brasileira do IBGE (1992).

2.3. Critério de avaliação do mapeamento

A confirmação da qualidade do mapeamento foi realizada com base no coeficiente de Kappa propostos por Landis & Koch (1977). O objetivo da aplicação desta análise Kappa é obter a medida de concordância entre os dados reais e da classificação representados na diagonal principal da matriz de confusão e as ocorrências indicadas nos totais das colunas e linhas. Conforme os autores acima mencionados, a qualidade do mapeamento a partir do índice de Kappa está baseada na Tabela 1.

Tabela 1. Avaliação segundo o coeficiente Kappa (*K*)

<i>Qualidade do mapeamento</i>	<i>K</i>
Péssima	< 0
Ruim	0 - 0,20
Acurácia razoável	0,20 - 0,40
Acurácia moderada a boa	0,40 – 0,60
Acurácia muito boa	0,60 – 0,80
Acurácia excelente	0,80 – 1,00

FONTE: Landis e Koch (1977).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Variação da temperatura e precipitação na região do Araripe pernambucano

A precipitação e a temperatura média mensal e anual da Região do Araripe Pernambucano estão demonstradas na Figura 3 (a e b). Pode-se observar que em cinco meses do ano as precipitações mensais ficam abaixo de 25 mm e a média anual não ultrapassa 719 mm. As precipitações anuais variam entre 519 mm a 719 mm decrescendo de noroeste para sudoeste. Ainda pode-se observar analisando a Figura 3a que o quadrimestre mais chuvoso está compreendido entre os meses de janeiro a abril, enquanto que o período seco ocorre em, praticamente, oito meses do ano. Já em relação à temperatura, pode-ser observado na Figura 3b que a região ao sul possui temperatura média mais elevada variando entre 25 e 26° C,

enquanto que ao norte varia entre 23 e 25°C. No âmbito da região do Araripe a temperatura média anual pode variar, espacialmente, em até 4°C. Os meses mais frios na região são maio, junho e julho, com temperaturas mínimas médias de até 20°C, em especial na área da chapada do Araripe.

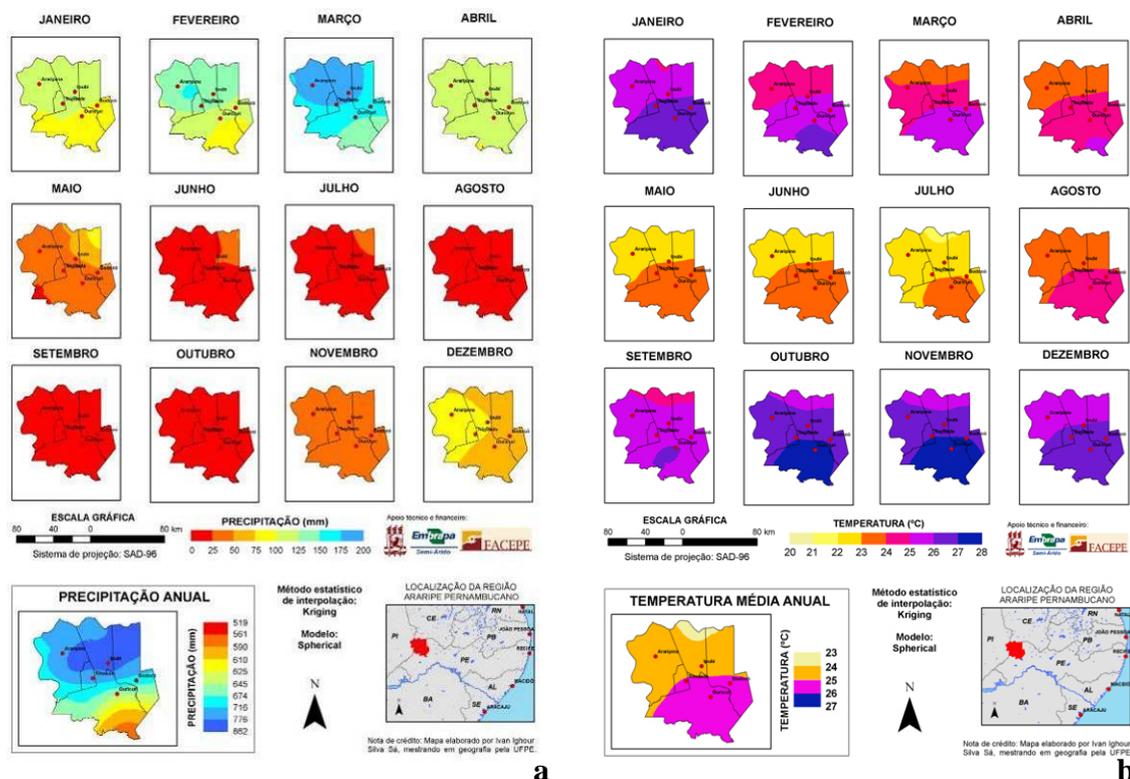


Figura 3. Precipitação média mensal e anual (a); Temperatura média mensal e anual (b).

A precipitação observada no período de 01 de maio de 2008 a 31 de setembro de 2008 é apresentada na Figura 4. Os municípios que receberam maior precipitação total acumulada para o período supracitado foram Bodocó (66 mm), Ipubi (93,3 mm), Ouricuri (39,3 mm) e Araripina (185 mm). Para esse período, as chuvas cessaram por volta do dia 19/07/09 em toda a região analisada, que corresponde a sessenta e sete dias antes da data da aquisição da imagem. Pode-se inferir com esta observação que a cobertura vegetal da área em estudo se encontrava sob estresse hídrico. Desta forma, a resposta espectral da vegetação nativa variou de acordo com o efeito do sombreamento dos troncos e galhos, e com a diminuição da reflectância dos elementos subjacentes dos estratos, como assinalado em Maldonado (1999).

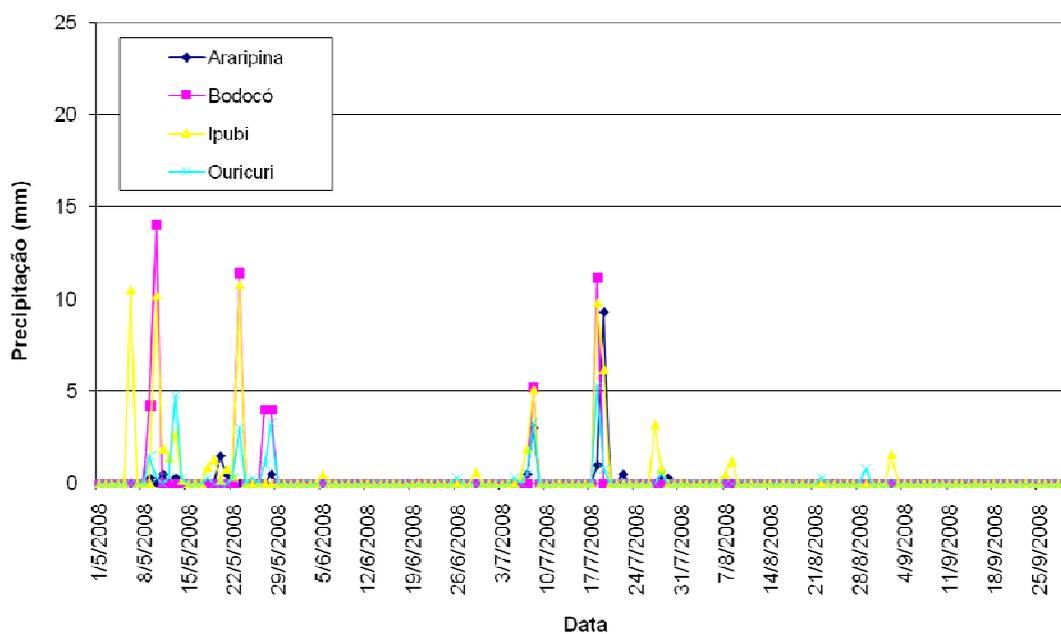


Figura 4. Precipitação registrada na região do Araripe Pernambucano entre o período de 01/05/2008 e 31/09/2008.

3.2 Avaliação da cobertura vegetal e uso da terra

O IVDN obtido com a imagem TM de 21/09/2008 é apresentado na Figura 5. Nota-se que o menor valor para a área de estudo foi de -0,9750 e o valor máximo de 0,8070 correspondendo a água e áreas de floresta densa localizadas na Chapada do Araripe, respectivamente. A moda foi de 0,3025. Espig et al. (2006), estudando variações sazonais na vegetação de caatinga em seis áreas do semiárido Nordestino utilizando dados do MODIS, estimaram os valores máximos em 0,87; 0,78; 0,63; 0,69; 0,76; 0,66.

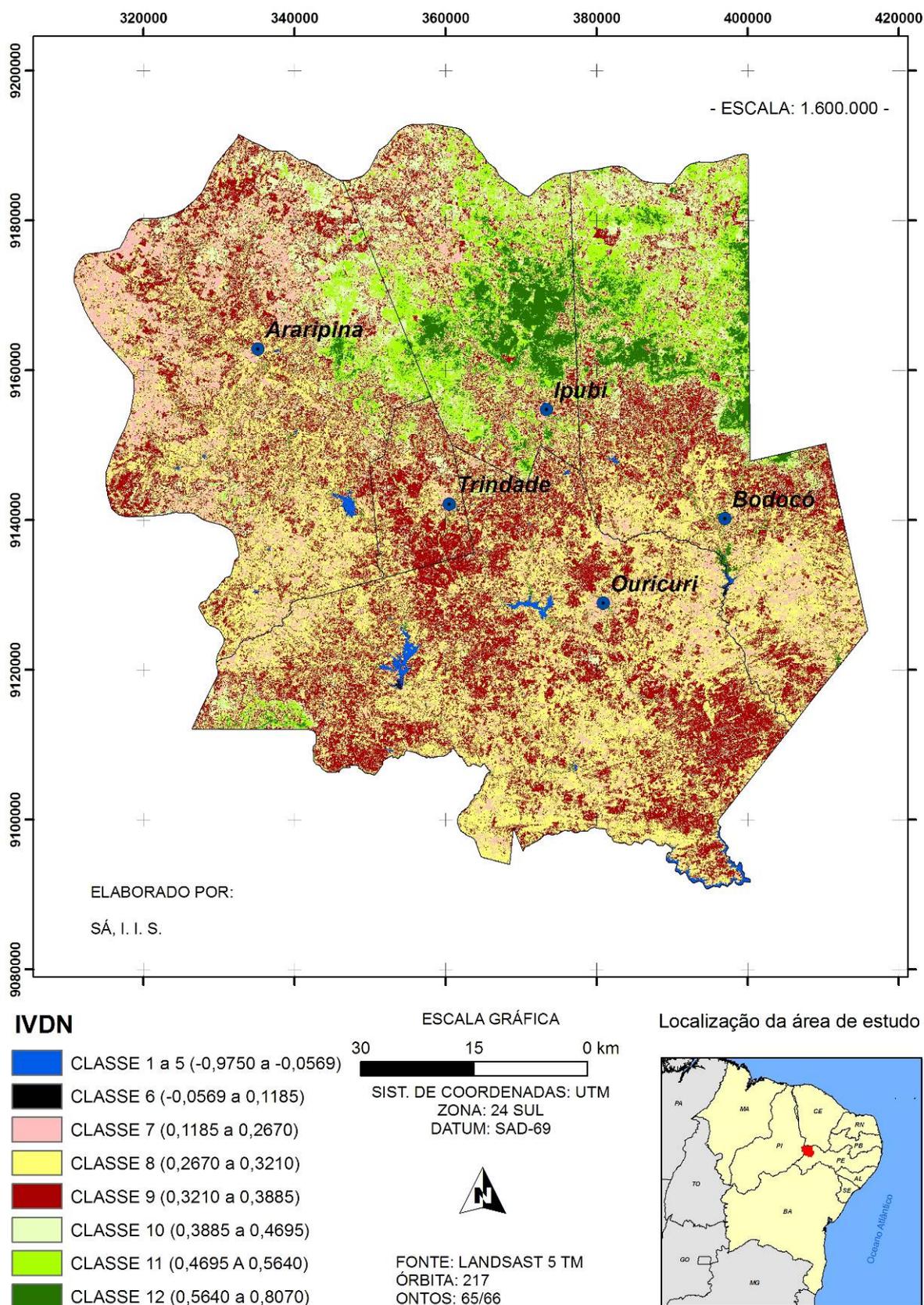


Figura 5. Índice de vegetação por Diferença Normalizada da Região do Araripe Pernambucano em 21/09/2008.

Os valores do IVDN variando entre 0,3885 a 0,8070 (classe 10 a 12) estimados na região central e mais ao sul da área de estudo, demonstram uma cobertura vegetal que fisionomicamente se apresenta na forma arbórea-arbustiva (Figura 6), possuindo indivíduos com altura média de cinco metros, e com uma boa diversidade florística. Conforme o IBGE (1992), este estrato florestal pode ser classificado como Savana Estépica Florestada (Td). A partir da visita de campo pode-se identificar, como parte desta comunidade florestal os seguintes indivíduos: Marmeleiro (*Croton hemiargyreus*), Pinhão Bravo (*Jatropha pohliana*), Caatingueira (*Caesalpinia pyramnidalis*), Caroá (*Neoglaziovia variegata*), Mandacarú (*Cereus jamacaru*), Faxeiro (*Cereus squamosus*), Pau-ferro (*Caesalpinia ferrea*), Feijão-Bravo (*Capparis flexuosa*), Pau-Branco (*Poeppigia procera*), Jurema-branca (*Piptadenia stipulacea*), Calumbi (*Mimosa malacocentra*), Cipó Grajaú (*Arrabidea* sp.), Favela (*Cnidoscopus phyllacanthus*) e Umburana-de-cambão (*Commiphora leptophloeos*).



