



Umidade antecedente e índice de vegetação da diferença normalizada no mapeamento da caatinga

Paulo Roberto Megna Francisco¹, Iede de Brito Chaves¹, Lucia Helena Garofalo Chaves², Eduardo Rodrigues Viana de Lima¹, Bernardo Barbosa da Silva²

RESUMO: Neste trabalho foram correlacionados Índices de Biomassa da Vegetação Lenhosa (IBVL) de alvos descritos no campo, com o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN), obtido de imagens de satélite, visando mapear a vegetação da caatinga da bacia do rio Taperoá, no Estado da Paraíba. Foram utilizadas imagens dos períodos secos de 1996 e de 2009 e úmido de 2010 com o objetivo de avaliar o efeito da umidade antecedente sobre as respostas espectrais da vegetação da caatinga. Os resultados mostram uma correlação maior entre leituras para o período seco, com um coeficiente de determinação de 0,7587; para o período úmido o coeficiente de determinação foi de 0,2656, indicando valores de IVDN mais dispersos e na média o dobro daqueles do período seco. Os valores de IVDN mais altos para o período úmido estão relacionados às áreas com vegetação aberta (IBVL de 0,4 a 0,6), com maior presença de plantas jovens fotossinteticamente mais ativas e em condições de solos mais planos e profundos; por outro lado, os valores mais baixos de IVDN neste período estão relacionados às áreas degradadas, com solos rasos, declivosos e erodidos e com baixa cobertura de vegetação (IBVL de 0,20). Na análise temporal (1996 e 2009) a vegetação da bacia do Taperoá apresentou um ganho de 53,8% de biomassa lenhosa, dado que pode estar superestimado pelo efeito da umidade anual e de eventos de precipitação antecedentes à data de tomada da imagem.

Palavras-chave: rio Taperoá, semiárido, desertificação, sensoriamento remoto.

Antecedent and humidity index of the normalized of difference vegetation mapping caatinga

ABSTRACT: In this work were correlated Indices of Vegetation Woody Biomass (IBVL) of the targets described in the field with the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) obtained from satellite images, with purpose of mapping the vegetation of the Caatinga of Taperoá basin in the state of Paraíba. Images of dry periods of 1996 and 2009 and wet 2010 were used with the objective of evaluating the effect of antecedent moisture on the spectral responses of the caatinga vegetation. The results show greater correlation between readings for the dry season, with a coefficient of determination $R^2 = 0.7587$; in the wet period the coefficient of determination was $R^2 = 0.2656$, indicating NDVI values more scattered and on average double of the one obtained in the dry period; NDVI values higher for the wet season are related to areas with open vegetation (IBVL 0.4 to 0.6), with greater presence of photosynthetically most active young plants and soil conditions more planes and deep. On the other hand, lower values of NDVI during this period are related to degraded areas with shallow, sloping and eroded soils and low vegetation cover (IBVL 0.20). In temporal analysis (1996 and 2009), the vegetation of the basin Taperoá showed a gain of 53.8% of woody biomass, as might be overrated by the effect of moisture and annual precipitation events record the date of taking the picture.

Keywords: Taperoá river, semiarid, desertification, remote sensing.

INTRODUÇÃO

O bioma Caatinga caracteriza-se por apresentar uma grande diversidade de paisagens. A variabilidade na composição e no arranjo dos seus componentes botânicos são respostas aos processos de sucessão e a influência das interações entre os diferentes componentes ambientais (SILVA et al., 2000; SAMPAIO, RODAL, 2000). Características hidrogeológicas e geomorfológicas, como solos, altitude, declividade e curvatura do relevo estão intimamente relacionadas com tipos vegetacionais de caatinga (BISPO et al., 2010).

