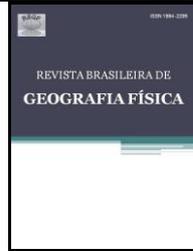




Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Avaliação da Degradação Ambiental na Região do Araripe Pernambucano Utilizando Técnicas de Sensoriamento Remoto

Ivan Ighour Silva Sá¹, Josiclêda Domiciano Galvêncio², Magna Soelma Beserra de Moura³, Iedo Bezerra Sá⁴

¹ Professor substituto; Colegiado de Engenharia Agrônoma; Universidade Federal do Vale do São Francisco-UNIVASF. E-mail: ighour@hotmail.com ² Professora adjunta; Colegiado de Ciências Geográficas; Universidade Federal de Pernambuco-UFPE. ³ Pesquisadora em Agrometeorologia; Embrapa Semiárido. ⁴ Pesquisador em Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto; Embrapa Semiárido,

Artigo recebido em 09/11/2011 e aceito em 27/12/2011

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

Evaluation of the Environmental Degradation in the Araripe from Pernambuco Area Using Techniques of Remote Sensing

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.

Keywords: Principal components, removal of the vegetable covering, desertification

* E-mail para correspondência: ighour@hotmail.com
(Sá, I. I. S.).

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 irreversíveis 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).

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).

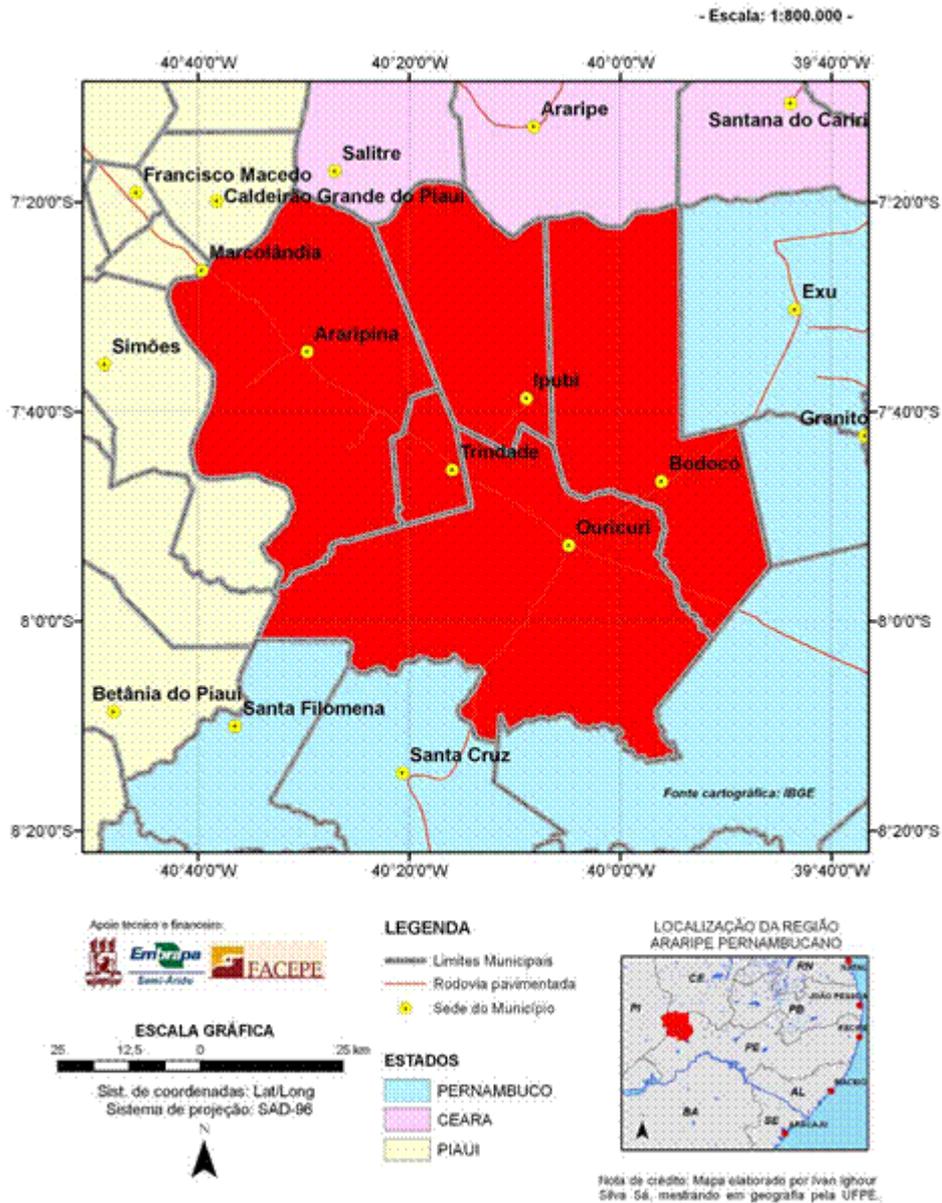


Figura 1. Localização da área de estudo.