Figura 6. Fisionomia da Savana Estépica Florestada (Td) – (UTM: 24 M 375718 9119270)

Na região mais ao norte, com o IVDN entre 0,3885 e 0,8070 (classe 10 a 12) está localizada a cobertura vegetal mais densa da região em estudo. Neste estrato a vegetação de cerrado, floresta estacional e caatinga (STN) se apresentam com estruturas fisionômicas muito semelhantes. Segundo IBGE (1992) as estruturas fisionômicas não podem ser diferenciadas com imagens de satélite de baixa resolução, que é o caso das utilizadas neste trabalho. As espécies identificadas na visita de campo correspondentes a este estrato foram a Violeta (*Dalbergia* sp.), Canafistula de bode (*Senna macranthera*), o Calumbi (*Mimosa malacocentra*), a Braúna (*Schinopsis glabra*), o Angico de Bezerra (*Parapiptadenia zehntneri*), a Banha de galinha (*Swartzia flaeingii*), Velame (*Croton* sp.), Marmeleiro Branco (*Croton argyrophyllodes*), Alho brabo (*Mansoa hirsuta*), Quina-quina (*Strychnos*

pseudoquina), Cipó Grajaú (*Arrabidaea* sp.), Calumbi (*Mimosa malacocentra*), Grão-de-Galo (*Eugenia* sp.), Jacarandá (*Machaerium opacum*), Agave (*Agave rígida*), Quipembe (*Piptadenia moniliformis*) (Figuras 7 e 8).



Figura 7. Área de contato entre Savana, Savana Estépica e Floresta Estacional (UTM: 24 M 345467 9172391).



Figura 8. Área de contato entre Savana, Savana Estépica e Floresta Estacional (UTM: 24 M 368124 9175431).

O IVDN variando entre 0,2670 a 0,3210 (classe 8) foi estimado no centro-sul da região em estudo, correspondendo às áreas de Savana Estépica Arborizada-Ta (Figura 9) em estágio de regeneração-reg (Ta_reg). A fisionomia deste estrato possui baixa diversidade florística e indivíduos com porte médio em torno de 2,5 metros de altura. Na região ao norte

esses valores de IVDN correspondem a área de contato com vegetação de Savana-S (Cerrado), Savana Estépica-T (Caatinga) e Floresta Estacional-N em regeneração (STN_reg).



Figura 9. Fisionomia de Savana Estépica Arborizada em estágio de regeneração natural (UTM: 24 M 377396 9122700).

As áreas onde não se observou intervenção antrópica na vegetação do tipo Ta, o IVDN variou entre 0,3210 a 0,3885 (classe 9), com porte médio da vegetação de 3,5 metros de altura. As espécies identificadas neste grupo foram: Marmeleiro (*Croton hemiargyreus*), Caatingueira (*Caesalpinia pyramnidalis*), Jurema preta (*Mimosa hostilis*), Pau-ferro (*Caesalpinia ferrea*), Pereiro (*Aspidosperma pyriformium*), Mandacaru (*Cereus jamacaru*). A fisionomia deste estrato é mostrada na Figura 10.



Figura-10. Fisionomia da Classe sem intervenção antrópica (UTM: 24 M 377314 9122553).

O IVDN variando entre 0,1185 e 0,2670 (classe 7) corresponde às atividades agropecuárias-Ag e áreas urbanas-Iu (Ag_Iu). As atividades agropecuárias da região são praticadas por pequenos produtores por meio de relações sociais de produções familiares e também pelos médios produtores com certo grau de mecanização em toda a área de estudo. As práticas agrícolas são desenvolvidas por sistemas tradicionais e dependentes quase que na sua totalidade da água de chuva, sendo a abertura de novas áreas para os cultivos agrícolas e a formação das pastagens as atividades que promovem a remoção da cobertura florestal e agravam os problemas ambientais da região. Observou-se nos trabalhos de campo que as principais culturas agrícolas da região são: Milho (*Zea mays*), Macaxeira (*Manihot utilissima*), Mandioca (*Manihot sculenta*) (Figura 11) e o Feijão (*Phaseolus vulgaris*), enquanto que para pasto as espécies mais utilizadas são o Capim-corrente (*Urochloa mosambicensis*) (Figura 12) e o Capim-búfel (*Cenchrus ciliaris*).



Figura 11. Área com plantio de mandioca (UTM: 24 M 318243 9176234).



Figura 12. Área de pasto com Capim-corrente (UTM: 24 M 377686 9122838).

O alvo área urbana foi agrupado nesta mesma classe por serem heterogêneos e similares a muitos alvos que pertencem a outras áreas como foi assinalado em Lobão et al. (2003). A rotulação baseada no IBGE (1992) tornou fácil a delimitação da classe agropecuária uma vez que engloba os usos agrícolas (agricultura/pecuária) em um só nível, apresentando-se na imagem classificada com formas retangulares.

O IVDN variando entre -0,0569 e 0,1185 (classe 6) representa solo exposto/solo úmido (Se_Su) (Figura 13). Neste trabalho observou-se que estas áreas são de pequeno tamanho, o que ocasionou dificuldade de identificação na imagem classificada, assim como sua representação no mapeamento.



Figura 13. Área de solo desnudo localizada no município de Trindade-PE para a implantação de loteamento residencial (UTM: 24 M 362351 9140389).

Valores de IVDN entre -0,9750 e -0,0569 (classe 1 a 5) representam os reservatórios de água da região. Os corpos hídricos mais representativos da área são: o açude Tamboril e Algodões (Figura 14 e 15) no município de Ouricuri-PE.



Figura 14. Açude Tamboril (UTM: 24 M 372744 9126610)



Figura 15. Açude Algodões (UTM: 24 M 354376 9117808)

Na etapa do levantamento em campo pode ser observado que grande parte das Áreas de Preservação Permanente (APP) pertencentes aos riachos e corpos d'água da região estudada, sofreram remoção da cobertura vegetal nativa, e como consequência houve a substituição de forma espontânea pela espécie exótica algaroba (*Prosopis juliflora*) disseminada pelos animais que consomem a vagem e vão beber água na beira dos riachos, Figura 16.



Figura 16. Mata ciliar invadida por algaroba (UTM: 24 M 379059 9126354).

3.3 Exatidão do mapeamento/Distribuição espacial dos estratos/classes definidas

A Tabela 2 apresenta os valores percentuais de acurácia de cada intervalo de classe do IVDN utilizando a classificação não supervisionada com posterior reclassificação após as visitas em campo. Nota-se que a maior precisão em termos percentuais ocorreu para as classes corpos hídricos, solo exposto/solos úmidos (Se_Su) e agropecuária/área urbana, ambas apresentando um percentual de acerto de 100%. A fisionomia que se obteve menor precisão foi a Ta_Reg/STN_Reg, com 69,23%. Em geral, o erro percentual de 31,77% dessa fisionomia se deu por causa da mistura espectral entre a vegetação de caatinga e o solo em algumas áreas de regeneração inicial. Na verificação de campo observou-se que onde foi mapeado a fisionomia Ta_Reg/STN_Reg se encontrou a Ag_Iu. No tocante à precisão total do mapeamento pode-se observar que foi satisfatória, apresentando um percentual de 83,33%, como mostra a Tabela 2.

Tabela 2. Valores de acurácia do mapeamento por classe analisada.

Classe do NDVI	Fisionomia	Referência total (número de amostra)	Quantidade correta	Acurácia (100%)
1 a 5	Corpos Hídricos	1	1	100,00
6	Se_Su	1	1	100,00
7	Ag_Iu	4	4	100,00
8	Ta_Reg/STN_Reg	13	9	69,23
9	Ta/STN_Reg	12	10	83,33
10 a 12	Td/STN	11	10	90,90
	TOTAL	42	35	83,33

A estatística de Kappa apresentou uma média geral de 0,78, demonstrando uma precisão satisfatória para o método de classificação não supervisionado com posterior reclassificação após visita de campo (Figura 17), permitindo demonstrar, por meio do mapeamento, a distribuição espacial do uso atual e a cobertura da terra na Região do Araripe pernambucano com base no IVDN, como também quantificar as áreas (km²) de cada fisionomia analisada (Figura 18). Resultados semelhantes foram obtidos por Ribeiro et al. (2008), que alcançaram uma precisão semelhante a obtida neste estudo (k=81,02%) no mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal nos municípios de Pocinhos e Puxinanã-PB, utilizando classificação supervisionada.

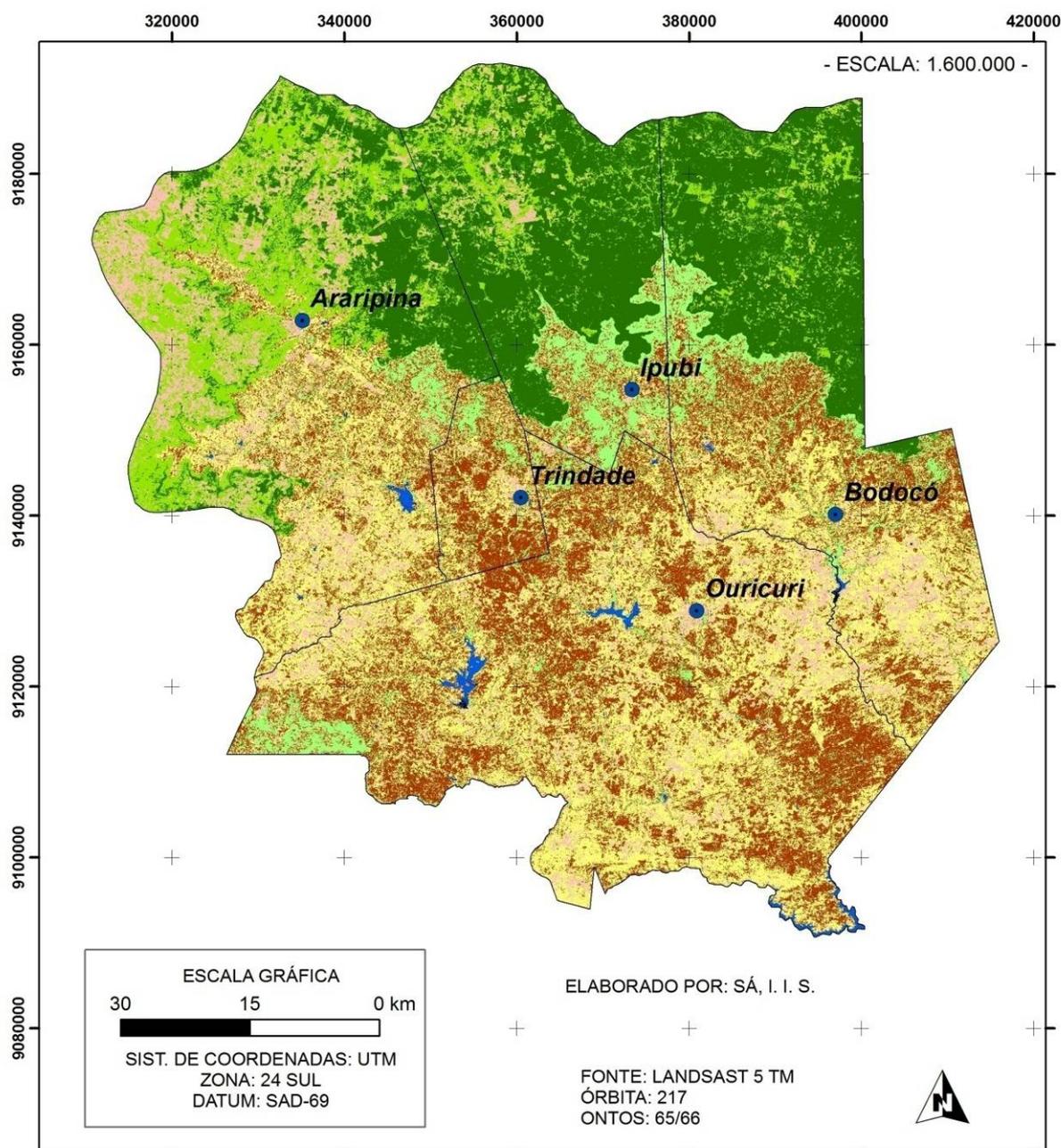


Figura 17. Cobertura vegetal e uso do Solo da Região do Araripe.

De acordo com a Figura 18, as classes de vegetação remanescentes que predominam na região do Araripe são a Savana Estépica Arborizada (23%), às áreas do ecótono entre Savana, Savana Estépica e Floresta Estacional (20%) e a Savana Estépica Florestada (8%). Ambas promovem uma cobertura do solo da ordem de 51% da região estudada. As fisionomias Savana Estépica Arborizada em regeneração e as áreas de ecótono também em regeneração representam 39% da região de estudo e juntamente com a classe agropecuária/zona urbana (10%) demonstram que a paisagem está sofrendo extensas alterações. Estes valores corroboram com os encontrados por Sá et al. (2008) quando analisaram a cobertura vegetal da região tendo como base imagens de satélite da época chuvosa.

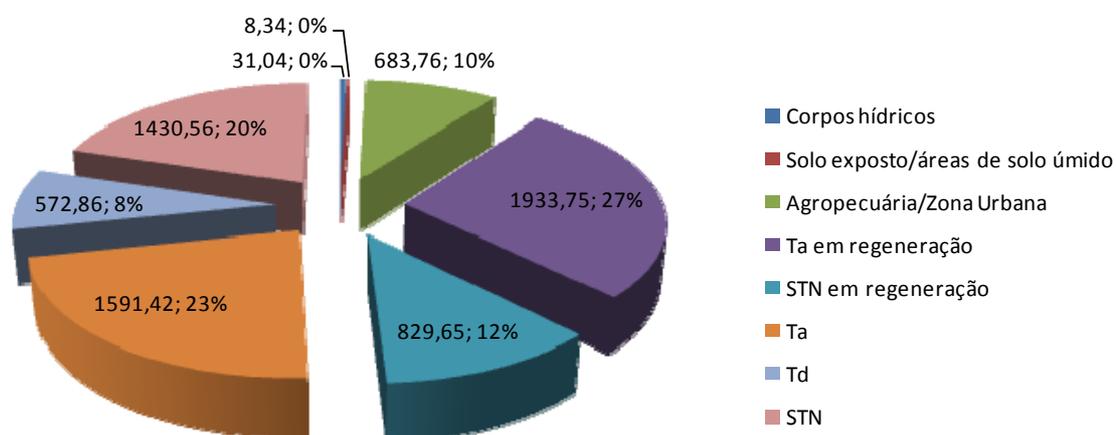


Figura 18. Quantificação das áreas (km² e percentual) de cada classe mapeada para a Região do Araripe.

A Tabela 3 apresenta os totais de cada classe de vegetação e uso da terra para os municípios de Araripina, Bodocó, Ipubi, Ouricuri e Trindade para o ano de 2008.

