

ANÁLISE DA DINÂMICA DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI), DOS ASPECTOS ECONÔMICOS E SUAS RELAÇÕES COM A DESERTIFICAÇÃO/DEGRADAÇÃO AMBIENTAL EM CASTELO DO PIAUÍ, PIAUÍ, BRASIL

ANALYSIS OF VEGETATION INDEX DYNAMICS FOR DIFFERENCE STANDARD (NDVI), OF ECONOMIC ASPECTS AND ITS RELATIONS WITH DESERTIFICATION/ENVIRONMENTAL DEGRADATION IN CASTELO DO PIAUÍ, PIAUÍ, BRAZIL

Francílio de Amorim dos Santos

Instituto Federal do Piauí (IFPI) / *Campus* Piripiri

francilio.amorim@ifpi.edu.br

Cláudia Maria Sabóia de Aquino

Universidade Federal do Piauí (UFPI) /

Campus Ministro Petrônio Portela

cmsaboia@gmail.com

Resumo

A presente pesquisa analisou a cobertura vegetal em Castelo do Piauí, através do Índice de Vegetação por Diferença normalizada (NDVI) e os aspectos econômicos, relacionando-os aos processos de desertificação/degradação na área de estudo. Os resultados do NDVI indicam que de 1985 para 1999 desapareceu a classe Alta de maior proteção das terras e de 1999 para 2014 houve supressão das duas classes de maior proteção das terras. O NDVI permitiu identificar que a classe Solo Exposto foi reduzida em 52,4% de 1989 para 2014, evidenciando uma possível sucessão ecológica, posto que a classe Baixa aumentou em 79,1%, de 1989 para 2014 e a classe Moderadamente Baixa apontou aumento de 81,3% de 1989 para 2014. A classe Moderada de 1989 para 2014 foi reduzida em 99,3%. Em geral, as classes de maior proteção vegetal apresentaram significativas perdas de 1989 para 2014, em Castelo do Piauí. Acredita-se que tais alterações resultam da expansão dos cultivos temporários, que aumentaram em 41,7%, do aumento dos rebanhos bovino e caprino e ainda devido ao aumento da extração vegetal para produção de carvão vegetal e lenha, com consequente redução da proteção das terras por parte da cobertura vegetal. Diante do exposto são necessárias medidas no sentido de orientar formas adequadas do uso das terras, posto que a supressão da cobertura vegetal coaduna com uma série de danos ambientais, quer aos solos, aos recursos hídricos, as temperaturas, enfim à qualidade de vida das populações, em especial das áreas suscetíveis à desertificação a exemplo do município objeto deste estudo.

Palavras-chave: Área suscetível à desertificação, índice de vegetação, sensoriamento remoto.

Abstract

This research examined the vegetation cover in Castelo do Piauí, through the Vegetation Index (NDVI) and the economic aspects, relating them to the processes of desertification/degradation in the study area. The NDVI results indicate that from 1985 to 1999 disappeared High class greater protection of land from and 1999 to 2014 there was suppression of the two greater protection of land classes. The NDVI identified the Exposed Soil class was reduced by 52.4% from 1989 to 2014, showing a possible ecological succession, since the Low class increased by 79.1% from 1989 to 2014, the Moderately Low class showed an increase by 81.3% from 1989 to 2014. The Moderate, class from 1989 to 2014 was reduced by 99.3%. Broadly the higher plant protection classes showed significant losses from 1989 to 2014 in Castelo do Piauí. These changes are believed to result from the expansion of temporary crops, which increased by 41.7%, the increase of cattle and goats herds and due to increased

extraction plant for the production of charcoal and firewood, with consequent reduction protecting the lands by the vegetation. Given the above, it is necessary steps to guide appropriate forms of land use, since the removal of vegetation cover in line with a series of environmental damage, either to soils, water resources, temperatures finally the quality of life of populations, especially the areas susceptible to desertification like the city object of this study.

Keywords: Susceptible area desertification, vegetation index, remote sensing.

Introdução

A expansão das atividades antrópicas tem gerado desequilíbrios na dinâmica natural nos sistemas ambientais. Nesse contexto, as atividades agropecuárias, o extrativismo vegetal e mineral contribuem para suprimir a cobertura vegetal. Destaque-se que, segundo o PAN-Brasil (BRASIL, 2004), Áreas Suscetíveis à Desertificação (ASD) a exemplo do município em estudo apresentam fragilidades naturais, especialmente a climática. Nestas regiões as alterações climáticas aliadas às práticas humanas de modo desordenado podem acelerar o processo de degradação das terras.

O município de Castelo do Piauí é apontado, em estudo de Aquino; Oliveira (2012), como área suscetível à desertificação, fato que ressalta a necessidade de análise do estado de conservação/degradação da cobertura vegetal neste município, buscando relacionar a situação da cobertura vegetal em uma perspectiva dinâmica com as atividades humanas.

Uma das técnicas utilizadas para análise da cobertura vegetal em ASD diz respeito ao Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), que se baseia na aplicação de processos de realce mediante operações matemáticas entre bandas de sensores de satélites. Para o estudo foram utilizadas as bandas 3 e 4 do satélite LANDSAT 5 TM; as bandas 4 e 5 do satélite LANDSAT 8 OLI.

Diante do exposto, os objetivos do presente estudo foram: 1) analisar o estado da cobertura vegetal em Castelo do Piauí através do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) em uma perspectiva dinâmica considerando os anos de 1989, 1999 e 2014; 2) realizar análise das variações dos aspectos econômicos do município de Castelo do Piauí, relacionando-os a processos de desertificação/degradação.

