

Detecção de mudança de vegetação de caatinga através de geotecnologias

Detection of a change in vegetation of caatinga through of geotechnology

George do Nascimento Ribeiro¹, Paulo Roberto Megna Francisco², João Miguel de Moraes Neto³

RESUMO: A desertificação vem se tornando um sério problema para as regiões semiáridas de todo o planeta. No semiárido nordestino a crescente degradação ambiental vem ocasionando processos desertificatórios cada vez mais significativos, trazendo como consequências a perda da fertilidade do solo e da biodiversidade. Para compreender as mudanças do complexo inter-relacionamento do meio ambiente terrestre em resposta à evolução natural e às atividades antrópicas, que são de caráter dinâmico, é necessário dispor de uma fonte de dados com agilidade temporal e espacial que satisfaça ao lapso de tempo dessa evolução. Através do processamento digital de imagens de satélite em séries temporais pode-se mapear e avaliar a evolução de processos de degradação. Este trabalho teve como objetivo detectar a mudança da vegetação de caatinga do município de Sumé-PB. Utilizaram-se imagens de média resolução espacial e através do ERDAS e do SPRING realizou o mapeamento utilizando o LEGAL. Os resultados demonstraram que ocorreram acréscimos na classe Arbórea subarbórea densa de 10,96%, na classe Subarbórea densa de 24,52%, e na classe Arbustiva subarbórea densa de 13,7%. Na detecção de mudança pode-se constatar que houve uma recuperação da vegetação em 596 km², a não mudança em uma área de 78,1 km² e a degradação em 98,4 km².

Palavras-chave: geoprocessamento, análise temporal, degradação ambiental

ABSTRACT: Desertification has become a serious problem for the semi-arid regions of the planet. In the semi-arid northeast growing environmental degradation has caused desertification processes increasingly significant, bringing consequences as loss of soil fertility and biodiversity. To understand the changes of the complex inter-relationship of the terrestrial environment in response to changing natural and anthropogenic activities, which are dynamic in nature, it is necessary to have a source of data with temporal and spatial flexibility that meets the time frame of this evolution. Through digital processing of satellite images in time series can map and assess the evolution of degradation processes. This study aimed to detect the change in caatinga vegetation in the municipality of Sumé-PB. We used images of medium spatial resolution and by ERDAS and SPRING held mapping using LEGAL. The results showed that there were increases in arboreal the sub arboreal dense class of 10.96%, in sub arboreal dense class 24.52%, shrubby sub arboreal dense class and 13.7%. Detection of change can be seen that there was a recovery of vegetation in 596 km², not change in an area of 78.1 km² and degradation in 98.4 km².

Keywords: geoprocessing, temporal analysis, environmental degradation

Autor para correspondência

Recebido em 30/11/2014 aceito em 15/12/2014

¹Eng. Agrônomo pela UFPB, Mestre em manejo de solo e água pela UFPB, Doutor em eng. Agrícola pela UFCG, Professor adj. no dep. de solos da UFCG – Sumé. E-mail: george@ccta.ufcg.edu.br

²Dr. em Eng. Agrícola pela UFCG, Msc. em Manejo de Solo e Água pela UFPB, Tecnólogo em Mecanização Agrícola pela UNESP. E-mail: paulomegna@ig.com.br

³Eng. Agrônomo, Doutor em Eng. Agrícola, Prof. Assoc dep. Eng. Agrícola UFCG. E-mail: moraes@deag.ufcg.edu.br

INTRODUÇÃO

A desertificação vem se tornando um sério problema para as regiões semiáridas de todo o planeta (MARENCO, 2008). No semiárido nordestino a crescente degradação ambiental vem ocasionando processos desertificatórios cada vez mais significativos, trazendo como consequências imediatas a perda da fertilidade do solo e da biodiversidade. No tocante aos processos desertificatórios, Barbosa et al. (2005) denotam que o estado da Paraíba tem 63,54% de seu território comprometido com o processo da desertificação em estágios moderado e severo.

Para compreender as mudanças do complexo inter-relacionamento do meio ambiente terrestre em resposta à evolução natural e às atividades antrópicas, que são de caráter dinâmico, é necessário dispor de uma fonte de dados com agilidade temporal e espacial que satisfaça ao lapso de tempo dessa evolução. Daí decorre que, o atendimento a esses objetivos pode ser até certo nível, satisfeito através de dados obtidos a partir de técnicas de sensoriamento remoto (RIBEIRO, 2006).

Calheiros (2000), afirma que o desenvolvimento econômico-tecnológico, responsável pela aceleração de problemas e induzido pela avalanche de dados e informações espaciais, necessita e permite o uso constante de tecnologias estruturadas em geoprocessamento. De acordo com o autor, com o advento do geoprocessamento e das tecnologias do sensoriamento remoto, este desenvolvimento adquiriu novo perfil, tornando-se viável a manipulação do grande volume de

dados disponíveis, tratados por diferentes procedimentos computacionais, levando a utilização de tecnologias que propiciam a análise integrada e georreferenciada dos fenômenos ambientais.

Novas técnicas no tratamento de dados de satélite são necessárias quando se trabalha com alta heterogeneidade como é o caso da caatinga (MALDONADO & CARVALHO, 2003). Através do processamento digital de imagens de satélite em séries temporais e do cruzamento com dados descritivos pode-se avaliar e mapear a evolução de processos de desertificação e indicadores socioeconômicos (FREIRE et al., 2003).

Portanto este trabalho tem como objetivo mapear a detecção de mudança da vegetação de caatinga do município de Sumé - PB, através da análise temporal de imagens de satélite de média resolução espacial utilizando geotecnologias.

MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo compreende o município de Sumé, estado da Paraíba, com uma extensão de 838,6 km² (Figura 1), localizado no Planalto da Borborema na região do Cariri, cujo principal rio é o Sucuru.