Tabela 3. Quantificação das classes mapeadas por municípios para a região do Araripe Pernambucano. Onde; Se_Su são as áreas de solo expostos/solos úmidos; Ag_Iu são as áreas de agropecuária e as áreas urbanas; Ta_Reg as áreas de Savana Estépica Arborizada em regeneração; STN_Reg as áreas de contato entre vegetação do tipo Savana, Savana Estépica e Floresta estacional em regeneração; Ta as áreas de Savana Estépica arborizada; Td as áreas de Savana Estépica Florestada e; STN as áreas de contato entre vegetação do tipo Savana, Savana Estépica e Floresta estacional.

Municípios	Corpos hídricos	Fisionomias (km ²)						
		Se_Su	Ag_Iu	Ta_Reg	STN_Reg	Ta	Td	STN
Araripina	5,16	1,68	321,21	367,85	571,14	207,47	83,75	349,79
Bodocó	1,99	1,52	96,26	384,57	96,27	318,15	167,65	531,71
Ipubi	0,52	0,67	43,41	28,55	161,94	63,07	124,24	547,97
Ouricuri	23,26	4,40	209,40	1090,96	-	891,53	156,06	-
Trindade	0,12	0,07	13,48	61,82	0,30	111,21	41,15	1,09
Total	31,04	8,34	683,76	1933,75	829,65	1591,42	572,86	1430,56

Proporcionalmente o município que apresenta a maior cobertura vegetal remanescente (Ta, Td e STN) é Ipubi, que tem 75,77% de sua área coberta por estes tipos de vegetação. Ao analisar-se a área absoluta, o município de Ouricuri é o que possui maior quantidade de remanescente, com 1.047,60 km² do seu território.

É perceptível que a região de estudo apresenta duas unidades de paisagem, a da chapada do Araripe, localizada na região ao norte e a depressão sertaneja, que ocupa quase toda a região central e todo o sul, sendo observadas mudanças na composição florística das duas unidades, o que modifica a classificação da vegetação com base na terminologia referenciada pelo sistema de classificação fitogeográfica do IBGE (1992). Os critérios adotados por este sistema se baseiam no porte e densidade da vegetação, o que faz com que o IVDN torne-se adequado no processo de classificação da vegetação em uma mesma unidade de paisagem, porém em unidades diferentes poderá se obter os mesmos valores de IVDN com composições florísticas distintas.

Após a avaliação da classificação e o levantamento de campo foi possível observar que a região de estudo apresenta a fisionomia Savana estépica em suas fácies Florestada e Arborizada que tem sua ocorrência na paisagem da depressão sertaneja, as áreas de tensão ecológica onde é encontrada vegetação do tipo Savana (Cerrado), Savana Estépica (Caatinga) e Floresta Estacional localizadas na chapada do Araripe, bem como as áreas de usos agropecuários encontradas nas duas unidades geoambientais.

CONCLUSÕES

- A análise da cobertura vegetal e uso do solo com IVDN na Região do Araripe pernambucano foi satisfatória, uma vez que a estatística de Kappa apresentou uma média geral de 0,78, demonstrando uma precisão muito boa para o método de classificação não supervisionado com posterior reclassificação após visita de campo.
- O mapeamento da cobertura vegetal e uso da terra da região do Araripe pernambucano com base neste método, forneceram uma idéia do estágio da vegetação, uma vez que este índice reflete o grau de cobertura do terreno por parte da vegetação.
- Os remanescentes de vegetação são da ordem de 50% do território da região, enquanto que as áreas em regeneração e a agropecuária ocupam 49%. Proporcionalmente o município que apresenta maior cobertura vegetal é o de Trindade, enquanto que Ouricuri tem a maior quantidade.
- O mapa de cobertura vegetal e uso da terra obtido neste estudo, apresenta-se como uma ferramenta bastante útil para o planejamento do espaço territorial da região do Araripe.

AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem à Fundação de Amparo à Ciência do Estado de Pernambuco (FACEPE) pelo apoio financeiro aos estudos e ao LAMEPE, pela disponibilização dos dados pluviométricos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AZAMBUJA MADRUGA, P. R. de. Uso de geoprocessamento no inventário florestal do Rio Grande do Sul: Uma abordagem crítica. In: **Aplicações de Geotecnologias na Engenharia Florestal**. Curitiba, PR: Copiadora Gabardo Ltda, 2004.

BARBOSA, M. P.; MORAES NETO, J. M.; FERNANDES, M. F.; SILVA, M. J. Estudo da degradação das terras - município de Picos – PI. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13. (SBSR), 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 4357-4363. CD-ROM, On-line. ISBN 978-85-17-00031-7.

BARBOSA, I. do S.; ANDRADE, L. A. de.; ALMEIDA, J. A. P. de.; Evolução da cobertura vegetal e uso agrícola do solo no Município de Lagoa Seca, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13, n. 5, p. 614-622, 2009.

BARBOSA, H. A.; ACCIOLY FILHO, J. B. P.; MELCÍADES, W. L. B.; MELLO, N. G. S.; SOUZA J. M. de.; Determinação do Índice de Vegetação Através de Imagens Meteosat-8. In: Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto, 3 (Geonordeste), 2006, Aracaju. **Anais...** Aracaju: CPATC, 2006.

BASTIAANSEN, W. G. M. SEBAL – based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. **Journal of Hydrology**, v.229, p.87-100, 2000.

CAVALCANTI, E.P.; SILVA, E.D.V. Estimativa da temperatura do ar em função das coordenadas locais. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 7, e Congresso Latino-Americano e Ibérico de Meteorologia, 1994, Belo Horizonte. **Anais...**, Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1994, p.154-157.

COHEN, W. B. Response of vegetation indices to changes in three measures of leaf water stress, **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**. v.57, p.195-202, 1991.

EMBRAPA. Zoneamento Agroecológico de Pernambuco – ZAPE. Recife, Embrapa Solos – UEP-Recife. Il. 1CD Rom. 2004.

ESPIG, S. A.; SOARES, J. V.; SANTOS, J. R. Variações sazonais do EVI e NDVI em áreas do semi-árido brasileiro. In: Seminário em atualização em sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas aplicados à engenharia florestal, 7., Curitiba. 2006. **Papel**; On-line. (INPE-14356-PRE/9443).

FERREIRA, L. A.; TEOTIA, H. S.; COSTA FILHO, J. F.; SANTOS, J. R. Levantamento e classificação da vegetação nativa do Município de Patos, através de sensoriamento remoto e geoprocessamento. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10. (SBSR), 2001, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2001. p. 1609-1616. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00016-1. (INPE-8243-PRE/4032).

GIULIETTI, A. M.; BOCAGE NETA, A. L.; CASTRO, A. A. J. F.; GAMARRA-ROJAS, C. F. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; VIRÍNIO, J. F.; QUEIROZ, L. P.; FIGUEIREDO, M. A.; RODAL, M. J. N.; BARBOSA, M. R. V. & HARLEY, R. M. 2004. **Diagnóstico da vegetação nativa do bioma Caatinga**. Pp 47-90. In: J. M. C. Silva, M. Tabarelli, M. T. Fonseca & M. V. Lins, (eds.), Biodiversidade da Caatinga: áreas e ações prioritárias para a conservação, MMA, Brasília. 382p.

HIETEL, E., WALDHARDT, R., & OTTE, A. Analysing land-cover changes in relation to environmental variables in Hesse, Germany. **Landscape Ecology**, v.19, p.473–489, 2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Manual Técnico da Vegetação Brasileira. **Série Manuais Técnicos em Geociências**, nº1. Rio de Janeiro, IBGE, 1992.

WEAR, D. N., TURNER, M. G., & FLAMM, R. O. Ecosystem management with multiple owners: Landscape dynamics in a southern Appalachian watershed. **Ecological Applications**, v.6, p.1173–1188, 1996.

KARNIELI, A., SHACHAK, M., TSOAR, H., ZAADY, E., KAUFMAN, Y., DANIN, A., PORTER, W., 1996. The effect of microphytes on the spectral reflectance of vegetation in semiarid regions. **Remote Sensing of Environment** 57, 88–96.

LANDIS, J.; KOCH, G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometric**, v.33, p.154-174, 1977.

LIU, W. T. H. **Aplicações de Sensoriamento Remoto**. 1. ed. Campo Grande: Editora UNIDERP, 2007. 908 p. (Volume 1).

LOBÃO, J. S. B.; FRANÇA-ROCHA, W. J. S.; SILVA, A. B. Aplicação dos índices Kappa & Pabak na validação da classificação automática de imagem de satélite em Feira de Santana-BA. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12. (SBSR), 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2005. p. 1207-1214. CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00018-8.

LOPES, H. L. **Modelagem de parâmetros biofísicos para avaliação de riscos à desertificação**. 2005. 101 p. Dissertação (Ciências Geodésicas e Tecnologia da Informação) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. 1999.

MALDONADO, F. D. **Análise por componentes principais (ACP) na caracterização da dinâmica do uso da terra em área do semi-árido brasileiro**: Quixaba-PE. 1999. 134 p. (INPE-7180-TDI/680). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São Jose dos Campos. 1999.

PAN, D., DOMON, G., MARCEAU, D., & BOUCHARD, A. Spatial pattern of coniferous and deciduous forest patches in an Eastern North America agricultural landscape: The influence of land use and physical attributes. **Landscape Ecology**, v.16, p.99–110, 2001.

PERRY, C. R., JR.; LAUTENSCHLAGER, L. F. Functional equivalence of spectral vegetation indices, **Remote Sensing of Environment**. v.14, p.169-182, 1984.

RIBEIRO, G. do N., TEOTIA, H. S.; MARACAJÁ, V. P. B. B.; BARRO, D. F.; Mapeamento do uso da terra e cobertura vegetal no Agreste Paraibano: Municípios de Pocinhos e Puxianã. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.21, n. 2, p. 231-244, 2008.

ROUSE, J. W.; HAAS JR., R. H.; DEERING, D. W.; SCHELL, J. A.; HARLAN, J. C. **Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation**, NASA/GSFC type III final report: Greenbelt, Maryland, NASA, 1974, 371 p.

SÁ, I. B.; ANTONIO, R. G de.; ALMOROX, J. A. Utilização do índice de vegetação da diferença normalizada (NDVI) como indicador de degradação ambiental. In: CONGRESSO E EXPOSIÇÃO INTERNACIONAL SOBRE FLORESTAS, 6., 2000, Porto Seguro. **Resumos técnicos**. Rio de Janeiro: Instituto Ambiental Biosfera, 2000. p. 603-604.

SÁ, I. I. S. GALVINCIO, J. D.; MOURA, M. S. B de.; SÁ, I. B. USO DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO DA DIFERENÇA NORMALIZADA (IVDN) PARA CARACTERIZAÇÃO DA COBERTURA VEGETAL DA REGIÃO DO ARARIPE PERNAMBUCANO. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 01, n.1, p. 28-38, 2008.

SÁ, I. B.; TAURA, T. A.; CUNHA, T. J. F.; SÁ, I. I. S. Mapeamento e caracterização da cobertura vegetal da Bacia Hidrográfica do São Francisco. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14. (SBSR), 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 6305-6312. DVD, On-line. ISBN 978-85-17-00044-7.

SAMPAIO, E. V. S. B. & SALCEDO, I. Diretrizes para o manejo sustentável dos solos brasileiros: região semi-árida. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIA DO SOLO, 26, Rio de Janeiro. **Anais**. Rio de Janeiro, 1997. CD-ROOM.

SOUZA, R. F. de.; BARBOSA, M. P.; SOUZA JUNIOR, S. P. de.; NERY, A. R.; LIMA, A. N. de.; Estudo da evolução espaço-temporal da cobertura vegetal do município de Boa Vista-PB, utilizando Geoprocessamento. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.21, n. 3, p. 22-30, jun/ago de 2008.

TEOTIA, H. S.; COSTA FILHO, J. F.; SANTOS, J. R.; FERREIRA, L. A. Integração do sensoriamento remoto e SIG/SIT na preparação de modelo de desenvolvimento da terra para planejamento rural. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10., 2001, Foz de Iguaçu – PR. **Anais...** São José dos Campos-SP: INPE, 2001.

TURNER, M. G., WEAR, D. N., & FLAMM, R. O. Land ownership and land-cover change in the southern Appalachian highlands and the Olympic peninsula **Ecological Applications**, v.6, p.1150–1172, 1996.

CAPITULO 2

AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO AMBIENTAL NA REGIÃO DO ARARIPE PERNAMBUCANO UTILIZANDO TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO

RESUMO

A utilização da Caatinga na Região do Araripe Pernambucano, semi-árido do Brasil, ainda se fundamenta em processos meramente extrativistas para a obtenção de produtos de origem pastoril, agrícola e madeireiro. Desta forma, a atuação sobre a cobertura vegetal produz desequilíbrio no meio ambiente, pois remove a proteção do solo. Há em nível mundial preocupação com a degradação do meio ambiente nas regiões áridas, semi-áridas e sub-úmidas secas, pois podem desencadear processos de desertificação. Desta forma, a hipótese que orientou este trabalho é de que a degradação nesta região está desencadeando processos de desertificação. Para se avaliar a desertificação foi utilizado o IVDN (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada) e as mudanças no ambiente através da análise por componentes principais, ocorridas no período entre 1998-2008. Foram constatados quatro níveis de cobertura do solo: vegetação rala, semi-rala, semi-densa e densa. O desmatamento da região é da ordem de 1.143,74 km² (16,14%), enquanto que 1.119,77 km² (15,80%) da cobertura vegetal encontram-se em estágio de regeneração. As classes mapeadas com processo de desertificação na região do Araripe Pernambucano estão assim distribuídas: 9,9 km² (0,13%) com grau muito severo, 953,15 km² (13,46%), severo, 2.057,87 km² (29,05%), moderado e 4.063,43 km² (57,36%), fraco.