Fundamentação teórica

A paisagem é um conjunto articulado de peças naturais que se constituem por uma intrincada rede de equilíbrio dinâmico que, ao longo do tempo modifica-se com ou sem interferência antrópica. Desse modo, Bertrand (1972, p.141) define paisagem como sendo “[...] o resultado da combinação dinâmica, portanto instável, de elementos físicos, biológicos e antrópicos que, reagindo dialeticamente uns sobre os outros, fazem da paisagem um conjunto único e indissociável, em perpétua evolução”. Ross (2009) complementa ao afirmar que a paisagem permite ao geógrafo ter acesso ao mundo das representações sociais e da natureza.

Dentre os elementos da paisagem a cobertura vegetal destaca-se pela proteção que fornece aos variados tipos de solos. A cobertura vegetal constitui a base da cadeia trófica, sendo responsável pela produção de biomassa. Desse modo, Tricart (1977) afirmar que a cobertura vegetal intervém na diminuição da erosão pluvial e no regime hídrico, devido ao fato de interceptar as precipitações e

fornecer à superfície detritos vegetais que desempenham papel amortecedor (absorção de energia); a cobertura vegetal diminui a velocidade do vento pois aumenta a turbulência da passagem do ar.

As Áreas Suscetíveis à Desertificação (ASD) no mundo e no Brasil, especificamente na região Nordeste e Norte da região Sudeste, apresentam áreas em processo de desertificação. Em geral, segundo Sales (2002), o Nordeste do Brasil possui uma diversidade de paisagens em que o elemento mais marcante do quadro natural é a condição de semiaridez, com cursos d'água intermitentes, sazonais e com baixo potencial de águas subterrâneas. Ressalta, ainda, que às margens desses cursos d'água desenvolveram-se, em meados do século XVIII, atividades econômicas em torno da pecuária bovina e cultivos de algodão. Nessas áreas os solos eram recobertos por caatinga, cerrado e carrasco, com estrutura fundiária rígida e agricultura predatória que resultava em degradação ambiental.

Segundo Cândido (2008), a presença de vegetação é essencialmente importante à proteção dos solos, pois no período chuvoso ela recobre novamente os solos, antes expostos, seja a vegetação nativa ou mesmo as plantações. Por outro lado, em áreas onde o processo de degradação/desertificação instalou-se a vegetação não mais consegue regenerar-se. Logo, as variáveis naturais quando integradas revelam a suscetibilidade natural de determinadas áreas à Desertificação processo que, segundo o Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca (BRASIL, 2004), pode ser definido como a degradação das terras nas zonas áridas, semiáridas e subúmidas secas, sendo produto de variações climáticas e atividades humanas estas relacionadas ao uso inadequado dos recursos naturais.

Nessa ótica, para Beltrame (1994), a determinação do parâmetro cobertura vegetal possibilita o conhecimento a respeito do grau de proteção da vegetação proporcionada ao solo, além de permitir análises acerca dos diversos tipos de cobertura vegetal existentes atualmente.

O estudo da dinâmica da paisagem que otimizada a partir do emprego de técnicas de sensoriamento remoto que, segundo Mendonça (1989), têm sido utilizadas de forma satisfatória para estudos geográficos contemporâneos.

As imagens resultantes do sensoriamento remoto permitem ter uma visão de conjunto multitemporal de diversas e extensas áreas da superfície terrestre, permitem visualizar os diferentes ambientes e suas transformações, pois é possível observar os principais impactos originados por fenômenos naturais, tais como inundações e erosão do solo, e os antrópicos, a exemplo dos desmatamentos, as queimadas, a expansão urbana, dentre outras alterações do uso e da ocupação da terra (FLORENZANO, 2005).

Segundo Florenzano (2008), os sistemas de processamento e análise de imagens, através dos vários *softwares* disponíveis, possibilitam aplicar técnicas de processamento de imagens, citam-se as correções e realce de dados e classificações automatizadas. Por sua vez, as técnicas de processamento de imagens digitais, constituem operações numéricas que são aplicadas às imagens.

Para o presente estudo foi utilizado o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), que diz respeito à aplicação de processos de realce mediante a extração de contraste entre imagens de sensores de satélites, no caso do satélite Landsat 5 TM entre as bandas 3 (visível) e 4 (infravermelho próximo), para o Landsat 8 OLI entre as bandas 4 (visível) e 5 (infravermelho próximo). Essa técnica surgiu como alternativa para estudos na região semiárida de forma a modelar e monitorar o estágio

de degradação. Segundo Melo, Sales & Oliveira (2011), o NDVI permite mensurar a densidade de fitomassa foliar fotossinteticamente ativa por unidade de área. Logo, quanto mais densa for a vegetação verde maior será a reflexão da banda do infravermelho próximo.

Vários estudos utilizaram o referido índice para analisar a vegetação em diferentes áreas, tendo alcançado resultados satisfatórios. Entre esses estudos, destacam-se os de Ferrari, Santos & Garcia (2011) e Carvalho & Almeida-Filho (2007). Em suma, em estudos realizados nas ASD vários pesquisadores empregam imagens orbitais com objetivo de identificar a densidade da cobertura vegetal e conhecer as formas de uso e cobertura das terras, pois o uso inadequado e/ou sem manejo gera impactos e degradação ambiental em área ambientalmente frágil resultando no desenvolvimento do processo de desertificação em áreas de clima subúmido seco e semiárido.

Metodologia

A homogeneidade da paisagem é momentânea, depende das características físicas e culturais, além da hierarquia e escala de observação (FLORENZANO, 2008). A metodologia empregada possui natureza quanti-qualitativa e a pesquisa tem natureza exploratória, pois buscou analisar de modo dinâmico a cobertura vegetal em Castelo do Piauí utilizando o Índice de Vegetal por Diferença Normalizada (NDVI), buscando sempre que possível relacionar ao conjunto das atividades humanas desenvolvidas no referido município.