É uma área aberta, no terço médio do Estado, divisa com o Estado de Pernambuco, com relevo suave ondulado, altitudes predominantemente variando entre 300 a 700 m (FRANCISCO, 2010).



Figura 1. Mapa de localização da área de estudo. Fonte: Adaptado de IBGE (2010).

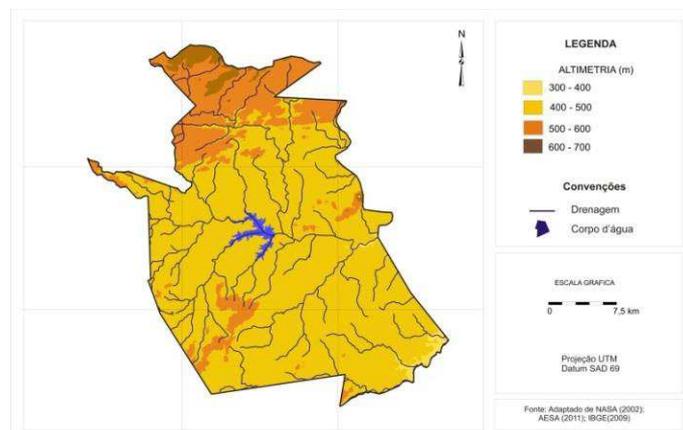


Figura 2. Mapa hipsométrico da área de estudo. Fonte: Adaptado de NASA (2002); AESA (2011); IBGE (2010).

O clima é do tipo Bsh (semiárido quente), com chuvas apresentando uma forte variação na distribuição espacial,

temporal e interanual, e uma estação seca que pode atingir 11 meses (VAREJÃO-SILVA et al., 1984). A temperatura média

anual está entre 26°C e a precipitação média anual superior a 600mm (FRANCISCO, 2010).

A área de estudo apresenta vegetação do tipo caatinga hiperxerófila e a predominância de solos Luvisolos Crômicos bem desenvolvidos, em relevo suave ondulado (Figura 3). Pelas limitações climáticas apresenta o sistema de

exploração agrícola, pecuária e agricultura de subsistência. Ocorre na área os Neossolos Litólicos Eutróficos fase pedregosa substrato gnaisse e granito e os Vertissolos relevo suave ondulado e ondulado predominam nas partes mais baixa, no entorno da drenagem e os Planossolos Nátricos relevo plano e suave ondulado (FRANCISCO, 2010).

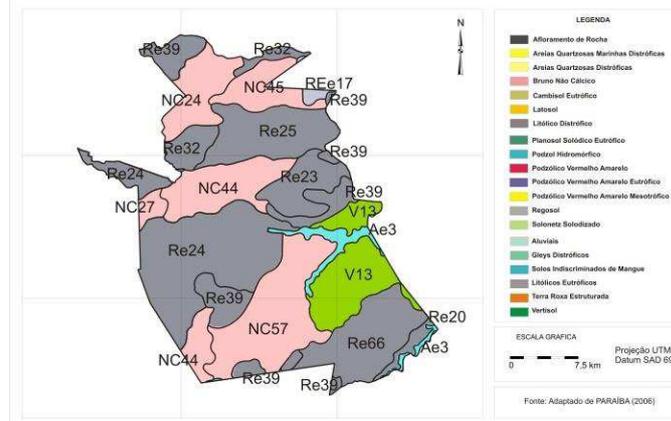


Figura 3. Mapa de solos da área de estudo. Fonte. Adaptado de PARAÍBA (2006).

Utilizando o Google Earth online foram pré-selecionados os alvos terrestres representativos dos diferentes tipos de vegetação e realizada visitas ao campo para georreferenciar, fotografar e descrever em caderneta de campo.

Foram utilizadas imagens do sensor TM LANDSAT-5, órbita 215, ponto 65 de 09/05/1987 e 28/10/2009 adquiridas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. As imagens foram tratadas utilizando o software ERDAS 8.5, onde foi executada a correção radiométrica e obtidas as imagens de radiância e reflectância, de acordo com Silva et al. (2005a).

Foi desenvolvido um modelo com o Model Maker do ERDAS, destinado às tarefas de calibração radiométrica. Neste procedimento utilizou a relação (Equação 1) proposta por Markham e Baker (1987):

$$\frac{L_{\lambda i} - a_i + b_i - a_i}{255} * ND \quad (1)$$

onde: a_i e b_i são as radiâncias espectrais mínima e máxima ($W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$), ND é a intensidade do pixel (número inteiro de 0 a 255) e $i = 1, 2, 3, 4, 5, 6$ e 7 , corresponde às bandas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7.

De posse dos mapas de radiância espectral de cada banda, informações sobre o $\cos Z$ e irradiância espectral no topo da

atmosfera (Tabela 1) para cada banda, estimou-se a refletância espectral planetária em cada banda, através da equação 2 (BASTIAANSEN, 1995):

$$r_{pi} = \frac{L_{\lambda} * \pi}{K_{\lambda} * \cos Z * dr} \quad (2)$$

onde: r_{pi} é refletância planetária da banda i , K_{λ} é a irradiância solar espectral no topo da atmosfera (Tabela 1), Z é o ângulo zenital do Sol e dr é o inverso do quadrado da distância relativa Terra – Sol - ds , em unidades astronômicas, que é dada pela equação 3:

$$ds = 1 + 0,0167 \text{ sen} \left[\frac{2 \pi (J - 93,5)}{365} \right] \quad (3)$$

onde: J é o dia Juliano e o argumento da função seno se encontra em radiano. Por sua vez, o ângulo Zenital do Sol não precisou ser calculado, pois o mesmo se encontrava disponível no cabeçalho das imagens adquiridas para este trabalho.