PALAVRAS-CHAVE: Componentes principais, desmatamento, desertificação

ABSTRACT

The use of Caatinga in the Area of Araripe From Pernambuco, semi-arid of Brazil, it is still based in processes for the firewood obtaining, wood and products of animal and agricultural origin. This way, the performance on the vegetable covering produces unbalance in the environment, because it removes the protection of the soil. There is in level world concern with the degradation of the environment in the areas arid, semi-arid and sub-humid droughts, because they can unchain desertification processes. In this way, the hypothesis that guided this work it is that the degradation in this area is unchaining desertification processes. To evaluate the desertification IVDN it was used (Index of Vegetation for Normalized Difference) and the changes in the landscape through the analysis for main components, happened in the period among 1998-2008. Four levels of covering of the soil were verified: vegetation grates, it semi-grates, semi-dense and dense. The removal of the vegetable cover in the area is of the order of 1.143,74 km² (16,14%), while 1.119,77 km² (15,80%) of the vegetable covering they meet in regeneration stadium. The classes mapping with desertification process in the area of Araripe From Pernambuco is like this distributed: 9,9 km² (0,13%) with very severe degree, 953,15 km² (13,46%), severe, 2.057,87 km² (29,05%), moderate and 4.063,43 km² (57,36%), weak.

KEY-WORDS: Principal components, removal of the vegetable covering, desertification

1. INTRODUÇÃO

A degradação das terras, principalmente nas regiões áridas, semiáridas e sub-úmidas secas, é um processo ocasionado por vários fatores, incluindo as variações climáticas e as atividades humanas que podem desencadear processos de desertificação (BRASIL, 1998).

O grau de degradação do solo é, em muitos casos, reflexo do estado da cobertura vegetal, uma vez que a vegetação que cobre o solo, afeta toda sua dinâmica de distribuição de água em seu perfil e a sua atividade biológica (IMENSON, 1984). Na ausência da cobertura vegetal, o solo pode sofrer com processos erosivos.

Por erosão se entende a perda acelerada de espessura do solo, com diminuição dos componentes minerais e orgânicos. A erosão é provocada por uma série de fatores que pode interferir individual ou coletivamente, entre os quais se destacam a chuva e o vento, além das ações antrópicas (ALMOROX, 1993). O homem, a partir do momento que atua sobre a cobertura vegetal natural de um solo, produz um desequilíbrio no meio ambiente, que podem se potencializar com as práticas inadequadas (DÍAZ & ALMAROX, 1994).

Segundo Matallo Junior (1997) este processo vem afetando mais de 100 países e uma população de quase 200 milhões de pessoas em todo o mundo, causando elevadas perdas econômicas. Ele também ressalta que a população que reside nas áreas afetadas é mais vulnerável tanto social como economicamente.

O clima é o fator que determina as diferenças entre o processo erosivo de uma região para outra, seja por meio do efeito direto das precipitações, seja pelo efeito indireto do estado da cobertura vegetal (LOPES-BERMUDEZ, 1990). Esta afirmação demonstra a importância da presença da cobertura vegetal sobre a superfície do solo, que deveria possuir um grau de cobertura do terreno de modo a controlar o impacto das gotas de água das precipitações. A eliminação da vegetação natural e a exploração da vegetação na colheita, não somente desprotege a superfície do solo da ação direta da chuva, mas também causa a diminuição de uma componente fundamental do solo que é a matéria orgânica (PARR et al., 1990).

No nordeste brasileiro, a maioria das atividades estão baseadas na exploração dos recursos naturais, e em especial ao extrativismo da cobertura vegetal, o superpastejo de áreas nativas e a exploração agrícola por meio de práticas de manejo do solo muitas vezes inadequada (SAMPAIO & SALCEDO, 1997).

A vegetação predominante nesta região é a Caatinga, que ocupa uma área de aproximadamente 734.478 km². Este bioma é exclusivamente brasileiro, o que significa dizer

que grande parte do patrimônio biológico não é encontrado em nenhuma outra parte do mundo (TABARELLI & VICENTE, 2003).

Os núcleos de desertificação têm o desmatamento como principal atividade causadora da degradação. Este é um indicador consensuado e justificado pela facilidade na observação de mudanças, em escalas tanto espaciais como temporais, com o uso de imagens de satélite. Porém os trabalhos no Nordeste têm considerado a perda da cobertura vegetal como desertificação somente quando o resultado são extensões de solo descoberto ou com vegetação muito rala, sem a presença de cultivos (LEITE et al. 2003; SAMPAIO et al. 2003).

Existem no Brasil quatro grandes núcleos que se encontram com degradação avançada chegando ao patamar de desertificação. São eles: a região do Seridó do Rio Grande do Norte e da Paraíba, que apresentam como agentes determinantes da degradação, o desmatamento da Caatinga para a extração de lenha e argila, o uso intensivo dos recursos naturais e superpastejo; o núcleo de Irauçuba no Ceará é outra região que também é bastante castigado por desmatamentos, bem como pela prática de queimadas e ocupação desordenada do solo; o núcleo de Gibués no Piauí, tem sido degradado pelas atividades de mineração e pecuária extensiva; e o núcleo de Cabrobó em Pernambuco, que sofre com o desmatamento e salinização do solo, bem como o superpastejo (SECTMA, 2004).

A mais atual iniciativa de mapeamento da cobertura vegetal e uso das terras dão conta que a área do Bioma Caatinga ainda apresenta 40,56% remanescentes de vegetação nativa. O restante do ecossistema está comprometido com algum processo de degradação (SÁ & SÁ, 2007). Ainda segundo estes autores é notório que a região de fronteira entre Pernambuco, Ceará, Piauí e Bahia apresenta uma grande frente de desmatamento, possivelmente relacionadas ao impacto das atividades do “Pólo Gesseiro do Araripe”.

A Região do Araripe Pernambucano é uma área onde há grande pressão sobre os recursos naturais, especialmente os recursos florestais. A ação antrópica se processa com grande intensidade, resultando em áreas degradadas pelo consumo de lenha para atender a diferentes setores econômicos. Esta situação vem exigindo do poder público, do setor produtivo e do terceiro setor, atenção especial para conter a pressão sobre os recursos florestais, bem como medidas para evitar o processo de degradação ambiental (SECTMA, 2007).

Segundo Cavalcanti e Araujo (2008), a utilização da Caatinga ainda se fundamenta em processos meramente extrativistas para a obtenção de produtos de origem pastoril, agrícola e madeireiro. Estes autores ainda ressaltam que esse modelo predatório já se faz sentir

principalmente nos recursos naturais renováveis da caatinga, observando perdas irrecuperáveis da diversidade florística e faunística, acelerado processo de erosão e declínio da fertilidade do solo e da qualidade da água.

Uma das técnicas do sensoriamento remoto que vem se desenvolvendo para analisar mudanças no ambiente utilizando imagens de satélite é a Análise por Componentes Principais (ACP). Esta é uma técnica de transformação linear que é utilizada com diferentes propósitos: realce e correlação de bandas, classificações, compressões de dados, simulação de bandas pancromáticas, até detecção de mudanças (CONESE et al., 1988).

Byrne et al. (1980), Lee et al. (1990) e Richards (1993), utilizaram este método com apenas duas bandas de datas diferentes, ressaltando que este procedimento ajuda a evitar dificuldades de interpretação que ocorrem com o uso maior do número de bandas. Esta técnica foi utilizada por Lee et al. (1990) em estudo de desertificação. Richards (1993) utilizou esta técnica em avaliações multitemporais, demonstrando que a mesma explora a correlação das bandas de imagens multitemporais de regiões que sofrem modificações substanciais da paisagem.

Este processamento também foi utilizado por Maldonado (2004) para determinar mudanças em ambiente semiárido com resultados satisfatórios da ordem de 68% de precisão sem necessitar utilizar processamentos digitais dispendiosos.

A análise da cobertura vegetal da Região do Araripe Pernambucano e a dinâmica da paisagem são de extrema importância para a avaliação dos recursos naturais ali existentes e o sensoriamento remoto torna-se então uma ferramenta importantíssima na quantificação destes fenômenos, uma vez que pode fornecer informações de forma rápida e com precisão aceitável. Por esses aspectos o presente estudo teve como objetivo avaliar o estágio atual da cobertura vegetal e as mudanças ocorridas entre os anos de 1998 e 2008 na região do Araripe Pernambucano com o intuito de provar a hipótese de que o desmatamento desta região pode está causando processos de desertificação.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área de estudo

As áreas selecionadas para a realização deste estudo estão localizadas no extremo oeste do Estado de Pernambuco e correspondem ao “Polo Gesseiro do Araripe” que é formado pelos seguintes municípios: Araripina, Bodocó, Ouricuri, Trindade e Ipubi. A área de

estudo totaliza 7.082,86 km², que representam 7,20% da área total do Estado de Pernambuco (Figura 1).

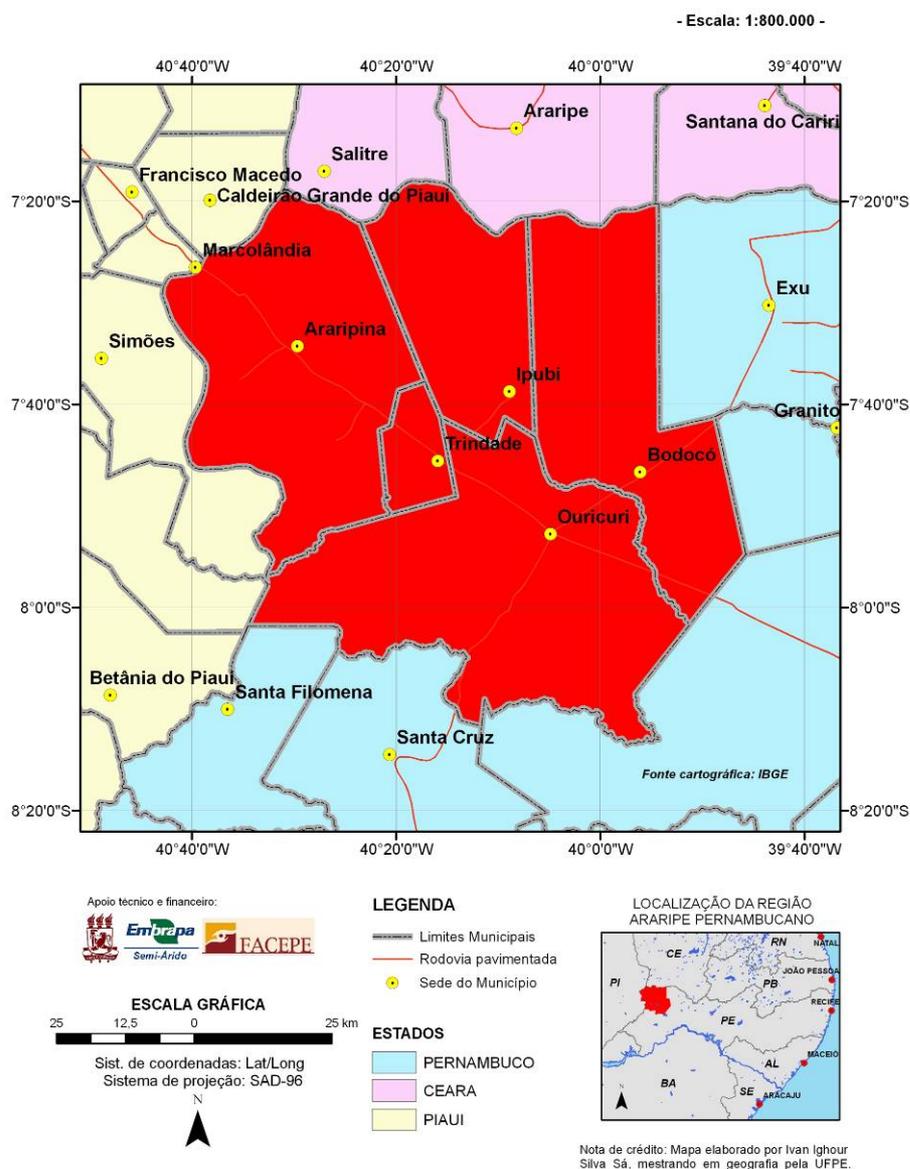


Figura 1. Localização da área de estudo.

A região de estudo está contida no Bioma Caatinga, que segundo a classificação fitogeográfica proposta pelo IBGE é classificada como Savana Estépica. Este termo foi empregado no Brasil para designar a área do “sertão árido nordestino” com dupla estacionalidade. A savana estépica comporta quatro subgrupos de formações: Savana-estépica Florestada, Savana-estépica Arborizada, Savana-estépica Parque e Savana-estépica gramíneo-lenhosa (IBGE, 1992).

Os solos que predominam no “Pólo Gesseiro do Araripe” são os Latossolos Amarelos (Figura 2), que são distróficos, possuem horizonte A moderado com textura média e argilosa;

vegetação natural do tipo caatinga hiperxerófila e relevo plano. Esta classe de solo possui alto potencial para irrigação, com restrições quanto à altura de recalque e fertilidade natural. Há também os Argissolos Amarelo e Vermelho-Amarelo que possuem textura arenosa e média/argilosa, ambos com atividade de argila baixa, distrófico e eutrófico, plíntico e não plíntico, possuem horizonte A moderado com vegetação natural também do tipo Caatinga hiperxerófila, com relevo plano e suave ondulado. Já no tocante à irrigação eles apresentam potencial de bom a regular, respectivamente, sendo o fator limitante a fertilidade natural e a drenagem (LOPES, 2005).

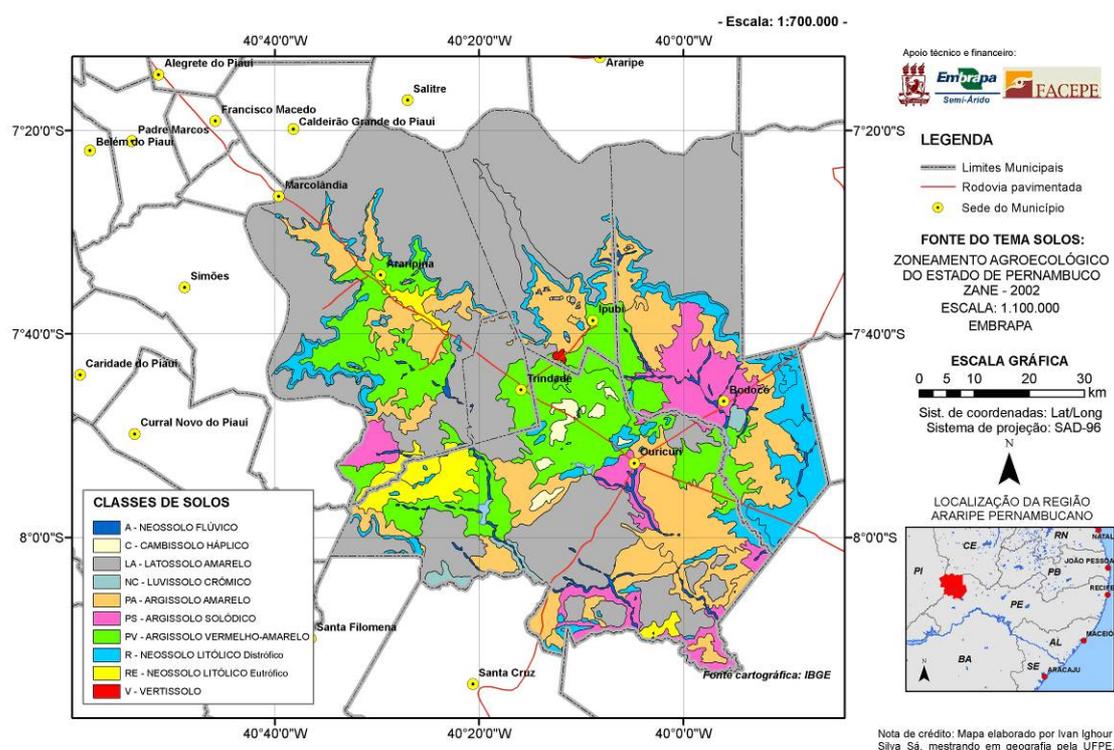


Figura 2. Solos da região do Araripe Pernambucano.
 (Adaptado do Zoneamento Agroecológico do estado de Pernambuco, 2004).