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, plântico e não plântico, 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).

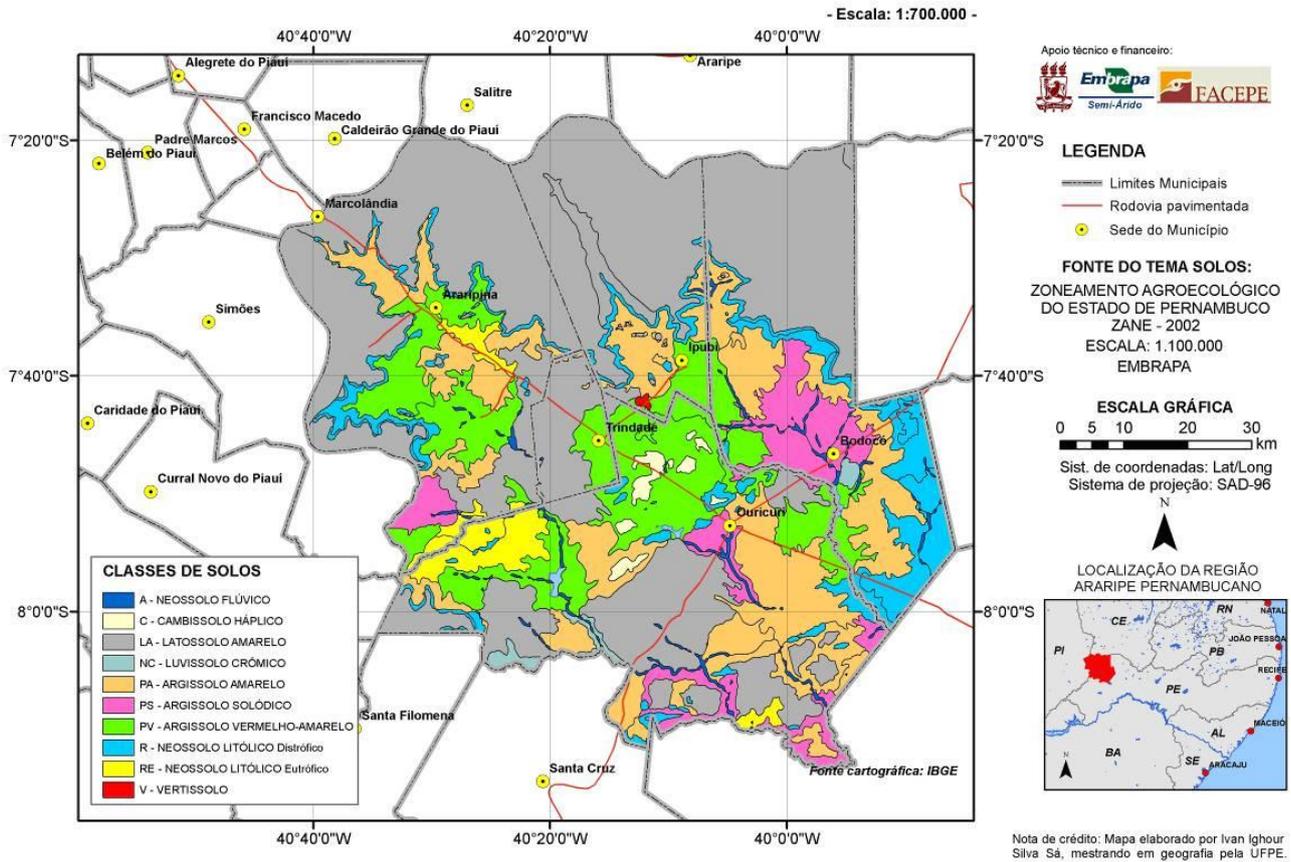


Figura 2. Solos da região do Araripe Pernambucano.