Tabela 1. Descrição das bandas do LANDSAT-5 com os correspondentes intervalos de comprimento de onda, coeficientes de calibração e irradiâncias espectrais no topo da atmosfera

Bandas	Comprimento de Onda (μm)	Coeficientes de Calibração ($W m^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$)		Irradiância Espectral no Topo da Atmosfera ($W m^{-2} \mu m^{-1}$)
		a	b	
1 (azul)	0,45 – 0,52	-1,52	193,0	1957
2 (verde)	0,52 – 0,60	-2,84	365,0	1826
3 (vermelho)	0,63 – 0,69	-1,17	264,0	1554
4 (IV-próximo)	0,76 – 0,79	-1,51	221,0	1036
5 (IV-médio)	1,55 – 1,75	-0,37	30,2	215,0
6 (IV-termal)	10,4 – 12,5	1,2378	15,303	-
7 (IV-médio)	2,08 – 2,35	-0,15	16,5	80,67

Fonte: Allen et al. (2002).

As etapas seguintes correspondentes ao cômputo do índice de vegetação estão bem descritas em Silva et al. (2005b). Para a obtenção do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) foi utilizada a Equação 4:

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED) \quad (4)$$

onde: NIR e RED correspondem às reflectâncias das bandas 4 e 3 do TM.

Nesta etapa foi realizada a importação das imagens-índice para o módulo IMPIMA e transformadas do formato GEOTIFF para o formato GRIB e salvas em arquivo. Foi criada uma base de dados no SPRING 5.2.2, na projeção UTM/SAD69, importando as imagens-índices de vegetação, realizando o recorte dos limites do município pelo arquivo fornecido pelo IBGE (2010). Para auxiliar o georreferenciamento foi importando um arquivo da drenagem

obtido na AESA (2011). Para a classificação das imagens foi elaborado em seu subprograma LEGAL a linguagem algébrica utilizando a metodologia adaptada de Francisco et al. (2012a) (Tabela 2).

Utilizando o LEGAL foi criada uma Linguagem Algébrica para gerar o mapa de detecção de mudança conforme adaptação da metodologia de parâmetros utilizada por Francisco et al. (2012b) (Tabela 3).

Tabela 2. Valores de NDVI utilizados na classificação da cobertura vegetal

Classes	NDVI
Arbórea Subarbórea densa	>0,315
Subarbórea Arbustiva densa	0,265-0,315
Arbustiva Subarbórea densa	0,230-0,265
Arbustiva Subarbustiva aberta	0,195-0,230
Subarbustiva Arbustiva rala	0,180-0,195
Subarbustiva Arbustiva muito rala	0,150-0,180
Solo exposto	0-0,150
Corpos d'água	<0

Fonte: Adaptado de Francisco et al. (2012a).

Tabela 3. Parâmetros de composição do LEGAL

Classes	Asd	Sad	Asd	Asa	Asr	Asmr	SE
Asd	NM	D	D	D	D	D	D
Sad	R	NM	D	D	D	D	D
Asd	R	R	NM	D	D	D	D
Asa	R	R	R	NM	D	D	D
Asr	R	R	R	R	NM	D	D
Asmr	R	R	R	R	R	NM	D
SE	R	R	R	R	R	R	NM

Asd - Arbórea Subarbórea densa; Sad - Subarbórea Arbustiva densa; Asd - Arbustiva Subarbórea densa; Asa - Arbustiva Subarbustiva aberta; Sar - Subarbustiva Arbustiva rala; Samr - Subarbustiva Arbustiva muito rala; SE - Solo exposto; NM - Não mudança; D - Degradação; R - Recuperação.
Fonte: Adaptado de Francisco et al. (2012b).

A geração dos mapas finais foram realizados no módulo SCARTA, gerando-se arquivos e editorados num software para design gráfico.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No histograma da imagem de NDVI de 1987 (Figura 4), observa-se que os valores médios (Tabela 4) são de 0,197, o

valor mínimo de -0,727, e o valor máximo de 0,756 para toda a imagem, demonstrando que a maioria dos pixels se concentram nestes valores de reflectância.

Para a imagem NDVI de 2009 (Figura 5), o histograma da imagem apresenta-se valores médios de 0,263, valor mínimo de -0,843 e o valor máximo observados de 0,803.

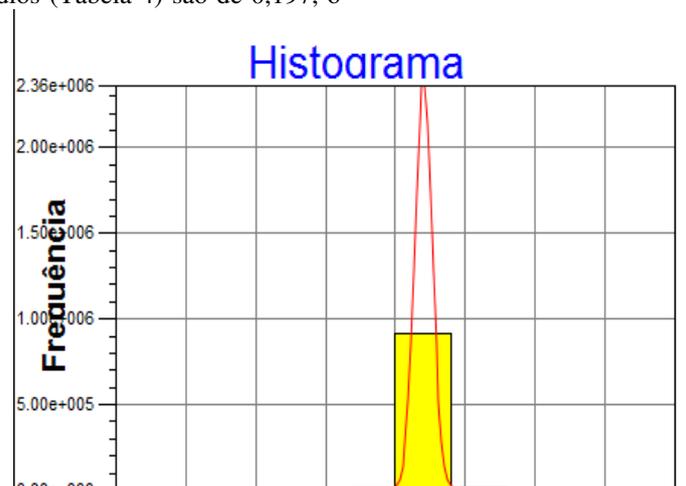


Figura 4. Histograma da reflectância da imagem NDVI de 1987.