Foram adquiridas imagens referentes aos anos de 1989, 1999 e 2014, distribuídos gratuitamente na internet através do site <<http://earthexplorer.usgs.gov/>> do *United States Geological Service* (Serviço Geológico dos Estados Unidos - USGS). De acordo com Aquino; Valladares (2013), o sistema Landsat foi desenvolvido pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), possibilitando a aquisição de dados espaciais, espectrais e temporais da superfície terrestre, de forma global, sinóptica e repetitiva. Foram selecionadas imagens Landsat tomando como base a menor presença de nuvens. As imagens selecionadas possuem as seguintes características, conforme Quadro 1.

Quadro 1 - Características das Imagens Landsat, imageadas do município de Castelo do Piauí.

Landsat 5 TM (1989)		Landsat 5 TM (1999)		Landsat 8 OLI (2014)	
Ponto/Órbita	Datas	Ponto/Órbita	Datas	Ponto/Órbita	Datas
218/64	07/08	218/64	03/08	218/64	12/08
Fonte: Pesquisa direta. Santos (Org.), 2015.					

O índice de cobertura vegetal foi mensurado através do NDVI utilizando a Equação 1, descrita abaixo (JENSEN, 1996 apud MELO; SALES; OLIVEIRA, 2011):

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{R}) / (\text{NIR} + \text{R}) \quad (1)$$

Em que:

NDVI é o índice de Vegetação por Diferença Normalizada;

NIR é a refletância no comprimento de onda correspondente ao Infravermelho Próximo (0,76 a 0,90 μm);

R é a refletância no comprimento de onda correspondente ao Vermelho (0,63 a 0,69 μm).

Para elaboração do NDVI os dados das imagens, acima discriminadas, foram trabalhadas no Sistema de Informação Geográfica (SIG) *ArcGIS* 10.1. Para Aquino & Valladares (2013), o referido SIG possui uma interface gráfica de fácil utilização, possibilitando carregar dados espaciais e tabulares, além de visualizá-los na forma de mapas, tabelas e gráficos. Através da função *Reclassify* do *ArcGIS* 10.1, as classes de NDVI para os anos de 1989, 1999 e 2014 foram reclassificadas, conforme Tabela 1.

Tabela 1 - Reclassificação dos intervalos do NDVI, para 1989, 1999 e 2014.

Reclassificação	Classes de NDVI	Intervalos do NDVI
6	Alta	0,8 a < 1,0
5	Moderadamente Alta	0,6 a < 0,8
4	Moderada	0,4 a < 0,6
3	Moderadamente Baixa	0,2 a < 0,4
2	Baixa	> 0 a < 0,2
1	Solo Exposto	< 0

Fonte: Pesquisa direta. Santos (Org.), 2015.

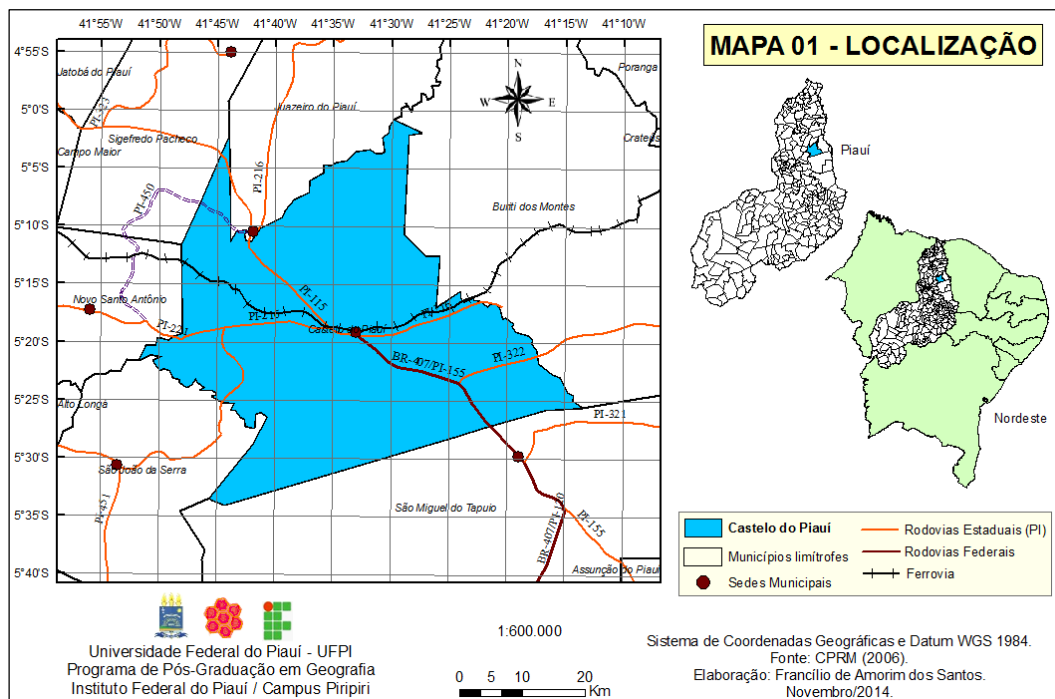
Os dados econômicos foram extraídos do bando de dados disponível no site <<http://cidades.ibge.gov.br>> e pesquisa direta nos documentos internos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Caracterização e localização da área em estudo

O município de Castelo do Piauí localiza-se na Macrorregião do Meio-Norte e Território do Desenvolvimento dos Carnaubais (PIAUÍ, 2006). O município possui área com 2.035,2 km² e limita-se ao norte com Pedro II, ao sul com São Miguel do Tapuio, a leste Área de Litígio entre Piauí e Ceará, a oeste com Campo Maior, Alto Longá e São João da Serra; sua sede situa-se a 184 km de Teresina,

capital do estado do Piauí, e está localizado às Coordenadas Geográficas: 05°19'19"S e 41°33'10"O, conforme Figura 2 (AGUIAR & GOMES, 2004; IBGE, 2013).