(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).

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 Koppen. Este tipo climático apresenta-se

como quente semiárido, tipo estepe, com a estação chuvosa atrasada para o outono.

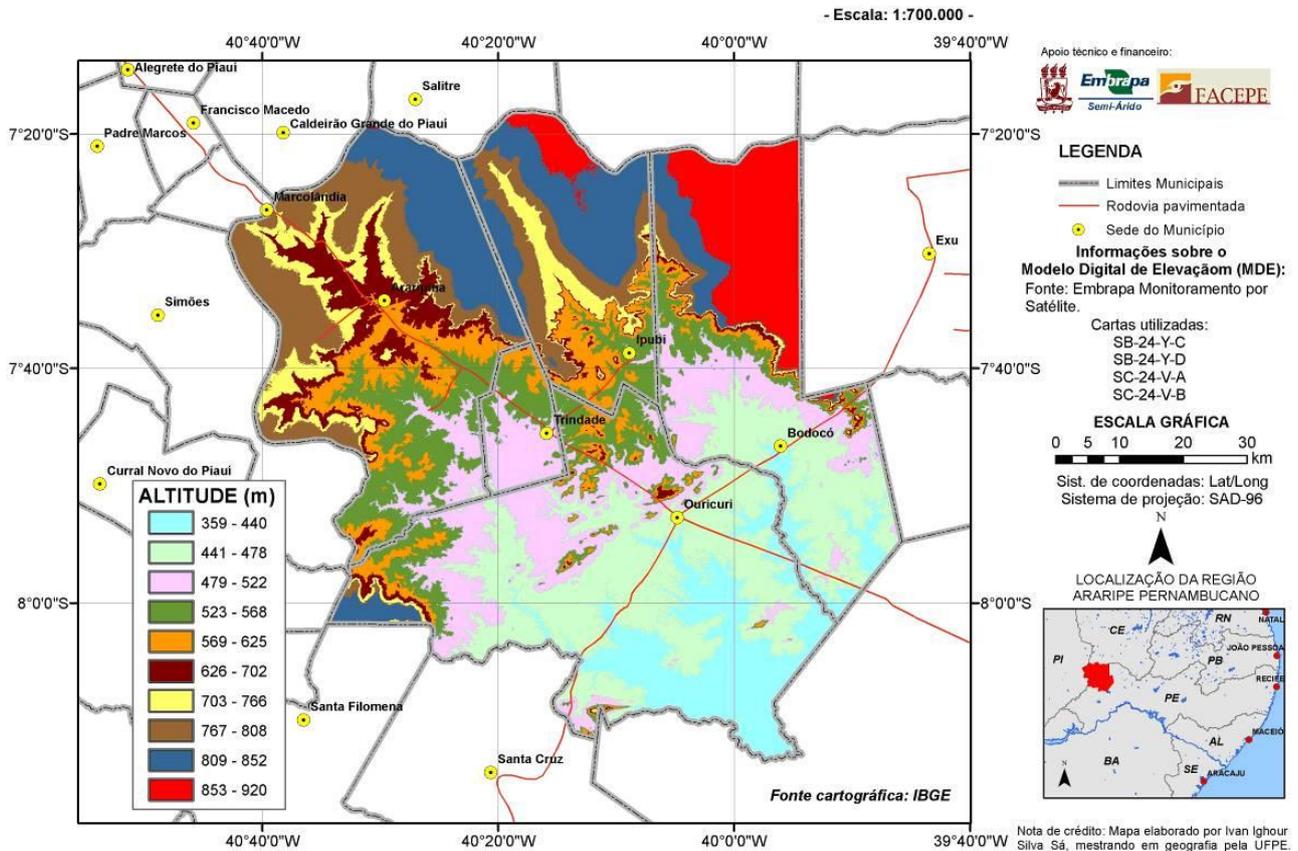


Figura 3. Altitude da região do Araripe Pernambucano.

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, há dificuldade de discriminação dos tipos de caatinga na época chuvosa devido à uniformização da cobertura vegetal.

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 diminuir as distorções geométricas, resultante das características do sensor utilizado, além das variações ocasionadas pelo movimento do mesmo durante a obtenção da imagem (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.

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

em que $L\lambda$ 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.

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

em que $\rho\lambda$ 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:

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

em que 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.