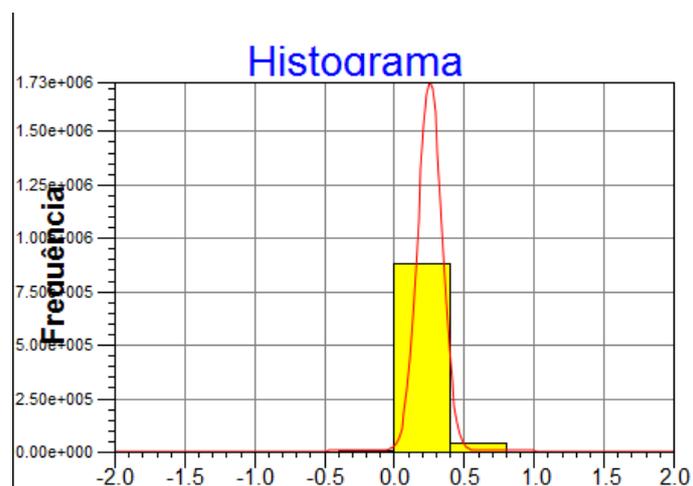


Figura 5. Histograma da reflectância da imagem NDVI de 2009.

Kaufman e Holben (1993) encontraram em algumas regiões do Nordeste valores de NDVI entre 0,150 e 0,620. Segundo Parkinson (1997), valores típicos de NDVI para florestas úmidas tropicais são da ordem de 0,600. As variações de refletância estão associadas à concentração de clorofila e de outros pigmentos em diferentes estágios de desenvolvimento da folha (KUMAR, 1972). Trabalhos de

monitoramento da vegetação da caatinga mostram uma grande variação estacional de respostas do NDVI relacionadas à disponibilidade de água à atividade fotossintética das plantas (LIRA et al., 2011).

Na Tabela 4 da análise estatística descritiva da imagem-índice de NDVI, observam-se os valores dos pixels encontrados

Tabela 4. Estatística descritiva das imagens-índice NDVI

Descrição	1987	2009
	Valores	
Número de Pontos	932.647	932.647
Média	0,21003631	0,26356316
Variância	0,00387380	0,00740173
Desvio Padrão	0,06223989	0,08603330
Coefficiente de Variação	0,29632920	0,32642385
Coefficiente de Assimetria	1,08048478	-0,21338522
Coefficiente de Curtose	13,69201708	10,38867091
Valor Mínimo	-0,72725874	-0,84316295
Mediana	0,19708696	0,26363087
Valor Máximo	0,75644392	0,80336380

Sá et al. (2008), avaliando o IVDN na região do Araripe Pernambucano, relatam que o valor mínimo encontrado foi de -0,74 e o máximo de 0,796, o valor médio foi de 0,282. Os valores de IVDN entre 0,201 e 0,278, correspondem a uma vegetação de Savana Estépica Arborizada e Florestada que se encontram degradada. Nas áreas de Mata Ciliar o NDVI variou entre 0,490 a 0,797 (FRANCISCO et al., 2012b).

Morais et al. (2011), encontraram trabalhando em área de transição de Caatinga bem preservadas de floresta subcaducifólia no município de Floresta, PE, leituras de NDVI variando de 0,208 a 0,803. Valores de NDVI abaixo de 0,4 para o período seco, são mais compatíveis para respostas da vegetação de Caatinga hiperxerófila,

como a da área de estudo (PAIXÃO et al., 2009; LOPES et al., 2010; CHAVES et al., 2012; FRANCISCO, 2013)

No mapa tipologias de vegetação de caatinga do ano de 1987 (Figura 6), observa-se que a classe solo exposto apresenta área de 53,2 km² (6,34%) (Tabela 5), a classe Subarbusativa arbustiva muito rala apresenta 210,1 km² (25,05%), a classe Subarbusativa arbustiva rala 127,3 km² (15,18%), a classe Arbustiva subarbusativa aberta com uma área de 270,1 km² (32,21%), a classe Arbustiva subarbórea densa com 80,5 km² (9,6%), a classe Subarbórea densa 54,3 km² (6,48%), e a Arbórea subarbórea densa 53,2 km² representando 6,34% da área total de 838,6 km².