Figura 2 -Localização do município de Castelo do Piauí.



Fonte: CPRM (2006).

O citado município possui importantes fontes historiográficas, registros fósseis, vegetação de transição caatinga, cerrado e mata de cocais, com formações rochosas areníticas; juntamente com Juazeiro do Piauí, Castelo do Piauí pertence a um Aglomerado de Municípios (AGM) constituído por minas e jazidas de rochas ornamentais, de arenitos e siltitos, cujas reservas são superiores a 18.000.000 m³. Este AGM exerce uma liderança que atualmente responde por quase 100% das exportações piauienses de produtos de base mineral, conferindo-lhes a denominação de Polo de Mineração e Garimpo de Rochas Ornamentais (CEPRO, 2008).

Análise e discussão dos resultados

A análise dos resultados basear-se-á nos dados do NDVI no município de Castelo do Piauí e ainda nos dados relativos às atividades agrícola, pecuária e de extração desenvolvidas na área.

Análise dinâmica do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI)

As imagens do satélite Landsat 5 TM e Landsat 8 OLI permitem afirmar que a cobertura das terras do município de Castelo do Piauí apresenta significativas mudanças no que diz respeito ao seu padrão de proteção dada pela cobertura vegetal, pois de acordo com o mapa de NDVI de 1989 para 1999 a classe de Alta proteção é suprimida e de 1999 para 2014 há a supressão das classes Alta e Moderadamente Alta (Ver Figura 3).

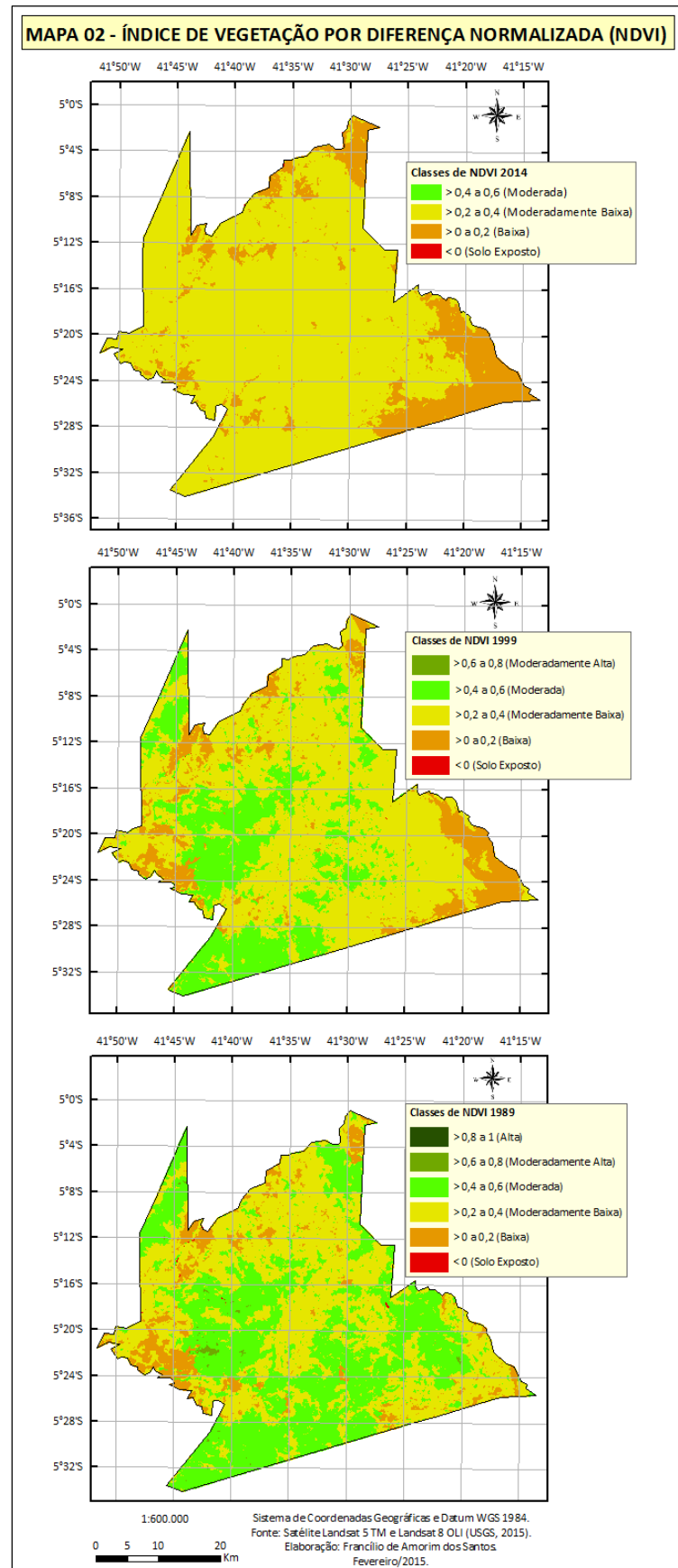
A Tabela 2 possibilita inferir que as classes de proteção das terras em Castelo do Piauí apresentaram grandes mudanças, pois a classe de solo exposto teve redução de 52,4% de 1989 para 2014; por sua vez, a classe Baixa teve aumento de 79,1%, de 1989 para 2014; com aumento de 81,3% a classe Moderadamente Baixa foi a que teve o mais significativo aumento, de 1989 para 2014; por outro lado, a classe de proteção que apontou maior perda foi a Moderada que, de 1989 para 2014, foi reduzida em 99,3%; as classes de maior proteção, ou seja, a Moderadamente Alta e Alta apresentaram significativas perdas, pois de 1989 para 2014, foram suprimidas devido às atividades antrópicas (agricultura, pecuária e extrativismo), segundo dados apresentados adiante.