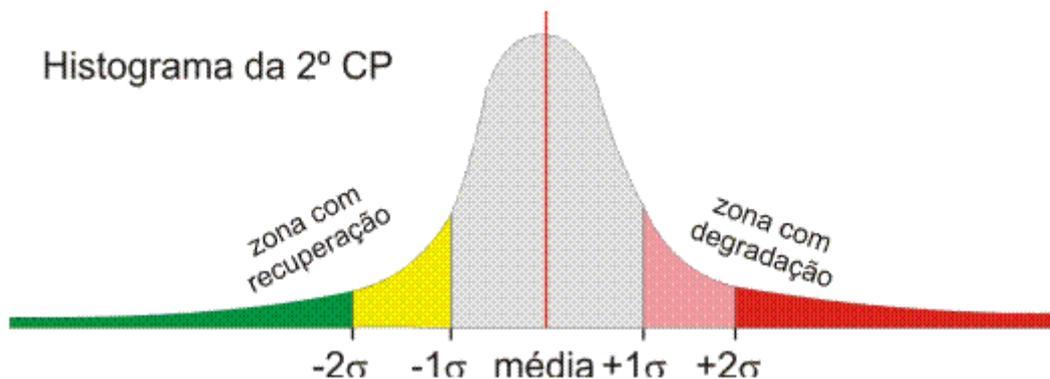


Figura 4. Esquema do fatiamento do histograma da segunda componente (2ª CP), produto da análise de componentes principais (ACP).

A imagem detecção foi obtida do fatiamento do histograma da 2ª CP, com

limites localizados a 1σ e a 2 σ, 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.

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

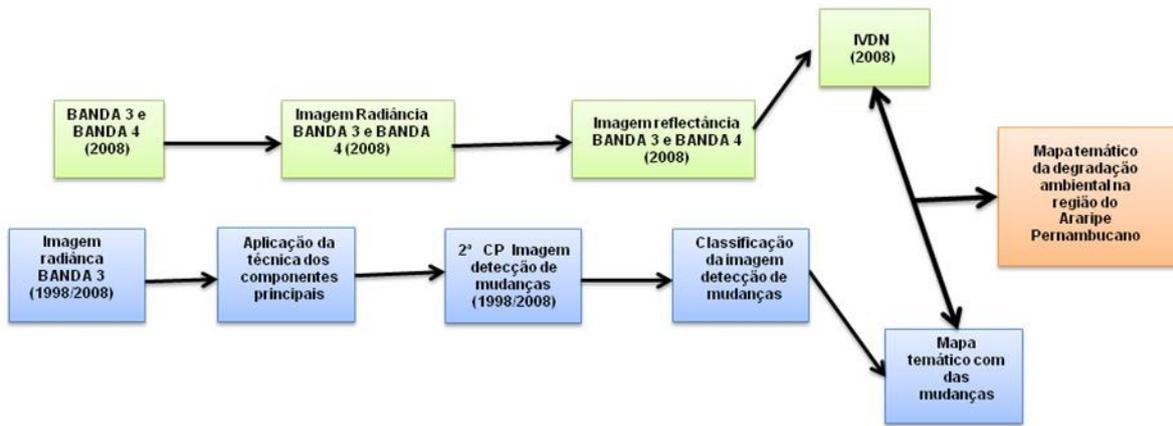


Figura 5. Fluxograma de avaliação da degradação das terras da Região do Araripe Pernambucano.

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.

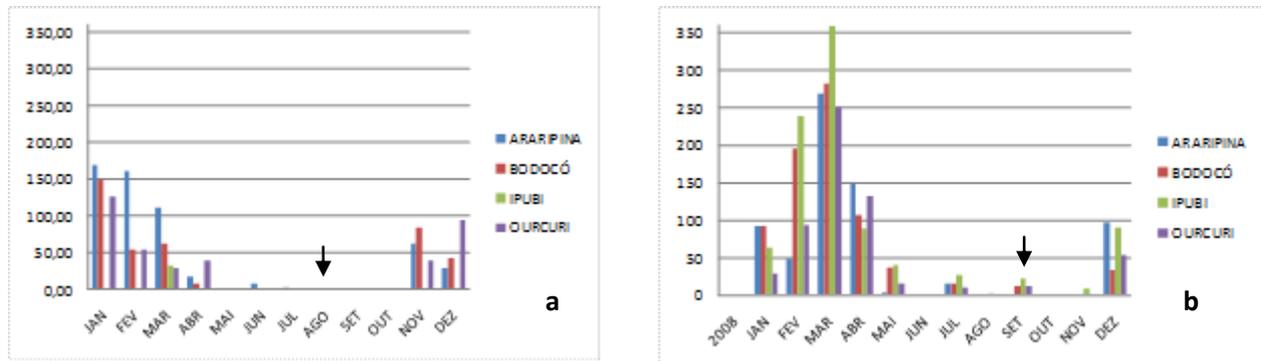


Figura 6. Totais pluviométricos na região do Araripe pernambucano nos anos de 1998 (a) e 2008 (b).