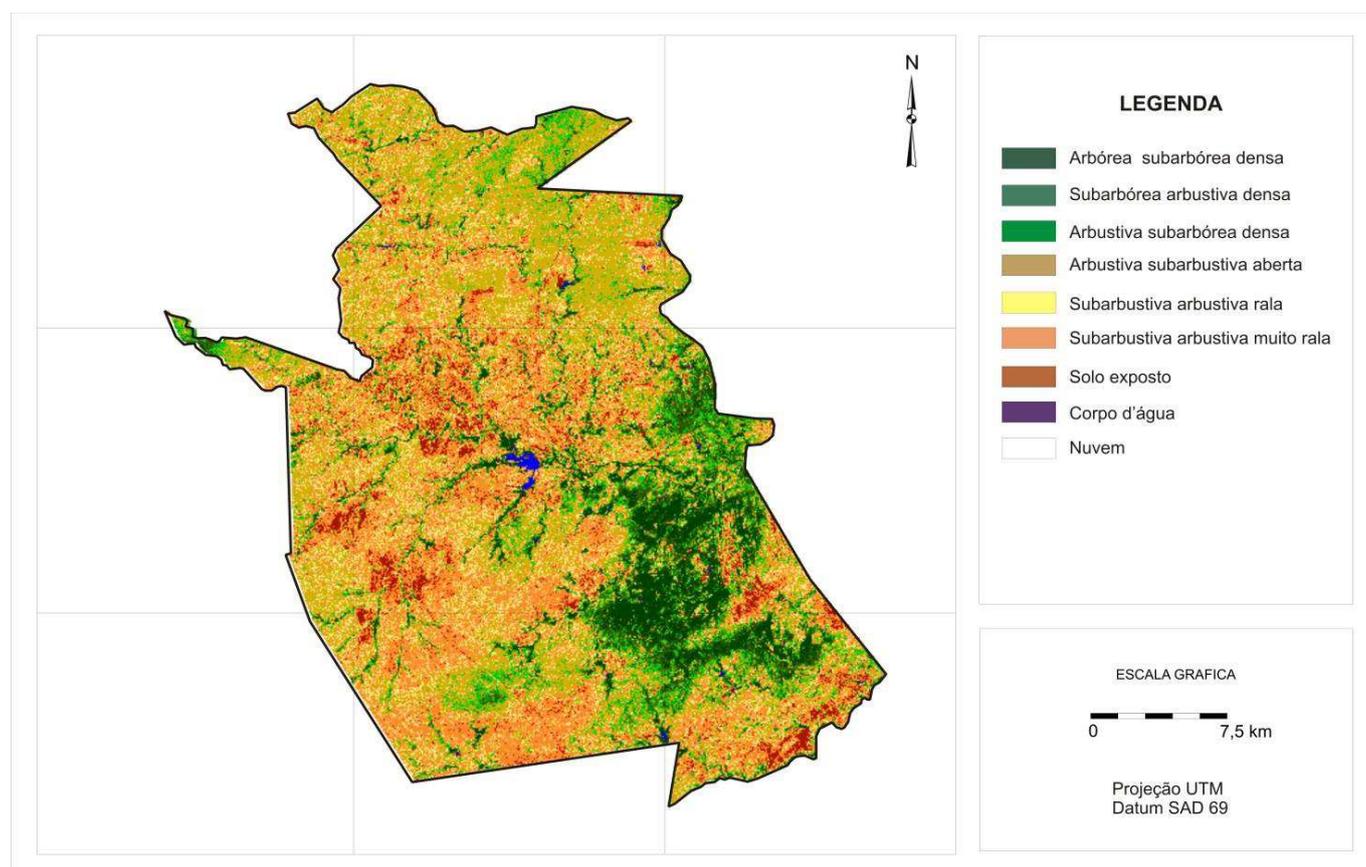


Figura 6. Mapa de tipologias de vegetação de caatinga do ano de 1987.

Tabela 5. Áreas das classes de vegetação

Classes de Vegetação	1987		2009	
	km ²	%	km ²	%
Arbórea subarbórea densa	53,2	6,34	145,1	17,3
Subarbórea densa	54,3	6,48	259,8	31,0
Arbustiva subarbórea densa	80,5	9,60	195,6	23,3
Arbustiva subarbustiva aberta	270,1	32,21	115,8	13,8
Subarbustiva arbustiva rala	127,3	15,18	25,0	3,0
Subarbustiva arbustiva muito rala	210,1	25,05	22,3	2,7
Solo Exposto	41,1	4,90	8,9	1,1
Corpos d'água	2,0	0,24	8,7	1,0
Nuvem	0	0	57,4	6,8
Área Total	838,6	100	838,6	100

No mapa de tipologias de vegetação de caatinga do ano de 2009 (Figura 7), observa-se que a classe solo exposto apresenta área de 8,9 km² (8,1%) (Tabela 5), a classe Subarbustiva arbustiva muito rala apresenta 22,3 km² (2,7%), a classe Subarbustiva arbustiva rala uma área de 25 km² (3%),

a classe Arbustiva subarbustiva aberta com área de 115,8 km² (13,8%), a classe Arbustiva subarbórea densa com 195,6 km² (23,3%), a classe Subarbórea densa 259,8 km² (31%), e a Arbórea subarbórea densa 145,1 km², representando 17,3% da área total de 838,6 km².