Tabela 2 - Distribuição absoluta e relativa dos valores de NDVI em Castelo do Piauí, comparação para anos de 1989, 1999 e 2014.

Classe de Proteção da Cobertura Vegetal (NDVI)	Área no Nível (km ²)			% da Área Total		
	1989	1999	2014	1989	1999	2014
Alta	2	-	-	0,1	-	-
Moderadamente Alta	32,6	2	-	1,6	0,1	-
Moderada	875,1	659,4	6,1	43	32,4	0,3
Moderadamente Baixa	858,8	1.023,7	1.557	42,2	50,3	76,5
Baixa	262,5	346	470,1	12,9	17	23,1
Solo Exposto	4,2	4,1	2	0,2	0,2	0,1
Total	2.035,2	2.035,2	2.035,2	100%	100%	100%

Fonte: Pesquisa direta. Santos (Org.), 2015.

Figura 3 - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) do município de Castelo do Piauí, comparação entre os anos de 1989, 1999 e 2014.



Fonte: USGS (2014).

A vulnerabilidade climática natural, suscetível à desertificação, aliada à expansão das áreas destinadas aos plantios temporários, ao aumento da extração vegetal para produção de carvão vegetal e lenha, ao aumento dos efetivos dos rebanhos bovino e ovino tem gerado perdas consideráveis nas classes de maior proteção e aumento das classes de menor proteção.

Variação temporal dos aspectos agropecuários e extrativistas em Castelo do Piauí

A partir de 1990 houve um grande dinamismo na economia piauiense, resultado principalmente da expansão da produção de soja, da castanha de caju e da cana-de-açúcar, bem como do aumento da produção de hortifrutigranjeiros como a banana, manga, laranja e alho (MACAMBIRA, 2000).

Castelo do Piauí, assim como as demais áreas suscetíveis à desertificação brasileiras, apresenta economia baseada nas práticas agropecuárias e extrativistas.

O cultivo de banana é uma atividade bastante difundida em todos os Estados das ASD, cuja prática é típica da agricultura familiar voltada para a subsistência (BRASIL, 2007). A cultura permanente com o cultivo de banana, segundo dados da produção agrícola municipal, foi desenvolvida em Castelo do Piauí de 1989 a 2002 (Ver Tabela 3). Outro cultivo permanente que se destaca no município é o da produção de castanha de caju. Este cultivo apresentou-se ascendente com aumento de 86%, de 1989 a 2012 (Ver Tabela 3). A redução na área destinada ao cultivo, área colhida e quantidade produzida de 1989 para 1997, deve-se ao processo de emancipações municipais.

Tabela 3 - Evolução da lavoura permanente em Castelo do Piauí, nos anos de 1989, 1997 e 2012.

Produto cultivado	Área plantada (ha)	Área colhida (ha)	Quantidade produzida (ton)
1989			
Banana	50	50	83
Castanha-de-caju	7.000	7.000	1449
Soma das variáveis	7.050	7.050	1.532
1997			
Banana	2	2	3
Castanha-de-caju	339	339	51
Soma das variáveis	341	341	54
2012			
Castanha-de-caju	411	411	12
Uva	4	4	114
Soma das variáveis	415	415	126

Fonte: Pesquisa Agropecuária (1989, 1997 e 2012).

De 1989 a 1997, as culturas temporárias em Castelo do Piauí tiveram as áreas destinadas ao plantio, à colheita e quantidade produzida reduzidas devido às emancipações dos municípios de Buriti dos Montes em 1993 e Juazeiro do Piauí em 1997. Porém, a partir de 1997 e 2012 os citados cultivos apresentam aumento tanto na área plantada, como na área colhida e quantidade produzida, conforme apresentado na Tabela 4.

A cultura temporária que apresentou maior expressividade na área de estudo foi o cultivo de cana-de-açúcar, que de 1997 a 2012 apresentou expansão da área plantada e colhida, em mais de 200 ha (Ver Tabela 4). Essa expressiva produtividade de cana-de-açúcar deve-se à instalação da fábrica Mangueira Indústria de Bebidas LTDA., produtora da Cachaça Mangueira, cuja história de produção iniciou em 1956, na fazenda de mesmo nome, em Castelo do Piauí.

A segunda cultura mais representativa na área em estudo diz respeito ao cultivo de mandioca. Os dados dispostos na Tabela 4 apontam aumento da produção de 1997 a 2012. A referida cultura é tipicamente desenvolvida na forma de agricultura familiar e é originária do território brasileiro (BRASIL, 2007) e, segundo Aquino (2010), a citada cultura é tolerante ao solo seco e de baixa fertilidade, tendo importante função de segurança alimentar do sertanejo.

Os cultivos de milho e feijão apresentam-se representativos na área em estudo. A produção de milho constitui-se bastante expressiva tanto na agricultura de subsistência quanto no agronegócio. O feijão é cultivado em 99% dos municípios das ASD, sendo de grande importância para a subsistência dos pequenos agricultores (BRASIL, 2007). Os dados da Tabela 4 mostram que o milho apresentou melhor produção de 1997 a 2012. O cultivo da melancia apresentou gradativo aumento de 1997 a 2012, na área plantada e colhida e quantidade produzida (Ver Tabela 4).

Tabela 4 - Evolução das lavouras temporárias em Castelo do Piauí, nos anos de 1989, 1997 e 2012.