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.



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.

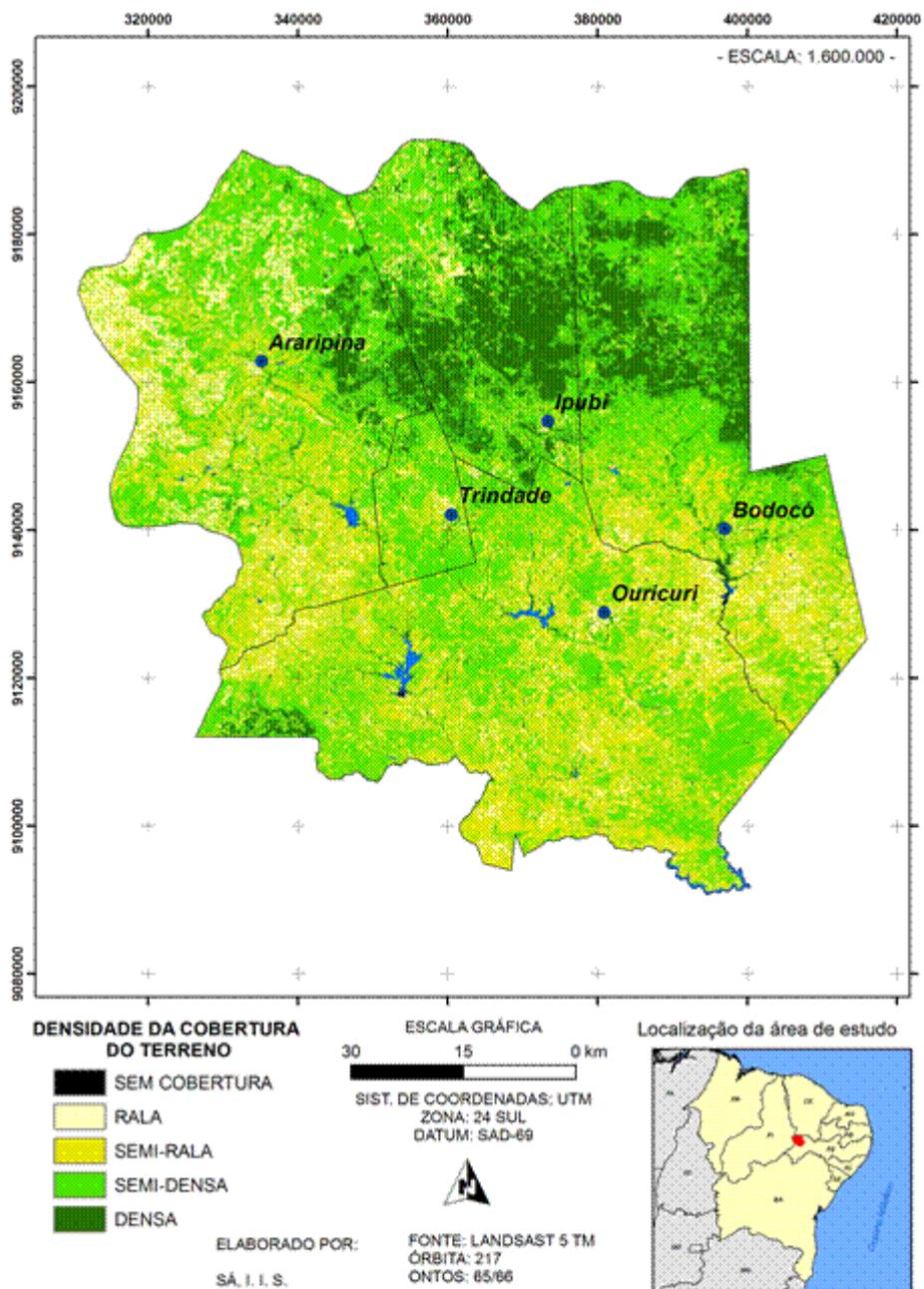


Figura 9. Espacialização da cobertura vegetal na região do Araripe Pernambucano.