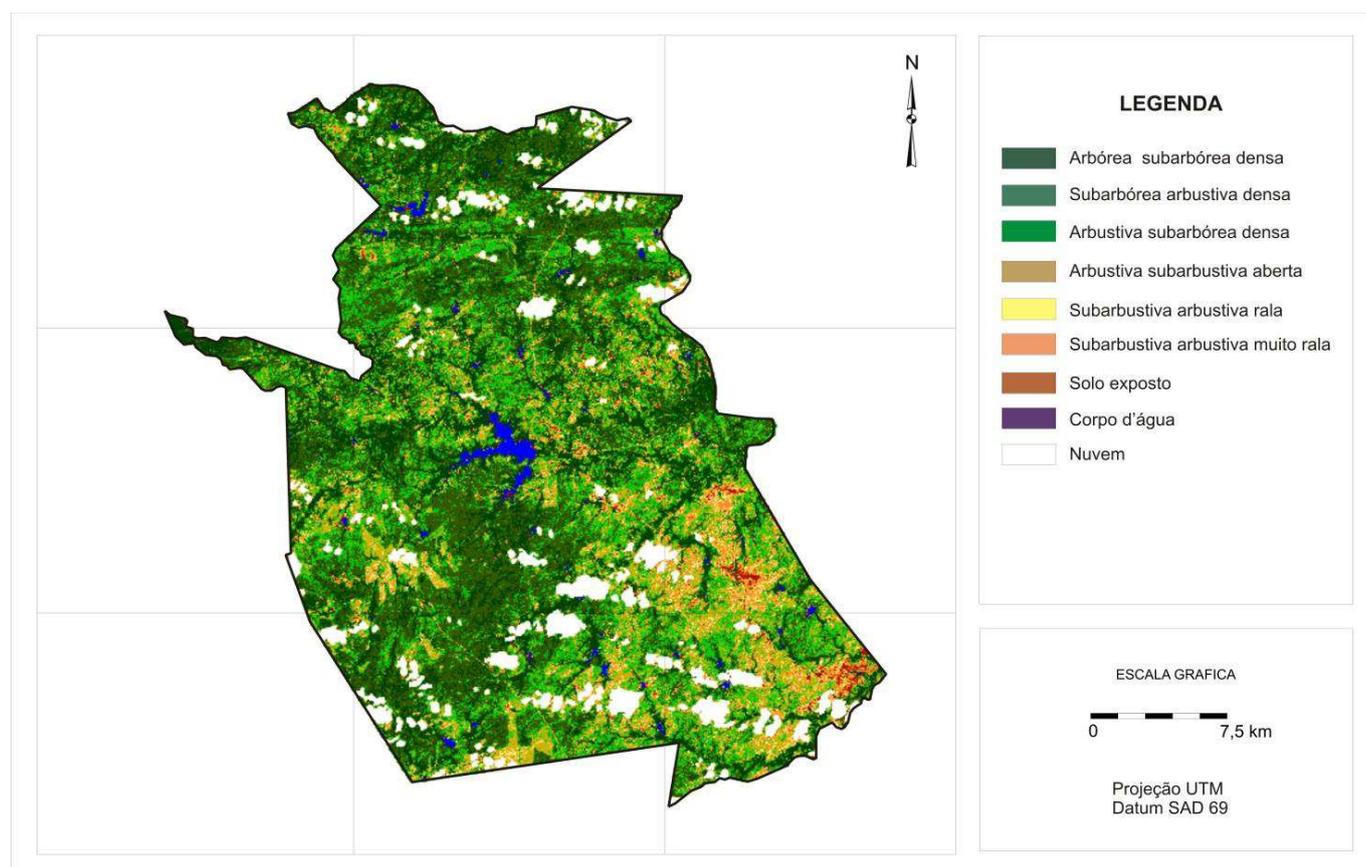


Figura 7. Mapa de tipologias de vegetação de caatinga do ano de 2009.

Ao analisarmos a Tabela 4 que representa os valores das diferentes classes de vegetação no período compreendido entre os anos de 1987 e 2009 (Figuras 6 e 7), podemos estimar que ocorreram acréscimos na classe Arbórea subarbórea densa de 10,96%, na classe Subarbórea densa de 24,52%, e na classe Arbustiva subarbórea densa de 13,7%.

Já na classe Arbustiva subarbustiva aberta, ocorreu o fenômeno inverso, a área de cobertura desta classe de vegetação reduziu em 18,41%, na classe Subarbustiva arbustiva rala em 12,18%, na classe Subarbustiva arbustiva muito rala a redução foi de 22,35%, como também a classe de solo exposto em 3,8% do total da área. Quanto à classe corpos d'água, no caso o açude de Sucuru e demais mananciais hídricos do município tiveram um acréscimo de área de 0,66%.

Francisco et al. (2012a) mapeando a mudança temporal entre 1996 e 2009, de área vizinha, constatou terem ocorrido alterações significativas de mudança de área nas classes Subarbustiva rala, Subarbustiva muito rala e Solo exposto correspondendo a 28,77% da área, havendo um aumento de área das outras classes de maior valor de biomassa, e que esse comportamento temporal dá uma ideia da capacidade de recuperação da vegetação de caatinga.

No mapa de detecção de mudança da área (Figura 8), pode-se observar que a vegetação da classe Não Mudança compreende em uma área de 78,1 km² (Tabela 5) do total de 836,6 km², a classe Recuperação com 596 km² e a classe Degradação com 98,4 km².

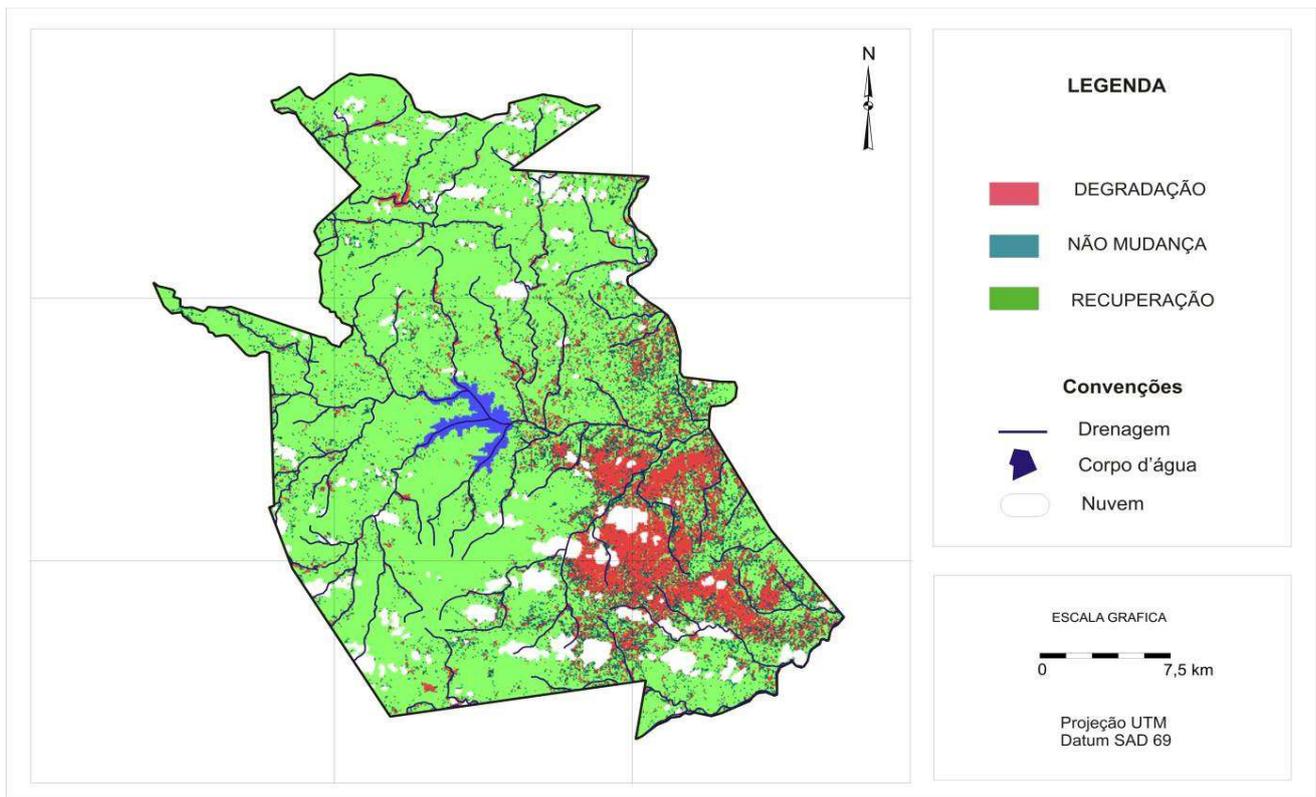


Figura 8. Mapa de detecção de mudança.