O Relevo predominante da região é constituído na sua maior parte pela Depressão Sertaneja, resultante de atuação de uma morfogênese recente que apresenta como fator principal a instalação da rede de drenagem do Rio São Francisco. Esta depressão caracteriza-se por apresentar um relevo geralmente plano e suave ondulado cujas declividades variam de 1 a 8%. Ocorrem também pediplanos em evolução com maiores ondulações, cujas declividades oscilam entre 8 e 30%. As altitudes desta área variam entre 360 e 570 m (Figura 3).

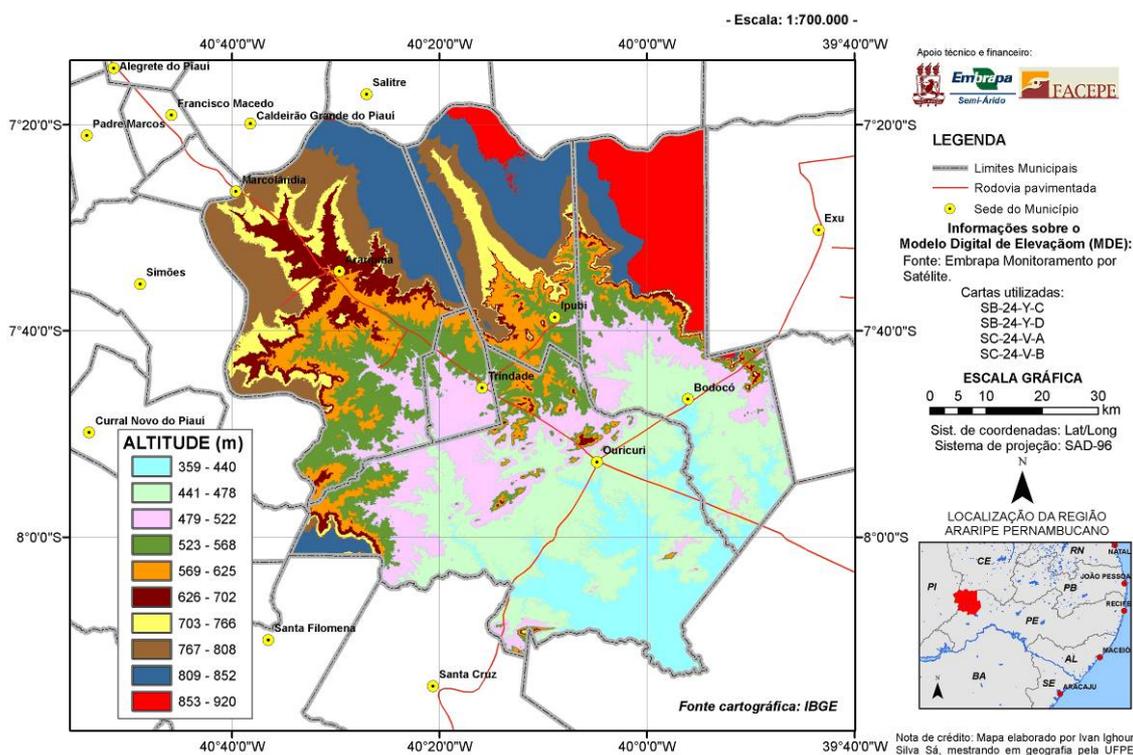


Figura 3. Altitude da região do Araripe Pernambucano.

Na região norte da área de estudo predominam os terrenos planos da chapada do Araripe. Trata-se de uma superfície estrutural conservada, elaborada em rochas sedimentares cretáceas e que se caracteriza por apresentar relevo suave ondulado, com encostas escarpadas e com altitudes médias variando entre 580 a 920 m (Figura 3).

As precipitações são baixas e irregulares em toda área, e a estação seca se prolonga por 7 a 10 meses, com temperatura média variando entre 24 a 26 °C. A semiáridéz é acentuada na parte mais baixa, onde os totais anuais precipitados variam entre 400 e 500 mm. Na região norte, que corresponde a Chapada do Araripe as precipitações aumentam, atingindo médias entre 700 e 800 mm.

O clima predominante da área de estudo é BSw^h conforme classificação de Köppen. Este tipo climático apresenta-se como quente semiárido, tipo estepe, com a estação chuvosa atrasada para o outono.

2.2. Processamento digital das imagens

2.2.1 Pré-processamentos

A primeira fase realizada por este estudo foi a escolha das imagens e das bandas a serem utilizadas. Segundo Chaves e MacKinon (1994), é de extrema importância a utilização das bandas espectrais com as informações adequadas para o estudo de mudança da paisagem.

Desta forma, foram selecionadas imagens do sensor Thematic Mapper (TM) do satélite LANDSAT 5, obtidas na órbita 217 e pontos 65 e 66 para as datas 08/09/1998 e 21/09/2008, ambas correspondentes à época seca, devido à dificuldade de se obter imagens durante o período chuvoso, onde há maior cobertura de nuvens (CARVALHO, 1986; KAZMIERCZAC, 1993). Além disso, segundo estes autores, a uniformização da cobertura vegetal na época chuvosa dificulta a discriminação dos diferentes tipos de caatinga.

A segunda fase foi o empilhamento das bandas 3, 4 e 5 de mesmo ponto para cada data. O resultado deste procedimento gerou imagens coloridas. As cenas coloridas dos pontos 65 e 66 foram mosaicadas com o intuito de se cobrir a região de estudo que está localizada na junção destes dois pontos.

A terceira fase correspondeu à correção geométrica que foi realizada com base na malha rodoviária da região, elaborada a partir de levantamento de campo com equipamento de sistema de posicionamento global (GPS) para a imagem de 2008, aplicando-se o método polinomial de 1ª ordem. A imagem de 1998 foi co-registrada com base na imagem de 2008 de forma automática no módulo “*AutoSync*” do Software “ERDAS IMAGINE 9.3”. Neste procedimento também foi aplicado o método polinomial de 1ª ordem alcançando a precisão de 0,5 pixel, o que corresponde a uma precisão aceitável uma vez que o erro foi de menos de 1 pixel (CROSTA, 1992). Este pré-processamento foi realizado para minimizar as distorções geométricas, provenientes das características do sensor utilizado e das variações decorrentes do movimento do mesmo durante a passagem sobre o alvo (LUIZ et al., 2003). Ainda sobre este pré-processamento Bernstein (1983) afirma que o uso de imagens em conformidade geométrica é fundamental para a detecção de mudanças no terreno, e que quando se pretende avaliar diferença nas feições do ambiente em imagens multitemporais, é necessária uma correção geométrica extremamente precisa.

2.2.2 Processamentos de imagens

2.2.2.1 NDVI

A quarta fase constitui no recorte para a área de estudo utilizando a malha municipal digital do IBGE para então ser realizada a retificação radiométrica das bandas 3 (vermelho), 4 (infravermelho próximo) e 5 (infravermelho médio) por meio da conversão dos números digitais em radiância utilizando a equação 1 (BASTIAANSEN, 2000), obtendo como resultado, as imagens multitemporais em modo radiância.

$$L\lambda = ND \cdot \frac{L_{\max} - L_{\min}}{255} + L_{\min} \quad (1)$$

onde $L\lambda$ é a radiância de cada banda, ND é o valor do número digital do pixel na banda λ e L_{\max} e L_{\min} são a radiância máxima e mínima expressas em $Wm^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$ para o sensor e banda em questão.

Para o cálculo do NDVI (equação-3) proposto por Rouse et al. em 1974 estas imagens em modo radiância foram convertidas em imagens reflectância através da equação 2.

$$\rho\lambda = \frac{\pi \cdot L\lambda \cdot d^2}{ESol\lambda \cdot \cos\theta_s} \quad (2)$$

onde $\rho\lambda$ é a reflectância planetária ao nível de satélite para cada banda, π é o ângulo sólido do hemisfério projetado, $L\lambda$ a radiância espectral na abertura do sensor em $Wsr^{-1} m^{-2} \mu m^{-1}$ para cada banda (Equação 1), d é a distância do Sol à Terra em Unidades Astronômicas, $ESol\lambda$ é a irradiância solar média espectral extraterrestre em $Wm^{-2} \mu m^{-1}$, θ_s é o zênite solar no pixel da imagem em questão que, para simplificar, utiliza-se o ângulo central fornecido na imagem.

Para o cálculo do NDVI, utilizou-se a seguinte equação:

$$IVDN = \frac{\rho^4 - \rho^3}{\rho^4 + \rho^3} \quad (3)$$

onde ρ^4 e ρ^3 são as reflectâncias planetárias ao nível do satélite landsat 5 na banda 4 e na banda 3, respectivamente.

2.2.2.2 Detecção de mudanças a partir do método dos Componentes principais (CP).

A fim de identificar as áreas de mudança na cobertura do terreno foi utilizada a técnica de análise por componentes principais seletivas, como descritas por Jiaju (1988) e Chaves e Mackinnon (1994). Foi tomado como base pares das imagens de radiância da banda 3 dos anos de 1998 e 2008 e calcularam-se as duas principais componentes por meio do módulo “*Principal components*” do ERDAS IMAGINE 9.3. A escolha desta banda está em conformidade com Maldonado (2004).

O resultado da aplicação desta técnica é uma imagem com duas componentes. A primeira componente (1ª CP) não foi utilizada, pois ela está associada ao eixo de maior correlação, o qual se admite ser representativo das feições comuns (JIAJU, 1988; CRÓSTA, 1992), e a segunda componente (2ª CP) foi tomada como expressão das mudanças ocorridas de uma data para outra.

A aquisição da imagem detecção de mudanças foi feita com base no fatiamento do histograma da 2ª CP em cinco partes (Figura 4). Os limiares das classes de mudanças e não mudanças foram baseados em Eastman e Fulk (1993) e Goeffre (1997), que obtiveram uma discriminação satisfatória das mudanças produzidas pela atividade pastoril em savanas.

A imagem detecção foi obtida do fatiamento do histograma da 2ª CP, com limites localizados a 1σ e a 2σ , conforme estão apresentados na Figura 4. Entre o valor médio da radiância e o desvio padrão positivo e negativo são determinadas as regiões de não-mudança. A partir do limite de não mudança são definidas as áreas de recuperação e degradação.

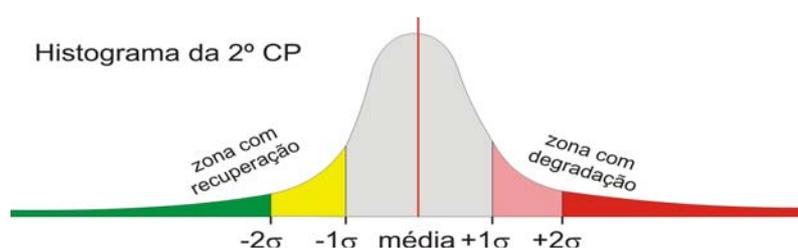


Figura 4. Esquema do fatiamento do histograma da segunda componente (2ª CP), produto da análise de componentes principais (ACP).

As imagens coloridas geradas através da composição RGB, para as bandas 5-4-3, também auxiliaram na extração de informações e avaliação qualitativa da classificação da segunda componente (2ª CP).

Para se avaliar o estresse hídrico da vegetação, bem como possíveis diferenças na radiometria da imagem, foram levantados dados de precipitação dos meses anteriores à

aquisição das cenas utilizadas neste trabalho fornecidos pelo Laboratório de Meteorologia do Estado de Pernambuco.

2.2.2.3 Mapa temático da degradação ambiental da região do Araripe Pernambucano

Para avaliar e cartografar a degradação da terra, segundo a FAO (1984), é necessário descrever e quantificar os seguintes critérios: o estado atual, a velocidade de degradação e o risco de degradação. O estado atual de degradação da terra reflete a situação atual que se apresentam os recursos naturais que estão sendo avaliados (água, solo, vegetação, etc). A velocidade da degradação se refere à rapidez com que os processos de degradação avançam em uma determinada região. E para avaliar esta velocidade deve-se conhecer o período de tempo ocorrido do processo para se obter as informações de mudanças por unidade de tempo. Finalmente o risco de degradação da terra, que é considerada a susceptibilidade à degradação do terreno, que pode ser obtida por meio de uma estimativa futura dos processos de degradação que podem ocorrer na área de estudo.

As classes utilizadas para cartografar os riscos de desertificação deste trabalho seguem os critérios da FAO (1984) que limitam as classes de degradação em fraca, quando a área reúne todas as condições favoráveis ao seu uso; moderada, que ocorre quando as intervenções na terra têm um efeito prejudicial, mas não é muito provável que essas ações promovam a perda do potencial produtivo da terra; severa, que ocorre quando a área reúne condições que farão que o uso da terra se torne impraticável, a menos que outras circunstâncias particulares sejam propícias; e muito severa, que ocorre quando as condições do uso da terra se tornam impraticáveis ou economicamente inviáveis.