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.

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.

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) e o 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.

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.

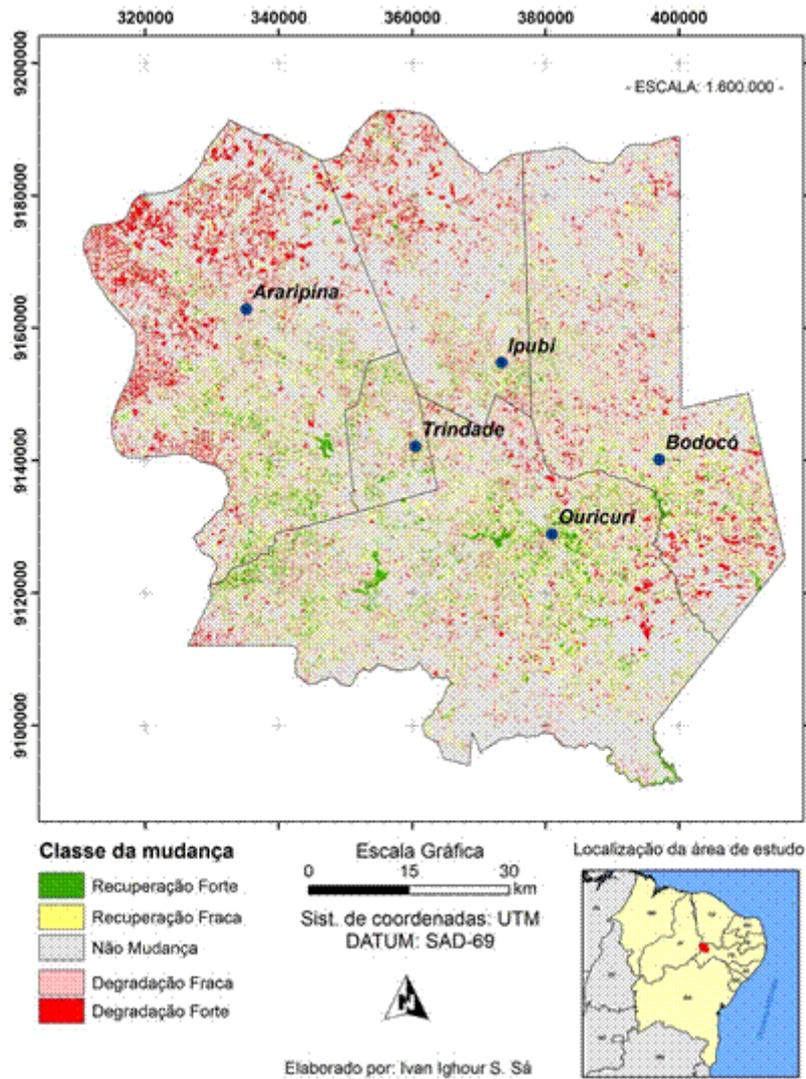


Figura 10. Imagem detecção de mudanças ocorridas na Região do Araripe pernambucano entre os períodos de 1998 e 2008.



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.

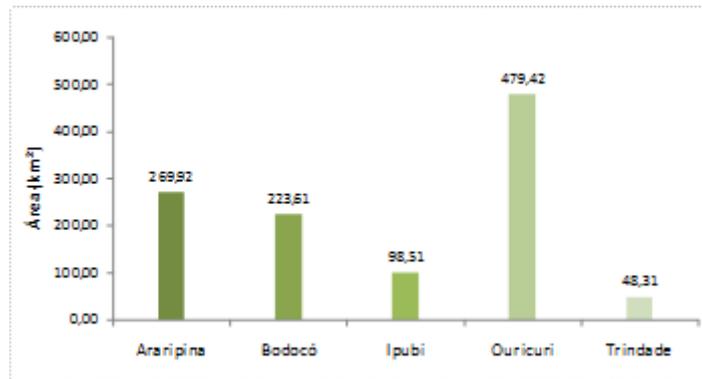


Figura 12. Quantificação das áreas (km²) de recuperação vegetal na região do Araripe.