Tabela 5. Classes de detecção de mudança

Classes	Área (km ²)
Recuperação	596,0
Não Mudança	78,1
Degradação	98,4
Corpos d'água	8,8
Nuvem	57,3
Total	838,6

No mapa temático observa-se uma maior recuperação da área com 596 km². Isso porque o município é composto por áreas sendo degradadas e outras em processo de recuperação, o mesmo observado por Francisco et al. (2012b) estudando a bacia do rio Taperoá, área contígua ao município.

Observa-se que a classe Recuperação foi a que apresentou o maior valor e ocorre em sua maioria distribuída em quase

todo o município, encontrando-se em abandono ou em uso pela pecuária extensiva. Estas terras são representadas pelos Luvisolos vértico e Neossolos Litólicos (Figura 9). Pelo observado neste estudo constata-se, que no ano de 1996 ocorria a condição da vegetação com menor densidade e pequeno porte e durante os 22 anos de temporalidade provavelmente houve o abandono das áreas e por isso a sua recuperação.

Francisco et al. (2012b) estudando área contígua da bacia do rio Taperoá, observou que nas áreas em que houve uma maior recuperação estão localizadas em boa parte na drenagem, em solos aluviais e com uma maior umidade disponível durante os anos. E a ocorrência em Neossolos Litólicos em áreas de declividade mais acentuada, de menor acesso ou de preservação.



Figura 9. Áreas em processo de recuperação.

Mesmo com a dificuldade de separação da classe nuvem da imagem de 2009 em relação à imagem de 1987, provavelmente causando um mascaramento da investigação, problema esse encontrado no sensoriamento remoto, situação encontrada por Francisco et al. (2012b), neste caso não houve interferência nos resultados, pois a classe Recuperação apresentou área maior em relação às outras classes, facilitando sua observação.

As áreas detectadas como Não Mudança que ocorrem ao longo da drenagem da área, áreas com solos aluviais com maior disponibilidade disponível durante o ano todo e por isso com maior densidade de cobertura, e provavelmente a predominância de Algarobais (*Prosopis juliflora* (sw) DC) que correspondem a 78,1 km². Outras áreas se localizam em declividade mais acentuada de menor acesso ou de preservação, e em Neossolos Litólicos (Figura 10). Situação similar às observações feitas por Francisco et al. (2012b).

Observa-se na classe de Degradação a ocorrência localizada a sudeste da área do município, que se encontra

basicamente inserida sobre os solos Vertissolos (Figura 2), solo qual é composto pela associação com os Luvisolos crômicos, Neossolos Litólicos eutróficos, Planossolo Nátrico e Neossolos flúvicos em região plana a suave ondulada. Na Figura 11, pode-se observar a ocorrência da classe de Degradação na área de estudo. Já Francisco et al. (2012b) observou que as classes de degradação ocorreram em solos Luvisolos e em Solonetz Solodizado.

Sousa et al. (2008), comenta que os prejuízos ambientais estão quase sempre relacionados ao uso indevido do solo pelas diversas atividades degradantes. Assim, a retirada da cobertura vegetal para implantação de agricultura de autoconsumo ou para pecuarização extensiva sem práticas de conservação ambiental compromete, a médio e longo prazo, as propriedades físicas, químicas e biológicas dos solos, inviabilizando essas áreas a uma exploração sustentável no futuro e transformando-as em áreas desertificadas.



Figura 11. Áreas detectadas como classe de Degradação.

CONCLUSÕES

Por este trabalho pode-se concluir que:

1. Com o uso de imagens de satélite temporal de média resolução e técnicas de geoprocessamento pôde-se detectar a mudança com rapidez e precisão.

2. Através do uso do NDVI pode-se concluir que houve uma recuperação da vegetação, pois os resultados demonstram um aumento na classe Arbórea subarbórea densa de 10,96%, na classe Subarbórea densa de 24,52%, e na classe Arbustiva subarbórea densa de 13,7%.

3. Na detecção de mudança pode-se constatar que houve uma recuperação da vegetação em 596 km², Não Mudança em uma área de 78,1 km² e Degradação em 98,4 km².

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola do Centro de Tecnologia em Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AESA. Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br>. Acesso em 25 de março de 2011.

ALLEN, R. G.; TREZZA, R.; TASUMI M. Surface energy balance algorithms for land. Advance training and users manual, version 1.0, p.98, 2002.