Desta forma, a criação do mapa temático da degradação/desertificação da Região do Araripe Pernambucano foi realizada com base no estágio atual da cobertura vegetal e nas mudanças do ambiente, através do cruzamento entre os dados do NDVI do ano de 2008 e a 2ª CP que são as mudanças entre os anos de 1998 e 2008. O fluxograma da criação do mapa temático da degradação está demonstrado na Figura 5.

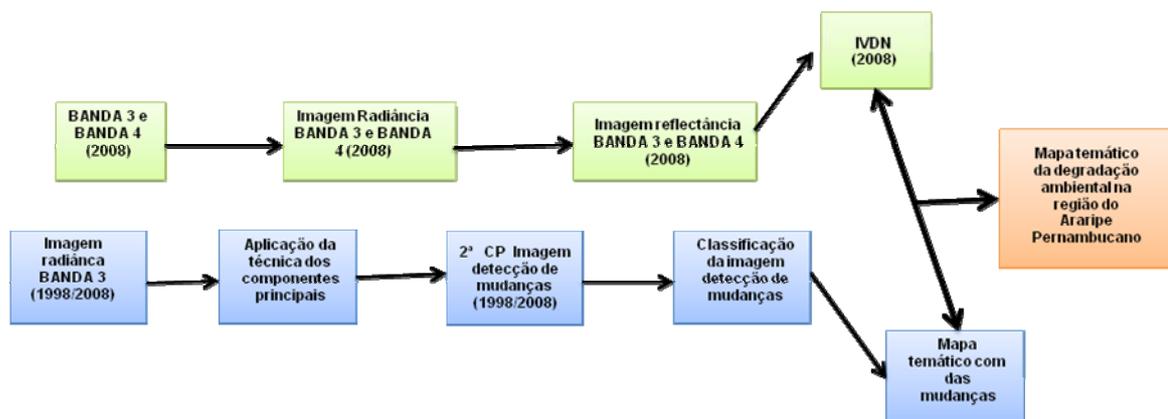


Figura 5. Fluxograma de avaliação da degradação das terras da Região do Araripe Pernambucano.

Os critérios adotados para a delimitação de cada classe são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Classes de degradação da região do Araripe Pernambucano resultante do cruzamento entre o mapa de cobertura do terreno e o das mudanças ocorridas entre 1998-2008.

Cobertura do terreno	Classes de mudanças				
	Recuperação Forte	Recuperação fraca	Não-mudança	Degradação fraca	Degradação forte
Solo exposto	-	-	Muito severo	Muito severo	Muito severo
Vegetação rala	Severo	Severo	Severo	Severo	Severo
Vegetação semi-rala	Moderado	Moderado	Moderado	Moderado	Moderado
Vegetação semi-densa	Fraco	Fraco	Fraco	-	-
Vegetação densa	Fraco	Fraco	Fraco	-	-

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste tópico é apresentado o estágio atual da cobertura vegetal, a dinâmica da paisagem, e a degradação do ambiente na Região do Araripe Pernambucano.

3.1 Avaliação da precipitação

Na Figura 6 estão apresentados os totais precipitados nos municípios da Região do Araripe Pernambucano nos anos de 1998 (Figura 6a) e 2008 (Figura 6b). Nota-se que os totais precipitados no ano de 1998 que antecedem a data da passagem do satélite foi da ordem de 3 mm em Araripina e 2,0 mm em Bodocó. Não foram registradas precipitações nos municípios

de Ipubi e Ouricuri. Já em 2008 foi observada precipitação após a data de aquisição da imagem, equivalente a 12 mm em Bodocó, 11,8 mm em Ouricuri e 21,9 mm em Ipubi. Em agosto de 2008 foi observada uma precipitação de 1,7 mm em Ipubi e 1,1 mm em Ouricuri. Neste sentido, pode-se indicar que a cobertura vegetal da região analisada encontrava-se nas mesmas condições de disponibilidade hídrica para o período de 1998 e 2008. É de suma importância analisar a precipitação quando se pretende avaliar a cobertura vegetal em ambientes semiárido, pois neste a resposta da caatinga à precipitação é quase que imediata, fazendo com que se altere a classe de cobertura vegetal como foi analisado em Andrade & Oliveira (2004). Não são encontrados na literatura dados do limite mínimo precipitado que altera a cobertura vegetal.

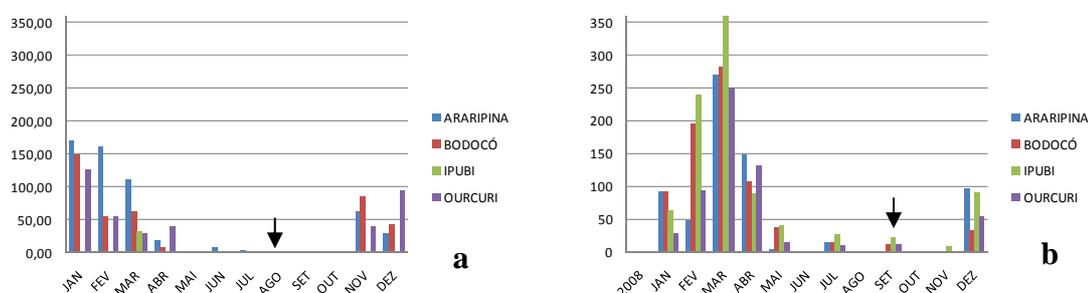


Figura 6. Totais pluviométricos na região do Araripe pernambucano nos anos de 1998 (a) e 2008 (b).

3.2 Cobertura Vegetal

Com base nos valores estimados do índice de vegetação por diferença normalizada (IVDN) e nas visitas de campo pode-se observar que a cobertura vegetal da Região do Araripe Pernambucano se apresenta nas formas rala e semi-rala (Figura 7a e 7b), assim como a semi-densa e densa (Figura 8a e 8b). A espacialização dessas coberturas vegetais está demonstrada na Figura 9.

A vegetação rala corresponde às áreas de uso agropecuário que, por se caracterizar em atividades de sequeiro, encontram-se no final do seu ciclo na época de aquisição da imagem utilizada neste trabalho (época seca). Para este tipo de cobertura o NDVI variou entre 0,1185 a 0,2670. A vegetação semi-rala corresponde às áreas onde a vegetação natural do tipo Savana Estépica Arborizada e as áreas de contato entre vegetação do tipo Savana, Savana Estépica e Floresta estacional encontram-se em estágio de regeneração, possuindo o NDVI entre 0,2670 a 0,3210.



Figura 7. Área de cobertura vegetal rala (a), UTM: 24 L 367969 9108174; Área de cobertura vegetal semi-rala (b), UTM: 24 M 375080 9118152.

A cobertura vegetal semi-densa, que corresponde às áreas de Savana Estépica arborizada em seu estágio natural e algumas áreas de contato, apresentou IVDN variando entre 0,3210 e 0,3885. Já a vegetação densa, que corresponde às áreas de contato localizadas ao longo da Chapada do Araripe, possui IVDN variando entre 0,3885 e 0,8070, assim como as áreas de Savana Estépica Florestada.



Figura 8. Área de cobertura vegetal semi-densa (a), UTM: 24 L 370687 9109426; Área de cobertura vegetal densa (b), UTM: 24 M 345467 9172391.

O IVDN também conseguiu detectar áreas de solo exposto/solo úmido variando para esta situação entre -0,0569 e 0,1185, enquanto os corpos hídricos apresentaram IVDN variando entre -0,9750 e -0,0569.

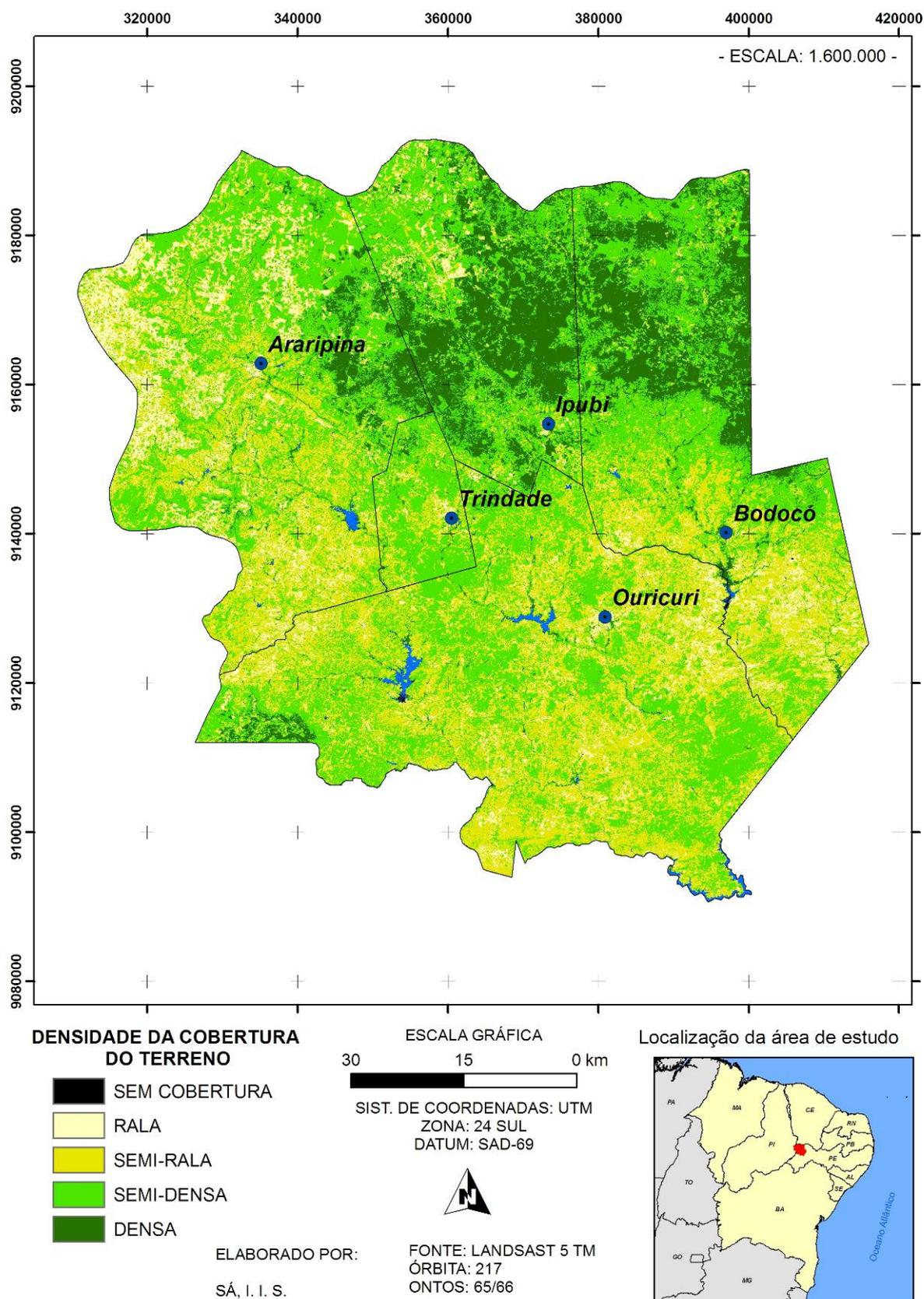


Figura 9. Espacialização da cobertura vegetal na região do Araripe Pernambucano.

3.3 Imagem detecção de mudanças a partir do método dos Componentes principais

A Figura 10 mostra a imagem de detecção de mudanças da cobertura vegetal entre o período de 1998 e 2008 na região do Araripe-PE. Essa imagem foi dividida em cinco classes, sendo uma de não-mudança, duas de degradação e duas de recuperação. O aumento da cobertura vegetal (recuperação) está apresentado na Figura 10 nas classes de cores amarelo, para a recuperação fraca, e verde, para a recuperação forte. Estas duas classes representam a regeneração vegetal da caatinga ou a implantação de culturas agrícolas, como por exemplos: a regeneração da vegetação nativa após a extração da lenha (Figura 11a), que iram se enquadrar em forte ou fraca a depender do tempo de recuperação, do tipo solo, dos níveis de precipitação, do tipo de exploração, dentre outros. Outra característica dessa classe seria a substituição espontânea da caatinga por a espécie exótica Algaroba (*Prosopis juliflora*) que acontece ao longo das áreas de preservação permanentes dos corpos hídricos (Figura 11b), bem como a criação de pomares residenciais com espécies frutíferas (Figura 11c) eo abandono das áreas com atividades agrícolas.

Analisando também a Figura 10, observou-se que a classificação da componente principal englobou, na classe recuperação, áreas onde os corpos d'água não existiam na primeira data (1998), e como degradação os que existiam na primeira data e não na segunda. Isto ocorreu pela forte absorção da água e alta reflectividade do solo na banda do vermelho. Daí, as áreas dos corpos hídricos não foram levadas em consideração na quantificação da perda e reconquista da cobertura vegetal na área de estudo. A interferência destes corpos hídricos na análise de mudança é da ordem de 25,05 km².