Produto cultivado	Área plantada (ha)	Área colhida (ha)	Quantidade produzida (ton)
1989			
Arroz	850	850	1.300
Cana-de-açúcar	1.000	1.000	45.000
Feijão	3.500	3.500	1.050
Mandioca	3.000	3.000	36.000
Melancia	300	300	120
Milho	4.300	4.300	2.580
Soma das variáveis	12.950	12.950	86.050
1997			
Arroz	339	339	43
Cana-de-açúcar	58	58	2.792
Feijão	834	834	140
Mandioca	103	103	515
Melancia	3	3	9
Milho	1.160	1.160	84
Soma das variáveis	2.497	2.497	3.583
2012			
Arroz	202	202	10
Cana-de-açúcar	280	280	14.280
Feijão	1.594	1.594	119
Mandioca	248	248	471
Melancia	7	7	175
Milho	1.208	1.208	116
Soma das variáveis	3.539	3.539	15.171

Fonte: Pesquisa Agropecuária (1989, 1997 e 2012).

O município de Castelo do Piauí que está inserido em ASD, apresentou produção agrícola com grande oscilação na quantidade de grãos produzidos, a exemplo do feijão que é de grande importância para a subsistência da população das ASD, desenvolvido em regime de agricultura de sequeiro, mas que se apresenta sensível à deficiência hídrica. A produção dessa cultura apresentou oscilação de 20 a 40% entre 1990 e 2004; a mandioca típica da agricultura familiar teve sua produção, de 1990 a 2004, oscilando na faixa de 30%; o milho destaca-se com expressiva produção tanto no que diz respeito à subsistência quanto ao agronegócio, entretanto é uma cultura vulnerável aos efeitos da seca e à variação dos preços no mercado (BRASIL, 2007).

A Tabela 5 apresenta a síntese da dinâmica agrícola do município de Castelo do Piauí, para os anos de 1989 e 2012, e levou em consideração as áreas destinadas às culturas temporárias e permanentes. Devido às emancipações municipais ocorridas foram considerados os dados dos anos de 1997 e 2012 para discutir a redução/aumento da proteção oferecida pela cobertura vegetal à área em estudo. Através da Tabela 5, pode-se inferir que houve aumento de 41,7% da área destinada ao plantio das culturas temporárias, de 1997 a 2012, resultando em redução da proteção fornecida pela cobertura vegetal e aumento da degradação; houve aumento da área destinada às culturas permanentes em 17,8%, resultando em aumento da proteção e redução da degradação.

Tabela 5 - Síntese da variação entre os anos de 1997 e 2012 das áreas plantadas (culturas temporárias e permanentes) do município de Castelo do Piauí.

Culturas	Área plantada (ha)		Variação entre 1989 e 2009	
	1997	2012	Porcentagem	Consequência
Temporárias	2.497	3.539	Aumento de 41,7%	Redução da proteção/ Aumento da degradação
Permanente	341	415	Aumento de 17,8%	Aumento da proteção/ Redução da degradação

Fonte: Pesquisa direta. Santos (Org.), 2015.

Os dados da Tabela 5 estão diretamente relacionados à dinâmica do NDVI, pois as áreas destinadas aos cultivos temporários, de 1997 para 2012, têm levado à supressão das classes de maior proteção, fato que tem favorecido o aumento da classe de NDVI baixa, que em 1989 ocupava 12,9% da área passou a ocupar 17% e 23% nos anos de 1999 e 2014 respectivamente. Ressalta-se que essa baixa proteção oferecida pela cobertura vegetal desencadeia expansão de processos erosivos, conforme são apresentados nas figuras 4 e 5.

Figura 4 - Processo de ravinamento em solo desprovido de cobertura vegetal.



Fonte: Pesquisa direta. Santos (Org.), 2014.

Figura 5 - Afloramento rochoso com presença de vegetação típica da caatinga.



Fonte: Pesquisa direta. Santos (Org.), 2014.

Os dados dispostos na Tabela 6 apresentam a variação da produtividade na área em estudo, considerando os anos entre 1989 a 2012. Observando a Tabela 6, pode-se afirmar que houve aumento na produtividade de todas as culturas, exceto o cultivo de arroz e milho. Destaca-se que o aumento da produtividade deveu-se também ao aumento das áreas destinadas ao plantio e colheita. Logo, para expandir as culturas temporárias foi necessário o desmatamento na área em estudo, confirmado através dos dados do NDVI, constantes na Tabela 2 que indica redução das classes de proteção alta, moderadamente alta e moderada e aumento das classes de moderadamente baixa e baixa proteção oferecida pela cobertura vegetal.

Tabela 6 - Área plantada, produção bruta, produtividade e sua variação entre os anos de 1989 e 2012 no município de Castelo do Piauí.

Culturas Anos	Área plantada (ha)		Produção bruta (ton)		Produtividade (ton/ha)		Variação da produtividade entre 1989 e 2012 (%)
	1989	2012	1989	2012	1989	2012	
Arroz	850	202	1.300	10	1,529	0,05	-96,7
Cana-de-açúcar	1.000	280	45.000	14.280	45	51	+13,3
Feijão	3.500	1.594	1.050	119	0,3	0,075	+75
Mandioca	3.000	248	36.000	471	12	18,99	+58,2
Melancia	300	7	120	175	0,4	25	+6.150
Milho	4.300	1.208	2.580	116	0,6	0,096	-84
Banana	50	*	83	24*	1,66	0,012*	+99,3*
Castanha-de-caju	7.000	411	1.449	12	0,207	0,029	+86
Uva	4**	4	4**	114	27**	28,5	5,5**

*Foi considerado para análise o último ano de área plantada e produção registrada, ou seja, 2002.