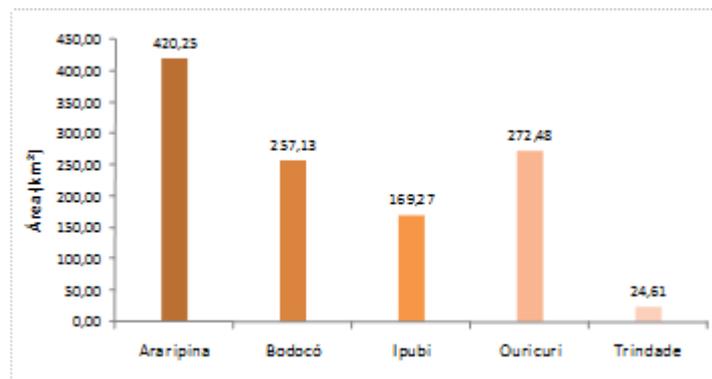


Figura 13. Quantificação das áreas (km²) de perda de cobertura vegetal na região do Araripe.

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).

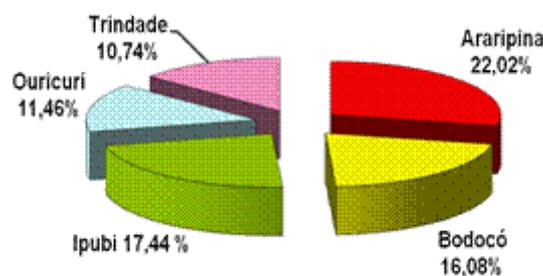


Figura 14. Quantificação em termos relativos da perda de cobertura vegetal da Região do Araripe.

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 gipisita 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.

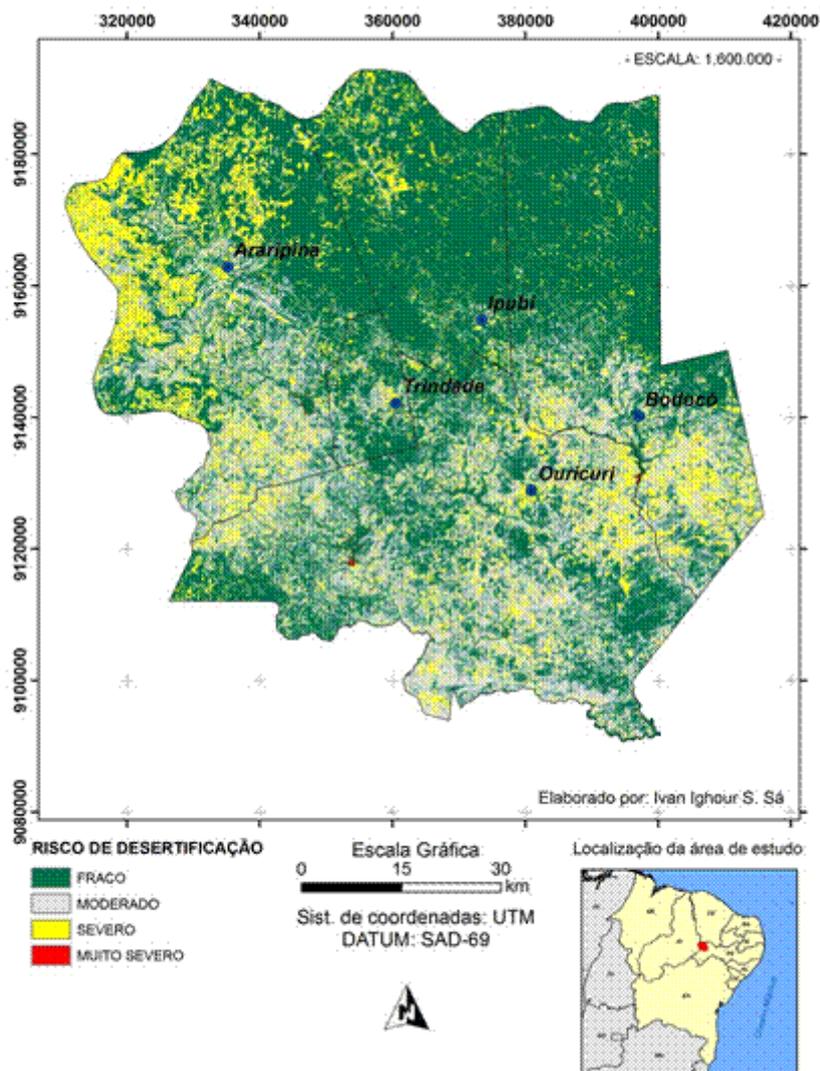


Figura 15. Distribuição espacial da degradação ambiental na região do Araripe pernambucano.