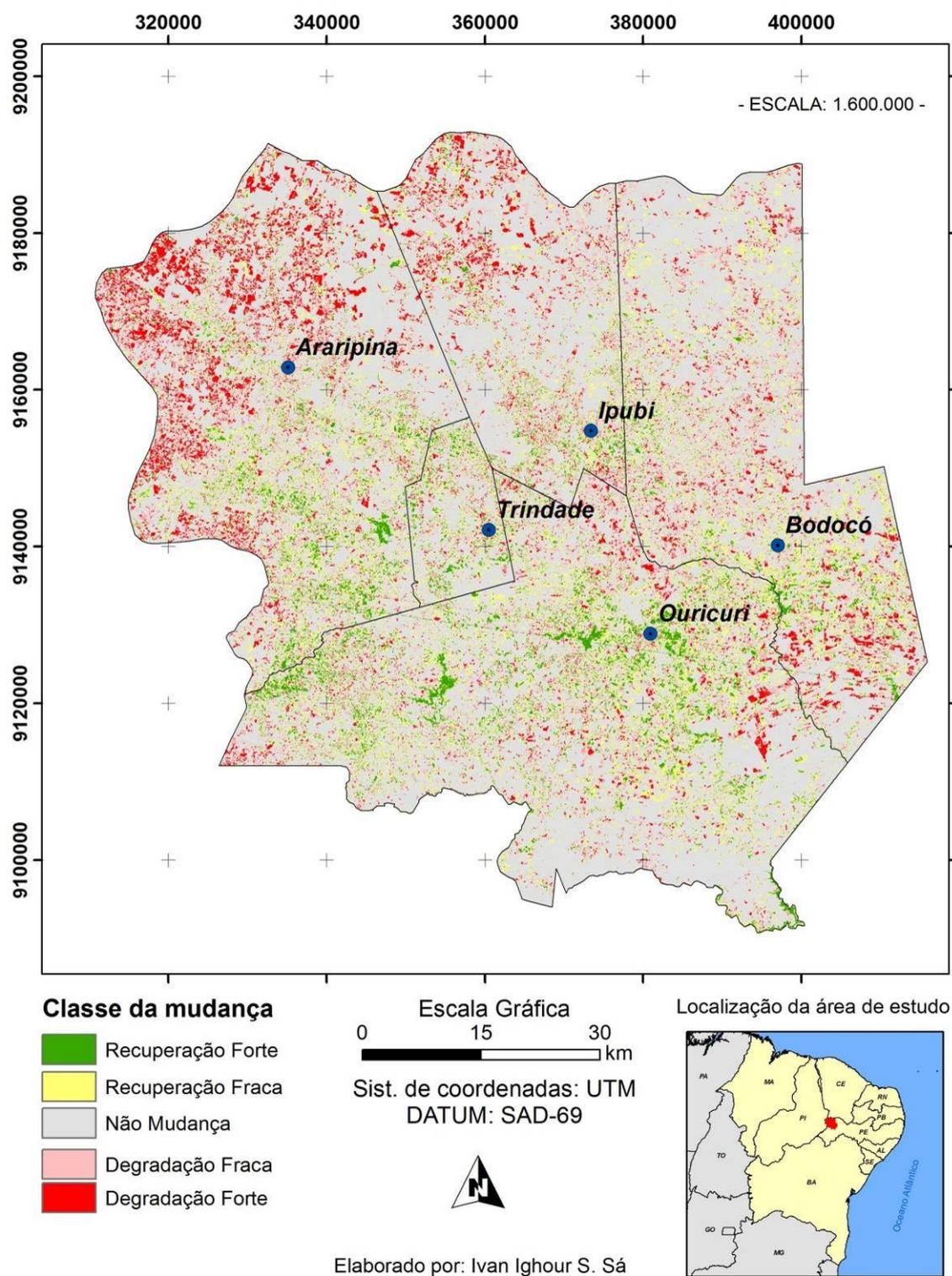


Figura 10. Imagem detecção de mudanças ocorridas na Região do Araripe pernambucano entre os períodos de 1998 e 2008.



Figura 11. Área de caatinga em recuperação (a), UTM: 24 M 378433 9124559; Algaroba na margem de riacho (b), UTM: 24 M 379059 9126354; Pomar em área residencial (c), UTM: 24 M 376173 9132142.

A partir da quantificação da classificação da 2ª CP (Figura 12), pode-se observar que a soma das áreas de recuperação dos municípios que formam a região do Araripe pernambucano é da ordem de 1.119,77 km², que corresponde a 15,81% da área total da região do Araripe. O município de Ouricuri apresentou a maior área de recuperação, com 21% da sua área em processo de recuperação. Também foi quantificada que a perda de cobertura vegetal da Região do Araripe foi da ordem de 1.143,74 km² entre o período de 1998 a 2008. O município que mais desmatou foi o de Araripina (420,25 km²), seguido de Ouricuri (272,48 km²), Bodocó (257,13 km²), Ipubi (169,27 km²) e Trindade (24,61 km²) (Figura 13). Esse desmatamento representa um total de 16,14% da região de estudo.

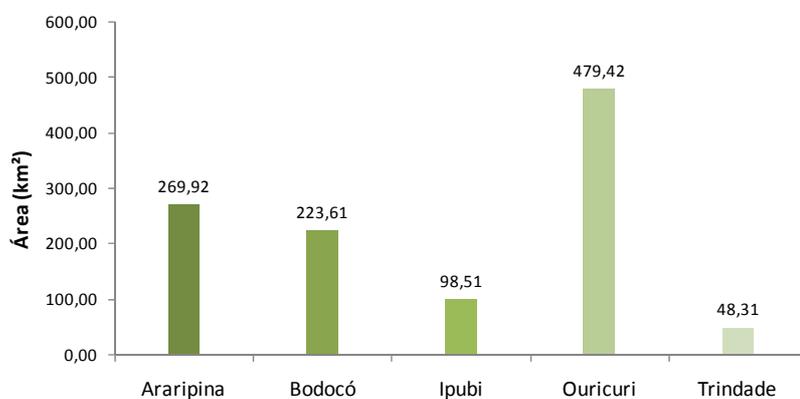


Figura 12. Quantificação das áreas (km²) de recuperação vegetal na região do Araripe.

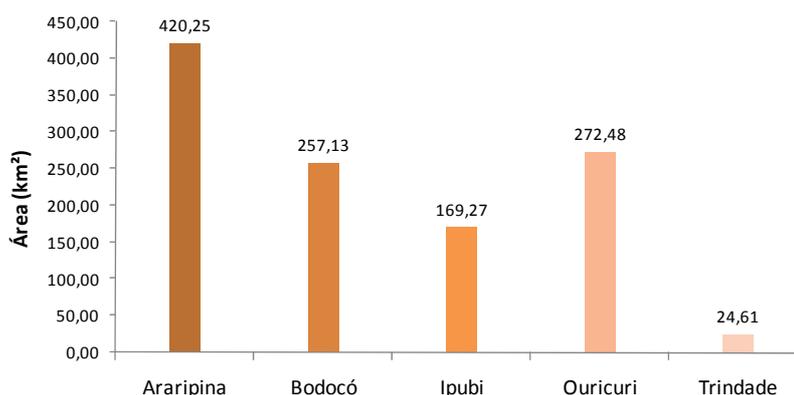


Figura 13. Quantificação das áreas (km²) de perda de cobertura vegetal na região do Araripe.

Estes dados estão em conformidade com os apresentados pela FUNDAJ (2009), que mostram que a cobertura florestal da região do Araripe, no Sertão de Pernambuco, sofreu uma baixa em aproximadamente 169 mil hectares (1.690 km²) nos últimos 15 anos. Esta instituição ainda ressalta que a região mais afetada está localizada no pólo gesseiro, formado por cinco municípios que foram estudados neste trabalho.

Quando se analisa os valores relativos pode-se observar que o município de Araripina teve 22,02% de sua área desmatada, seguida por Ipubi (17,44%), Bodocó (16,08%), Ouricuri (11,46%) e Trindade (10,74%) (Figura 14).

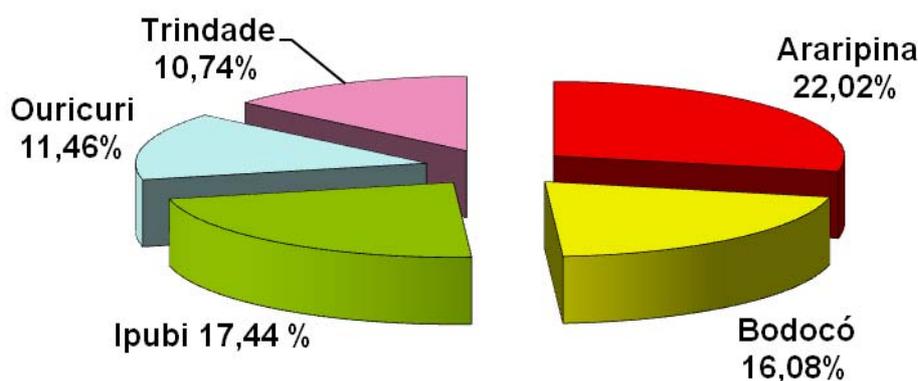


Figura 14. Quantificação em termos relativos da perda de cobertura vegetal da Região do Araripe.

Pode ser constatada durante a verificação no campo que a perda da cobertura vegetal tem grande relação com sua remoção para atender às necessidades do setor agrícola, na utilização das terras para a agricultura de sequeiro, causando a completa remoção da

vegetação nativa, bem como o desmatamento para a utilização da lenha nas fabricas que calcinam a gipsisita explorada na região.

As áreas onde não ocorreram mudanças estão quantificadas em 4.820,09 km². Esta classe engloba tanto as áreas de vegetação que não foram exploradas, como também as de uso agropecuário que vêm sendo exploradas continuamente por práticas de manejo baseadas em agricultura de sequeiro, e também áreas onde a cobertura vegetal não conseguiu se regenerar.

3.3 Mapa temático da degradação ambiental da região do Araripe Pernambucano.

A tentativa de cartografar a degradação/riscos de desertificação da Região Araripe pernambucano com base no cruzamento dos mapas de estágio atual da cobertura vegetal e da dinâmica da paisagem, gerou o mapa temático da distribuição espacial da degradação ambiental da região estudada (Figura 15). A quantificação de cada classe cartografada encontra-se demonstrada na Tabela 2.

Na classe de risco de desertificação muito severo são contempladas as áreas que atualmente não apresentam cobertura vegetal (solo exposto) e que as mesmas não apresentaram mudanças durante o período analisado (1998 a 2008). É pouco perceptível esta classe na Figura 15, mas a região possui risco de desertificação muito severo, como mostra a Tabela 2. Esta classe está apresentada na cor vermelha e abrange uma área de 9,9 km². Em geral, a região em estudo possui risco de desertificação de severo a fraco. Com sua maior área com risco fraco.

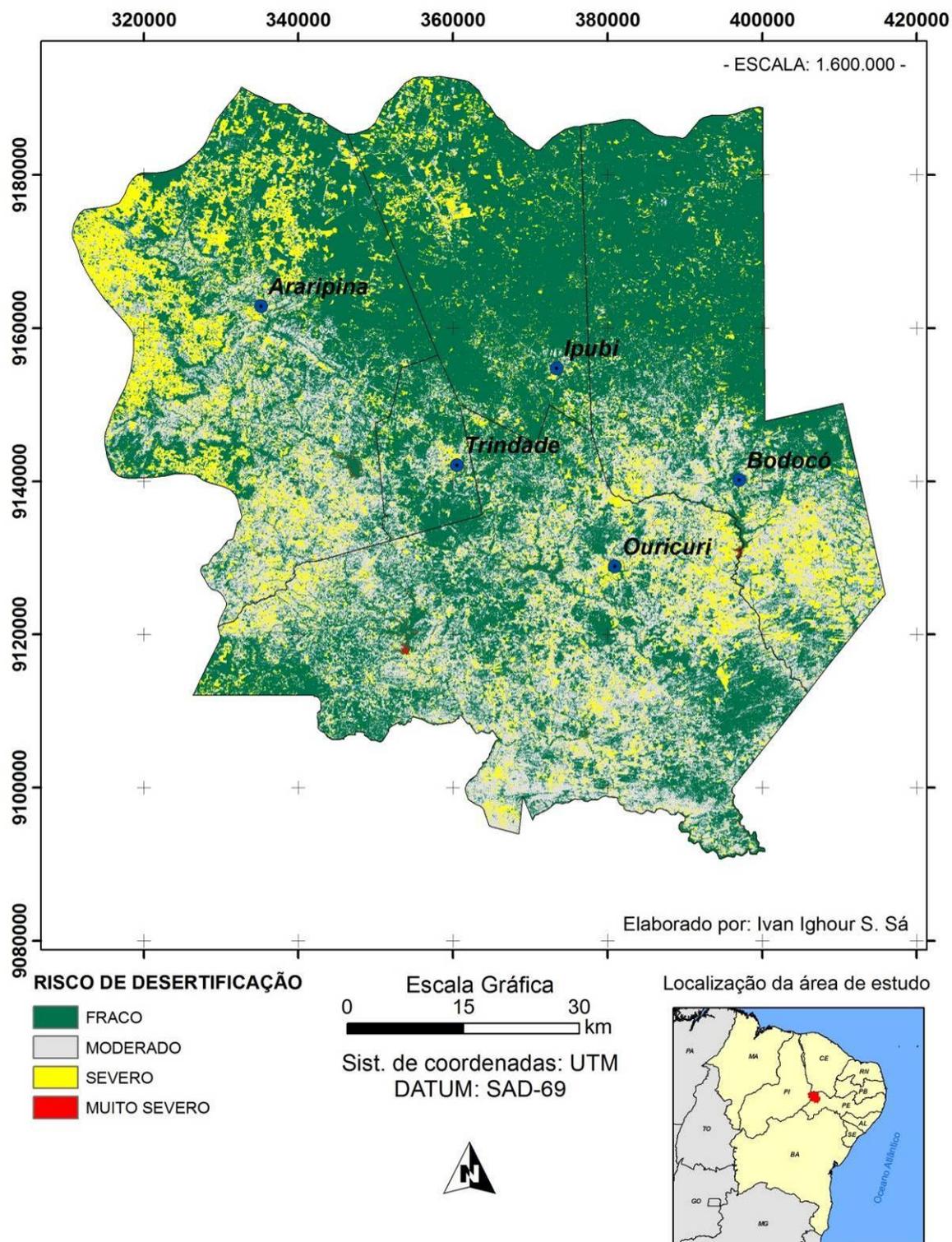


Figura 15. Distribuição espacial da degradação ambiental na região do Araripe pernambucano.

As áreas de não mudança, e onde a cobertura vegetal se encontra na forma rala, correspondendo às atividades agropecuárias da região que vem se desenvolvendo a pelo

menos dez anos através de sistemas tradicionais de produção, possuem então susceptibilidade a desertificação severa e se apresenta na Figura 15 na cor amarela.

É importante ressaltar que a classe de degradação severa também contempla os cruzamentos das áreas onde houve degradação e recuperação no período analisado com a vegetação rala. Esta situação corresponde à substituição da vegetação natural pelas culturas agrícolas e pastos (degradação), bem como diversificação das culturas (regeneração). Esta classe abrange uma área de 953,15 km², como mostra a Tabela 2. Ainda pode-se constatar através das observações no campo, que estas áreas estão localizadas sobre os solos de alta fertilidade que foram e que estão sendo intensivamente exploradas através de práticas que ainda utilizam o fogo como formas de preparo do solo. Desta forma, estas áreas merecem atenção especial por parte dos órgãos governamentais, no sentido de se elaborar políticas públicas de desenvolvimento contemplando a implantação de tecnologias voltadas à convivência com o Semiárido e incentivos financeiros. O município mais impactado é o de Araripina (412,38 km²).