**Foi considerado para análise o primeiro ano de área plantada e produção registrada, ou seja, 2010.

Fonte: Pesquisa direta. Santos (Org.), 2015.

Os dados apresentados na Tabela 7 permitem afirmar que de 1997 para 2012 os efetivos bovino, ovino e caprino apresentaram redução de 3%. Porém, quando foram analisados individualmente, o rebanho bovino do município de Castelo do Piauí apresentou aumento gradativo de 18,3% e o rebanho ovino teve aumento de 10,8% entre 1997 e 2012. Considerando a prática de uma pecuária extensiva, acredita-se que o aumento desses efetivos favoreça a redução da proteção vegetal e o aumento da degradação na área. O único rebanho, entre os três, que apresentou redução foi o caprino, com diminuição de 21% de 1997 para 2012.

Tabela 7 - Efetivos bovino, ovino e caprino nos municípios de Castelo do Piauí e Juazeiro do Piauí nos anos de 1990, 1997, 2005 e 2012.

Anos	Bovino (Nº de cabeças)	Ovinos (Nº de cabeças)	Caprinos (Nº de cabeças)	Nº Total de Cabeças
1997	12.743	15.008	26.521	54.272
2012	15.082	16.633	20.955	52.670

Fonte: Pesquisa Pecuária (1990, 1997, 2005 e 2012).

Assim como as emancipações municipais tiveram interferência direta nos dados das culturas temporárias e permanentes (áreas plantadas e colhidas e quantidade produzida), de 1990 a 1997, os dados dos efetivos dos rebanhos (bovino, ovino e caprino) também sofreram interferência no número de cabeças, que apresentou redução. Portanto, foram analisados os dados dos três rebanhos, considerando os dados dos anos de 1997 a 2012. Os dados dispostos na Tabela 8 apontam redução de 2,9% em relação ao total dos efetivos dos três rebanhos, de 1997 para 2012, o que proporcionou um pequeno aumento na proteção da cobertura vegetal.

Tabela 8 - Síntese da variação dos rebanhos (bovino, ovino e caprino) entre os anos de 1997 a 2012 no município de Castelo do Piauí.

Variáveis	Rebanho							
	Bovino (B)		Ovino (O)		Caprino (C)		Totais (B+O+C)	
	Anos							
	1997	2012	1997	2012	1997	2012	1997	2012
Cabeças	12.743	15.082	15.008	16.633	26.521	20.955	54.272	52.670
Variação entre 1997 e 2012					Porcentagem/ Cabeças		Diminuição de 2,9%	
					Consequência		Redução da degradação/ Aumento da proteção	

Fonte: Pesquisa direta. Santos (Org.), 2015.

A produção de carvão vegetal aumentou em ritmo acelerado a partir de 2003, apresentando incremento abrupto na produção (BRASIL, 2007). A produção de cera de carnaúba apresentou-se ascendente de 2004 para 2012, da ordem de 45,9%(Ver Tabela 9). A produção de carvão vegetal e lenha apresentaram aumento gradativo de 2004 a 2012, respectivamente, de 29% e 21,6%, conforme mostra a Tabela 9.

Tabela 9 – Evolução da produção da cera de carnaúba (pó), carvão vegetal e lenha no município de Castelo do Piauí, no período de 2004 a 2012.

Ano	Cera de carnaúba (pó) (ton)	Carvão vegetal (ton)	Lenha (ton)
2004	268	486	8.640
2008	464	579	9.169
2012	391	627	10.504

Fonte: IBGE (2004, 2008 e 2012).

Por meio da Tabela 10, pode-se afirmar que houve significativo aumento na produção de carvão vegetal e lenha, de 2004 para 2012, respectivamente, de 29 % e 21,6%, o que significa redução da proteção da cobertura vegetal e aumento da degradação. Tais resultados merecem atenção, visto que os números retratam o aumento da retirada da cobertura vegetal, deixando o solo desprotegido e suscetível ao processo de degradação.

Tabela 10 - Síntese da variação da produção da cera de carnaúba (pó), carvão vegetal e lenha nos municípios de Castelo do Piauí e Juazeiro do Piauí, no período de 2004 a 2012.

Extração vegetal	Quantidade produzida (ton)		Variação entre 2004 e 2012	
	2004	2012	Porcentagem	Consequência
Carvão vegetal	486	627	Aumento de 29%	Aumento da degradação/ Redução da proteção
Lenha	8.640	10.504	Aumento de 21,6%	Aumento da degradação/ Redução da proteção

Fonte: Pesquisa direta. Santos (Org.), 2015.

O aumento da extração vegetal para a produção de carvão vegetal e lenha tem relação com os dados do NDVI, pois os dados da Tabela 10 sugerem redução da proteção devido ao desmatamento para a prática extrativista, praticada principalmente em caatinga arbustiva, o que foi verificado diretamente em campo.

Conclusões

A análise da cobertura vegetal em Castelo do Piauí, através da NDVI, apontou significativas variações do referido índice no município em estudo. Destaca-se que de 1989 para 1999 houve supressão da classe de maior proteção e de 1999 para 2014 a classe Alta e Moderadamente Alta foram convertidas em classes de menor proteção, Baixa e Moderadamente Baixa. Deve-se citar também que houve aumento de 81,3% da classe Moderadamente Baixa e redução de 99,3% da classe Moderada de 1989 para 2014. Esses dados têm direta relação com os dados agropecuários e extrativista levantados.

A expansão dos cultivos agrícolas em 41,7% considerando os anos de 1997 a 2012, o aumento dos efetivos bovino e ovino, nos anos de 1997 e 2012 e o aumento da extração vegetal para a produção

de carvão vegetal e produção de lenha, em 2004 e 2012, acredita-se que tenha contribuído significativamente para a supressão das classes de maior proteção (Alta e Moderadamente Alta) e aumento de classes de menor proteção, a exemplo da Moderadamente Baixa e Baixa.