- BARBOSA, M. P.; PEREIRA, D. D.; ARAÚJO, A. E. Programa de ação estadual de combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca – Termo de Referência, UFCG, Campina Grande, 2005. 20p.
- CALHEIROS, S. Turismo versus agricultura no litoral meridional Alagoano. Rio de Janeiro, 2000. Tese (Doutorado em Geoprocessamento). Laboratório de Geoprocessamento Aplicado. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2000.
- CHAVES, I. DE B.; GUIMARÃES, A. P.; LIMA, E. R. V. DE; FRANCISCO, P. R. M. Índices Espectrais e Diagnóstico da degradação da caatinga na bacia hidrográfica do açude Soledade, Paraíba-BR. In: Reunião Brasileira de Manejo e Conservação do Solo e da Água, 19, Lajes-SC. Anais... Lajes, 2012.
- FRANCISCO, P. R. M. Classificação e mapeamento das terras para mecanização do Estado da Paraíba utilizando sistemas de informações geográficas. 122f. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água). Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2010.
- FRANCISCO, P. R. M.; CHAVES, I. DE B.; LIMA, E. R. V. DE; BANDEIRA, M. M.; SILVA, B. B. Mapeamento da caatinga com uso de geotecnologia e análise da umidade antecedente em bacia hidrográfica. Revista Brasileira de Geografia Física, v.5, n.3, p.676-693. 2012a.
- FRANCISCO, P. R. M.; CHAVES, I. DE B.; CHAVES, L. H. G.; LIMA, E. R. V. de; Detecção de mudança de vegetação de caatinga. Revista Brasileira de Geografia Física, v.5, n.6, p.1473-1487. 2012b.
- FRANCISCO, P. R. M. Modelo de mapeamento da deterioração do Bioma Caatinga da bacia hidrográfica do Rio Taperoá, PB. 97f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2013.
- FREIRE, N. C.; PACHECO, A. DA P.; MELO, I. D. F.de. Desertificação na região de Xingó: análise e mapeamento espectro-temporal. In: Anais...Congresso de Cartografia, 21, 2003.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Sinopse do Censo Demográfico 2010. Disponível em: <http://www.censo2010.ibge.gov.br/sinopse/index.php?uf=25&dados=1>. Acesso em 10 de abril de 2013.
- MALDONADO, F. D.; CARVALHO, V. C. de. Indicador de degradação a escala subregional para detecção de mudanças na cobertura das terras com sensoriamento remoto. In: Anais...Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11, Belo Horizonte: INPE, p.1353-1356, 2003.
- MARENGO, J. A. Água e Mudanças Climáticas. Estudos Avançados, v.22, n.63, 2008.
- PARAÍBA. Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia e do Meio Ambiente. Agência Executiva de Gestão de Águas do Estado da Paraíba, AESA. PERH-PB: Plano Estadual de Recursos Hídricos: Resumo Executivo & Atlas. Brasília, DF, 2006. 112p.
- RIBEIRO, G. DO N. Mapeamento do uso atual da terra e cobertura vegetal em área do agreste paraibano utilizando técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento. 2006, 112p. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água). Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2006.
- SÁ, I. I. S.; GALVÍNCIO, 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, v.1, n.1, p.28-38. 2008.
- KAUFMAN, Y. J.; HOLBEN, N. B. Calibration of the AVHRR visible and near-IR by atmospheric scattering, ocean glint and desert reflection. International Journal Remote Sensing, v.14, n.1, p.21-52. 1993.
- KUMAR, R. Radiation from plants-reflection and emission: a review. Research Project n.5543. Lafayette: Purdue Research Foundation, 88p. 1972.
- LOPES, H. L.; CANDEIAS, A. L. B.; ACCIOLY, L. J. O.; SOBRAL, M. DO C. M.; PACHECO, A. P. Parâmetros biofísicos na detecção de mudanças na cobertura e uso do solo em bacias hidrográficas. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.14, n.11, p.1210-1219. 2010.
- LOPES, H. L.; ACCIOLY, L. J. O.; CANDEIAS, A. L. B.; SOBRAL, M. C. Análise de índices de vegetação na bacia do rio Brígida, sertão do estado de Pernambuco. In: Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, 3, 2010, Recife. Anais... Recife, p.01-08. 2010.
- MARKHAM, B. L.; BARKER, J. L. Thematic mapper bandpass solar exoatmospherical irradiances. Int. Journal of Remote Sensing, v.8, n.3, p.517-523, 1987.
- NASA. USGS. SRTM - Shuttle Radar Topography Mission Home page. 2002.
- PAIXÃO, F. E.; VALE, R. DE M. C. DO; LOBÃO, J. S. B. Mapeamento de áreas susceptíveis à desertificação no nordeste da Bahia. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 15, 2009, Natal. Anais... Natal: INPE, 2009. p.4195-4200.
- PARKINSON, C. L. Earth from above. University Sciences Books, Sansalito. Land vegetation, 107-111. 1997.
- LIRA, V. M.; SILVA, B. B.; DANTAS, J.; AZEVEDO, A. V.; FRANCO, E. S. Variação sazonal da cobertura vegetal em áreas do submédio São Francisco, a partir de dados NDVI e imagens TM-LANDSAT 5. Enciclopédia Biosfera, v.7, n.12, p.1-9, 2011.

- SILVA, B. B.; LOPES, G. M.; AZEVEDO, P. V. Determinação do albedo de áreas irrigadas com base em imagens LANDSAT 5-TM. Revista Brasileira de Agrometeorologia, v.13, n.2, p.11-21. 2005a.
- SILVA, B. B.; LOPES, G. M.; AZEVEDO, P. V. Balanço de radiação em áreas irrigadas utilizando imagens LANDSAT 5 – TM. Revista Brasileira de Meteorologia, v.20, n.2, p.243-252. 2005b.
- SOUSA, R. F.; BARBOSA, M. P.; MORAIS NETO, J. M.; MENESES, L. F.; GADELHA, A. G. Vulnerabilidades e impactos sócios econômicos e ambientais. Revista de Engenharia Ambiental, v.5, n.3, p.063-078. 2008.
- VAREJÃO-SILVA M. A.; BRAGA, C. C.; AGUIAR M. J. N.; Nietzsche M. H.; Silva, B. B. Atlas Climatológico do Estado da Paraíba. UFPB, Campina Grande. 1984.