Tabela 2. Distribuição das áreas (km²) de degradação da região Araripe Pernambucano.

	ARARIPINA	BODOCO	IPUBI	OURICURI	TRINDADE	TOTAL
FRACO	949,47	1075,33	825,95	1060,68	151,98	4063,41
MODERADO	544,6	362,76	56,46	1035,77	58,28	2057,87
SEVERO	412,38	159,38	87,32	275,16	18,91	953,15
MUITO SEVERO	1,82	2,04	0,64	5,34	0,06	9,90
TOTAL	1908,27	1599,51	970,37	2376,95	229,23	7084,33

A classe de degradação moderada está representada na cor cinza na Figura 15. Esta classe englobou as áreas onde não houve mudanças no ambiente e a vegetação natural se encontra em estágio de regeneração (semi-rala). Também foi cartografado nesta classe o resultado do cruzamento entre a vegetação semi-rala com classe de mudança degradação, e regeneração. No primeiro caso pode-se observar que exploração da cobertura vegetal ocorreu após a primeira data analisada (1998); estas áreas tiveram tempo então para iniciar o processo de regeneração. Em relação à regeneração da Caatinga as informações contidas em Sá et al. (1994) podem corroborar com esta afirmativa. Segundo estes autores a composição florística das caatingas, apresentam espécies dotados de um forte poder de rebrota, e que são capazes de reconstituir o ambiente num período relativamente curto, que varia entre 10 e 15 anos. A preservação destas áreas torna-se então importante para garantir que a vegetação complete o ciclo de regeneração natural e garanta moradia à fauna local, estoque de material

lenhoso para que possa ser utilizado no futuro, bem como garanta a cobertura do solo. Esta classe abrange uma área de 2.057,87 km².

O cruzamento das áreas onde a vegetação atual se encontra na forma semi-densa a densa não apresentam risco de desertificação. Esta classe está mapeada na cor verde e abrange uma grande área da ordem de 4.063,41 km².

4. CONCLUSÕES

- A cobertura vegetal da região do Araripe se apresenta sob quatro formas: rala, semi-rala, densa e semi-densa.
- O desmatamento na região do Araripe é da ordem de 1.143,74 km², enquanto que a regeneração da cobertura vegetal é da ordem de 1.119,77 km² para o período entre os anos de 1998 e 2008.
- A classe de degradação “muito severa” ocorre em apenas 9,9 km² na região do Araripe. Desta forma, são as atividades agropecuárias pertencente à classe “severa” que causam grande impacto para a cobertura do solo e necessitam de atenção especial. Este impacto é da ordem de 953,15 km², sendo o município de Araripina (412,38 km²) o mais impactado e que necessita de esforço maior para sua reabilitação.

AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem a Fundação de Amparo a Ciência do Estado de Pernambuco (FACEPE) pelo apoio financeiro aos estudos e ao LAMEPE pela disponibilização dos pluviométricos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMOROX, J. A. La erosion en un ambiente mediterráneo. Discusión metodológica y aplicación al término municipal de Alcalá Del Valle. **Tesis Doctoral**. E. T. S. I. Agrónomos. Universidad Politécnica de Madrid. pp 268, (1993).

ANDRADE, J. B; OLIVEIRA, T. S.; Análise espaço-temporal do uso da terra em parte do semi-árido cearense. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Fortaleza, v.28, p. 393-401, 2004.

BASTIAANSEN, W. G. M. SEBAL – based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. **Journal of Hydrology**, v.229, p.87-100, 2000.

BERNSTEIN, R. Image geometry and rectification. In: R.N. Colwell, ed., **Manual of Remote Sensing**, 2nd ed. Virginia: American Society of Photogrammetry, p.873-922, 1983.

BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE, DOS RECURSOS HÍDRICOS E DA AMAZÔNIA LEGAL (MMA). **Convenção das Nações Unidas de combate a desertificação**: Nos países afetados por seca grave e/ou desertificação, particularmente na África. 2. ed. Brasília, DF: MMA: Plano Nacional de Combate a Desertificação, 1998. 95 p.

BYRNE, G. F.; CRAPPER, P.F.; MAYO, K.K. Monitoring land cover change by principal componentes analysis of multitemporal Landsat data. **Remote Sensing of Environment**, v.10, n.3, p.175-185, Nov 1980.

CARVALHO, V. C. **Structure et dynamique de la vegetation de milio tropical semiaride. La Caatinga de Quixabá (Pernambouc, Brésil) du terrain a l'analyse des données MSS/Landsat**. 1986. 332p. (INPE-4049-RPE/524). Tesis (Doctorado em Geografia) - Universidad de Toulouse. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1986.

CAVALCANTI, R. C.; ARAÚJO, N. C. F. de. **O uso de energia de biomasa no Bioma Caatinga**. SEMANA DO MEIO AMBIETE. 5, 2008. Recife: Fundação Joaquim Nabuco. Recife.

CHAVEZ, P. S.; MacKinnon, D. J. Automatic detection of vegetation changes in Southwest United States using remotely sensed images. **Photogrametric Engineering & Remote Sensing**, v.60, n.5, p.571-583, May 1994.

CONESE, C.; MARACCHI, G.; MIGLIETTA, F.; MASELLI, F.; SACCO, V. M. Forest classification by principal component analyses of TM data. **International Journal of Remote Sensing**, v.9, n.10, p.1597-1612, 1988.

CROSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas: UNICAMP, 1992. 170 P.

DIAZ, M. C.; ALMOROX, J. A. La erosion del suelo. In: **Agricultura y medio ambiente**. El campo. Servicios de studios, BBV. Madrid, 286: 81-92, 1994.

EASTMAN, J.R.; FULK, M. Long sequence time series evaluation using standardized principal components. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, v.59, n.6, p.991-996, 1993.

EMBRAPA. Zoneamento Agroecológico de Pernambuco – ZAPE. Recife, Embrapa Solos – UEP-Recife. Il. 1CD Rom. 2004.

FAO, (1984). **Metodologia provisional para la evaluación y rerepresentación cartográfica de la desertification**. Roma Italia. 50 pp.

FUNDAÇÃO JOAQUIM NABUCO (FUNDAJ), 2009. **REGIÃO DO ARARIPE SOFRE IMPACTO DO DESMATAMENTO**. Disponível em: <http://www.fundaj.gov.br/notitia/servlet/newstorm.ns.presentation.NavigationServlet?publicationCode=16&pageCode=819&textCode=7153&date=currentDate>. Acesso em 12/08/2009

GOEFFREY, M. H. Detecting change in grasslands using measures of spatial dependence whit Landsat TM data. **Remote Sensing of Environment**, v.46, n.4, p.223-234, 1997.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Manual Técnico da Vegetação Brasileira. **Série Manuais Técnicos em Geociências**, nº1. Rio de Janeiro, IBGE, 1992.

IMESON, A. An eco-geomorphological approach to the soil degradation and erosion problem. In: Desertification in Europe: **Proceedings of the International Symposium in the EEC Programme on Climatology**. Fantechi R. & Margaris N. S. (eds). Reidel Publishing Company, Dordrecht, Th Netherlands, (1984).

JIAJU, L. Development of principal component analysis applied to multitemporal Landsat TM data. **International Journal of Remote Sensing**, v.9, n.12, p.1895-1907, 1988.

KAZMIERCZAK, M. L. **Índice de vegetação derivado do NOAA/AVHRR: análise da sazonalidade da cobertura vegetal em região de clima semi-árido (caatinga)**. Fortaleza: FUNCEME, 1993. 106p.

LEE, D.C.L.; SHIMABUKURO, Y.E.; HERNADEZ FILHO, P. Análise de componentes principais para o monitoramento de áreas reflorestadas. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 6., 1990, Manaus. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1990. p.48-60.

LEITE, F.R.B.; OLIVEIRA, S.B.P.; BARRETO, M.M.S.; CARVALHO, G.M.B.S.; FREITAS FILHO, M.R. Degradação ambiental e susceptibilidade aos processos de desertificação na região do Médio Jaguaribe – CE. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11, 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. p. 1315-1322.

LOPES, H. L. **Modelagem de parâmetros biofísicos para avaliação de riscos à desertificação**. 2005. 101 p. Dissertação (Ciências Geodésicas e Tecnologia da Informação) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife. 1999.

LOPEZ-BERMUDEZ, F. Génesis y consecuencia de los procesos erosivos de condiciones ambientales mediterráneas. **Seminário “Erosión del suelo em condiciones ambientales mediterráneas”**. Universidad Internacional Menéndez Pelayo, alencia. 108 pp, 1990.

LUIZ, S.; OLIVEIRA, C. G.; OKIDA, R. Comparação entre diferentes métodos de correção geométrica em imagem Radarsat-1 no FLONA Tapajós. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11. (SBSR), 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. p. 325-332. CD-ROM, Online. ISBN 85-17-00017-X.

MALDONADO, F. D. **Desenvolvimento e avaliação de uma metodologia para detecção de mudanças na cobertura vegetal do semi-árido**. 2004. 313 p. (INPE-12679-TDI/1007). Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2004

MATALLO JR., Heitor. “A desertificação no Brasil: elementos para a formulação de uma política para seu controle”. In: **Anais do I Simpósio Brasileiro sobre Meio Ambiente e**

Desenvolvimento Sustentável do Semi-árido. Mossoró-RN, Fundação Vingt-un Rosado, 1997. (Coleção Mossoroense, Série E, Volume CMXLVIII.)

PARR, J. F., STEWART, B.A., ORNICK, S. B., SINGH R. P.. Improving the sustainability of dryland farming system: a global perspective. In, **Adv. Soil Science**, v.13, p.1-7, 1990.

RICHARDS, J. A. **Remote Sensing digital image analysis: an introduction** 2.ed. Camberra: Springer-Verlag, 1993. 340p.

ROUSE, J.W.; HAAS JR., R.H.; DEERING, D.W.; SCHELL, J. A.; HARLAN, J. C. Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation, NASA/GSFC type **III final report**: Greenbelt, Maryland, NASA, 1974, 371 p.

SÁ, I.B.; SÁ, I. I. S. Desertificação de áreas agrícolas no semi-árido brasileiro. In: Francisco Cláudio Lopes de Freitas; Décio Karam; Odaci Fernandes de Oliveira; Sergio Oliveira Procópio. (Org.). **Anais do I Simpósio sobre manejo de plantas daninhas no semi-árido**. 1 ed. Mossoró: Queima-Bucha, 2007, v. , p. 53-68.

SÁ, I. B.; FOTIUS, G. A.; RICHÉ, G. R. Degradação ambiental e reabilitação natural do Trópico Semi-árido Brasileiro. In: CONFERÊNCIA NACIONAL E SEMINÁRIO LATINO-AMERICANO DA DESERTIFICAÇÃO. Fortaleza, 1994, **Anais...** Fortaleza, 1994. P. 310-332.

SAMPAIO, E. V. S. B. & SALCEDO, I. Diretrizes para o manejo sustentável dos solos brasileiros: região semi-árida. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIENCIA DO SOLO, 26, Rio de Janeiro. **Anais**. Rio de Janeiro, 1997. CD-ROOM.

SAMPAIO, E.V.S.B.; SAMPAIO, Y.; VITAL, T.; ARAÚJO, S.B.; SAMPAIO, G.R. **Desertificação no Brasil**. Recife: Editora Universitária UFPE. 2003. 202 p.

SECTMA/Conselho Nacional da Reserva da Biosfera da Caatinga. **Cenários para o Bioma Caatinga**. Recife: SECTMA, 2004. 283 p.: il.

SECRETARIA DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E MEIO AMBIENTE (SECTMA). **Região do Araripe**: diagnóstico florestal/ Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente – Brasília-DF: Ministério do Meio Ambiente, 2007.

TABARELLI, M. F.; VICENT, A. Conhecimentos sobre plantas lenhosas da Caatinga: lacunas geográficas e ecológicas, p. 101-112 In: **Biodiversidade da Caatinga**: áreas e ações prioritárias (Silva, J. M. C.; Tabarelli, M.; Fonseca, M. F.; Lins, L. V.). MMA, Brasília, DF. 2003.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com este trabalho foi possível demonstrar um pouco da dinâmica da paisagem na Região do Araripe pernambucano. Ainda foi notório observar os remanescentes florestais existentes na área. Desta forma, a exploração da biomassa florestal existente deve ocorrer de forma sustentável, bem como devem ser elaboradas políticas públicas de desenvolvimento para as áreas que já sofreram com as ações do homem.

Neste sentido, nas áreas de remanescentes de vegetação, que é o caso da Savana Estépica Arborizada, Florestada, e as áreas de contato entre estas fisionomias com a Floresta Estacional, e que se enquadraram neste trabalho nas áreas com degradação fraca, devem ser incentivadas a extração de lenha através de planos de manejo florestais. Com esta ação pode-se garantir a proteção do solo, renda à população e a biodiversidade das espécies por meio da criação/regulamentação das áreas de reserva legal de cada propriedade. Ressalta-se ainda a importância de que as reservas de cada propriedade, se possível, sejam interligadas para se formar um grande corredor ecológico. Faz-se também necessária uma política de regularização fundiária para que se possa ter a posse da terra, que é a documentação inicial para a regulamentação destes planos de manejo.

Nas áreas que sofreram ações antrópicas e que possuem um grau de degradação moderado, é necessário que não haja intervenções, de modo que se permita esperar o tempo de regeneração da vegetação. Também é de suma importância, incentivar estudos acadêmicos no tocante a biodiversidade ao longo do período de recuperação, no sentido de se obter os incrementos em volume bem como a dinâmica florística deste processo, para garantir conhecimentos científicos sobre a vegetação da área, fornecendo assim informações úteis para fundamentar os planos de manejo que venham ser elaborados para a Região.

Paras as áreas de agropecuária, que possuem degradação muito severa, são indicadas políticas públicas que implantem as tecnologias de convivência com o semiárido. Dentre elas, pode-se destacar o cultivo de espécies resistentes à seca, a implantação de florestas energéticas de rápido crescimento, e a construção de cisternas. Estas ações irão garantir alimento, renda e qualidade de vida aos agricultores, além de fixá-los no campo.

E por fim, indica-se um monitoramento dos órgãos de fiscalização ambientais através da criação e manutenção de um banco de dados utilizando técnicas de sensoriamento remoto, para que se possa intervir e aplicar as punições cabíveis aos agentes degradantes.