A busca de análise articulada entre dados de cobertura vegetal a partir do uso do NDVI e dados econômicos sugere um uso desordenado da terra no município objeto deste estudo. Sugere-se a condução de novos estudos que envolvam outros elementos da paisagem, a exemplo da caracterização pedológica, climática e geomorfológica, como forma de avaliar a degradação da área em uma perspectiva integrada, para fins de minimização dos impactos em Castelo do Piauí, município suscetível à desertificação.

Referências bibliográficas

Aguiar, R. B. de, & Gomes, J. R. de C. (Org.). (2004). *Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea, estado do Piauí: diagnóstico do município de Castelo do Piauí*. – Fortaleza: CPRM - Serviço Geológico do Brasil.

Aquino, C. M. S. de. (2010). *Estudo da degradação / desertificação no núcleo de São Raimundo Nonato - Piauí*. (Tese de Doutorado). Universidade Federal de Sergipe - UFSE. São Cristovão.

Aquino, C. M. S. de, & OLIVEIRA, J. G. B. de. (2012). Estudos sobre desertificação no Piauí. *Sapiência*. Teresina-PI, jan/fev/mar, nº 30, ano VIII.

Aquino, C. M. S. de, & Valladares, G. S. (2013). Geografia, Geotecnologias e Planejamento Ambiental. *Geografia (Londrina)*, v. 22, n.1, p. 117-138, jan/abr.

Beltrame, A. da V. *Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas: modelo e aplicação*. – Florianópolis: Ed. da UFSC, 1994.

Bertrand, G. (1972). Paisagem e geografia física global: esboço metodológico. *Cadernos de Ciências da Terra*, v. 13, p. 1-27, IG-USP.

Brasil. (2004). Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos. *Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca PAN-Brasil*. Brasília: MMA.

BRASIL. (2007). Ministério do Meio Ambiente. *Atlas das áreas susceptíveis à desertificação do Brasil*. Secretaria de Recursos Hídricos. Universidade Federal da Paraíba; Marcos Oliveira Santana (Org.). Brasília.

Cândido, H. G. (2008). *Degradação ambiental da bacia hidrográfica do rio Uberaba - MG*. (Tese de Doutorado). Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, MG. 96 f.

Carvalho, C. M. de, & Almeida-Filho, R. (2007). Uso de imagens Landsat-TM para avaliar a extensão da desertificação na região de Gilbués, sul do estado do Piauí. In: *Anais XIII Simpósio de Sensoriamento Remoto*, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril, INPE. p.4365-4372.

CEPRO - Fundação Centro de Pesquisas Econômicas e Sociais do Piauí. (2008). *Diagnóstico e Diretrizes para o Setor Mineral do Estado do Piauí*. Departamento Nacional de Produção Mineral (DPNM).

Ferrari, J. L., Santos, A. R. dos, & Garcia, R. F. (2011). Análise da vegetação por meio da subtração de imagem NDVI na Sub-bacia Hidrográfica do Córrego do Horizonte, Alegre, ES. *Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal*, v. 8, n. 3, jul./set, p.003-018.

Florenzano, T. G. (2005). Geotecnologias na geografia aplicada: difusão e acesso. *Revista do Departamento de Geografia*, vol. 17, p.24-29.

Florenzano, T. G. (2008). Sensoriamento Remoto para Geomorfologia. In: FLORENZANO, Teresa Gallotti (Org.). *Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais*. São Paulo: Oficina de Textos. p.36-71.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. (2013). Banco de dados. *Cidades*. Acedido a 20 de Dezembro de 2013 em: www.cidades.ibge.gov.br.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. *Pesquisa Agropecuária Municipal Piauí – anos de 1989 e 1997*. Rio de Janeiro.

IBGE. *Pesquisa Pecuária Municipal Piauí – anos de 1997*. Rio de Janeiro.

Macambira, D. M. (2000). Piauí: uma visão sumária da economia e da sociedade. In: *Carta CEPRO*. Teresina, v. 18, n. 1, p.39-65, jan./jun.

Melo, E. T., Sales, M. C. L., & Oliveira, J. G. B. de. (2011). Aplicação do índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para análise da degradação ambiental da microbacia hidrográfica do riacho dos cavalos, Crateús-CE. *Revista RA'E GA*, v. 23, Curitiba, Departamento de Geografia - UFPR. p.520-533.

Mendonça, F. (1989). *Geografia física: ciência humana?* – São Paulo: Contexto.

Piauí. (2006). Gabinete do Governador. Palácio de Karnak. *Projeto de Lei Complementar nº 004, de 14 de fevereiro de 2006*. Estabelece o Planejamento Participativo Territorial para o Desenvolvimento Sustentável do estado do Piauí e dá outras providências.

Rebêlo, E. M. de C. G. *Processo de organização político-administrativa do espaço do Piauí*. Texto produzido como parte do relatório final do projeto de pesquisa “De Mocha a Aroeiras do Itaim”, que está em andamento. S/D.

Sales, M. C. L. (2002). Evolução dos estudos de desertificação no Nordeste brasileiro. *Revista GEOUSP, Espaço e Tempo*, São Paulo, Nº 11, p.115-126.

Tricart, J. (1977). *Ecodinâmica*. Rio de Janeiro, IBGE, Diretoria Técnica, SUPREN.

USGS - United States Geological Service (Serviço Geológico dos Estados Unidos). *Earth Explorer - Collection- Landsat Archive*. Acedido a 20 de Janeiro de 2015 em <http://earthexplorer.usgs.gov/>.