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.

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.

5. 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.

6. Referencias Bibliográficas

Almorox, J. A. (1993). 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.

Andrade, J. B; Oliveira, T. S. (2004). 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.

Bastiaanssen, W. G. M. (2000). SEBAL – based sensible and latent heat fluxes in the

irrigated Gediz Basin, Turkey. *Journal of Hydrology*, v.229, p.87-100.

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

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. (Nov 1980). Monitoring land cover change by principal componentes analysis of multitemporal Landsat data. *Remote Sensing of Environment*, v.10, n.3, p.175-185.

Carvalho, V. C. (1986). *Structure et dynâmique 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.

Cavalcanti, R. C.; Araújo, N. C. F. de. (5, 2008). O uso de energia de biomassa no Bioma

Caatinga. SEMANA DO MEIO AMBIETE. Recife: Fundação Joaquim Nambuco. Recife.

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

Conese, C.; Maracchi, G.; Miglietta, F.; Maselli, F.; Sacco, V. M. (1988). Forest classification by principal component analyses of TM data. *International Journal of Remote Sensing*, v.9, n.10, p.1597-1612.

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

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

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

EMBRAPA. (2004). *Zoneamento Agroecológico de Pernambuco – ZAPE*. Recife, Embrapa Solos – UEP-Recife. II. 1CD Rom.

FAO, (1984). *Metodologia provisional para la*

evaluación y representación cartográfica de la desertificación. 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. (1997). Detecting change in grasslands using measures of spatial dependence with Landsat TM data. *Remote Sensing of Environment*, v.46, n.4, p.223-234.

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

Imeson, A. (1984). 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, The Netherlands.

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

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

Lee, D.C.L.; Shimabukuro, Y.E.; Hernandez Filho, P. (1990). 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. p.48-60.

Leite, F.R.B.; Oliveira, S.B.P.; Barreto, M.M.S.; Carvalho, G.M.B.S.; Freitas Filho, M.R. (2003). 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. p. 1315-1322.

Lopes, H. L. (1999). 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.

Lopez-Bermudez, F. (1990). 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.

Luiz, S.; Oliveira, C. G.; Okida, R. (2003). 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. p. 325-332. CD-ROM, Online. ISBN 85-17-00017-X.

Maldonado, F. D. (2004). 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.

Matallo Jr., Heitor. (1997). "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. (Coleção Mossoroense, Série E, Volume CMXLVIII.)

Parr, J. F., Stewart, B.A., Ornick, S. B., Singh R. P. (1990). Improving the sustainability of dryland farming system: a global perspective. In, Adv. Soil Science, v.13, p.1-7.

Richards, J. A. (1993). Remote Sensing

digital image analysis: an introduction 2.ed. Camberra: Springer-Verlag. 340p.

Rouse, J.W.; Haas Jr., R.H.; Deering, D.W.; Schell, J. A.; Harlan, J. C. (1974). Monitoring the vernal advancement and retrogradation (green wave effect) of natural vegetation, NASA/GSFC type III final report: Greenbelt, Maryland, NASA, 371 p.

Sá, I.B.; Sá, I. I. S. (2007). 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, v. , p. 53-68.

Sá, I. B.; Fotius, G. A.; Riché, G. R. (1994). Degradação ambiental e reabilitação natural do Trópico Semi-árido Brasileiro. In: CONFERÊNCIA NACIONAL E SEMINÁRIO LATINO-AMERICANO DA DESERTIFICAÇÃO. Fortaleza, 1994, Anais... Fortaleza. P. 310-332.

Sampaio, E. V. S. B. & Salcedo, I. (1997). 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. CD-ROOM.

Sampaio, E.V.S.B.; Sampaio, Y.; Vital, T.; Araújo, S.B.; Sampaio, G.R. (2003).

Desertificação no Brasil. Recife: Editora Universitária UFPE. 202 p.

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

SECRETARIA DE CIÊNCIA, TECNOLOGIA E MEIO AMBIENTE (SECTMA). (2007). Região do Araripe:

diagnóstico florestal/ Secretaria de Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente – Brasília-DF: Ministério do Meio Ambiente.

Tabarelli, M. F.; Vicent, A. (2003). 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.