O comportamento espectral da vegetação mostra que as superfícies fotossinteticamente ativas das plantas refletem uma menor quantidade da luz da porção do visível, 0,4 até 0,7 μ m, particularmente nas regiões do azul e vermelho. Isso se deve à maior absorção pela concentração de clorofila e de outros pigmentos da folha; enquanto que na porção do espectro entre 0,7 a 1,3 μ m (infravermelho próximo), ocorre uma elevada refletância, associada às características da estrutura celular dos tecidos vegetais (VALERIANO, 2003; MALDONADO,

Recebido em 06/11/2015, Aceito para publicação em 26/06/2017

¹ Universidade Federal da Paraíba (UFPB)

² Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

*e-mail: paulomegna@ig.com.br

2005; PONZONI, SHIMABUKURO, 2007). Fazendo uso desta peculiaridade espectral da vegetação (alta absorção da luz no visível, e alta refletância no infravermelho próximo), diversas combinações entre estas bandas espectrais têm sido utilizadas como índices espectrais identificadores da vegetação (MOREIRA, 2005; PONZONI, SHIMABUKURO, 2007).

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN) estabelecido pela relação entre a diferença e a soma das refletâncias do infravermelho e do vermelho do espectro eletromagnético, por responder fortemente à atividade fotossintética, tem sido utilizado amplamente em trabalhos de monitoramento e diagnóstico na agricultura (VALERIANO, 2003; LIRA et al., 2011), silvicultura (Ferreira *et al.*, 2011), vegetação natural (BARBOSA et al., 2011; CUNHA et al., 2012) e desertificação (ACCIOLY et al., 2002; COSTA et al., 2002).

Na caatinga, no período seco, embora não haja atividade fotossintética, a resposta do IVDN se dá devido à absorção da luz vermelha pela interação com os componentes da superfície, vegetação/solo/sombra, como explica Maldonado (2005). Sendo assim, além da diversidade de seus espaços, a variabilidade espacial e temporal da precipitação associada com a rápida resposta da vegetação à disponibilidade de água, torna a interpretação da imagem desse bioma uma tarefa complexa. Trabalhos de monitoramento da vegetação da caatinga mostram uma grande variação estacional de respostas espectrais relacionadas à

interação entre disponibilidade de água e atividade fotossintética das plantas (BARBOSA et al., 2011; LIRA et al., 2011; BEZERRA et al., 2012).

Muitos trabalhos vêm procurando monitorar mudanças na cobertura e uso da terra na região semiárida. Contudo, erros provenientes da influência da umidade antecedente dentro da área de estudo, não têm sido considerados. À medida que aumenta a área de trabalho, aumenta a chance de ocorrer variações temporais e espaciais de umidade, importante fonte de erro nas leituras do IVDN das imagens de satélite (COSTA et al., 2002; MALDONADO, 2005; LOPES et al., 2010; MELO et al., 2011; CUNHA et al., 2012).

Este trabalho tem como objetivo ressaltar a influência da umidade antecedente sobre o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada, uma fonte de erro importante nos estudos de diagnóstico, classificação e mapeamento da vegetação da caatinga.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo compreende a bacia hidrográfica do rio Taperoá, com uma extensão territorial de 5.686,4 km². Abrange total ou parcialmente 22 municípios e localiza-se na região do Cariri, sobre o Planalto da Borborema, no estado da Paraíba (Figura 1). O rio Taperoá apresenta regime temporário e é um contribuinte do rio Paraíba. As altitudes variam, em grande parte, entre 300 e 600m (Figura 2), com relevo predominantemente suave ondulado.



Figura 1. Mapa de localização da área de estudo com representação territorial dos municípios que fazem parte da bacia hidrográfica. Fonte: Adaptado de IBGE (2009); AESA (2010).

A drenagem voltada para o sudeste facilita a penetração das massas atlânticas, propiciando temperaturas amenas (<26°C) e uma gradual distribuição da precipitação (400 a 800mm), que aumenta com a altitude no sentido dos divisores de água (SOUZA et al, 2004; AESA, 2010).

A vegetação em toda a área é do tipo caatinga hiperxerófila e os solos predominantes são o

Luvissole Crômico Vértico fase pedregosa relevo suave ondulado e o Vertissolo relevo suave ondulado e ondulado nas partes mais baixas; o Neossolo Regolítico e o Planossolo Nátrico relevo plano e suave ondulado, no centro-norte e nas áreas mais acidentadas o Neossolo Litólico Eutrófico fase pedregosa substrato gnaisse e granito (PARAÍBA, 1978).

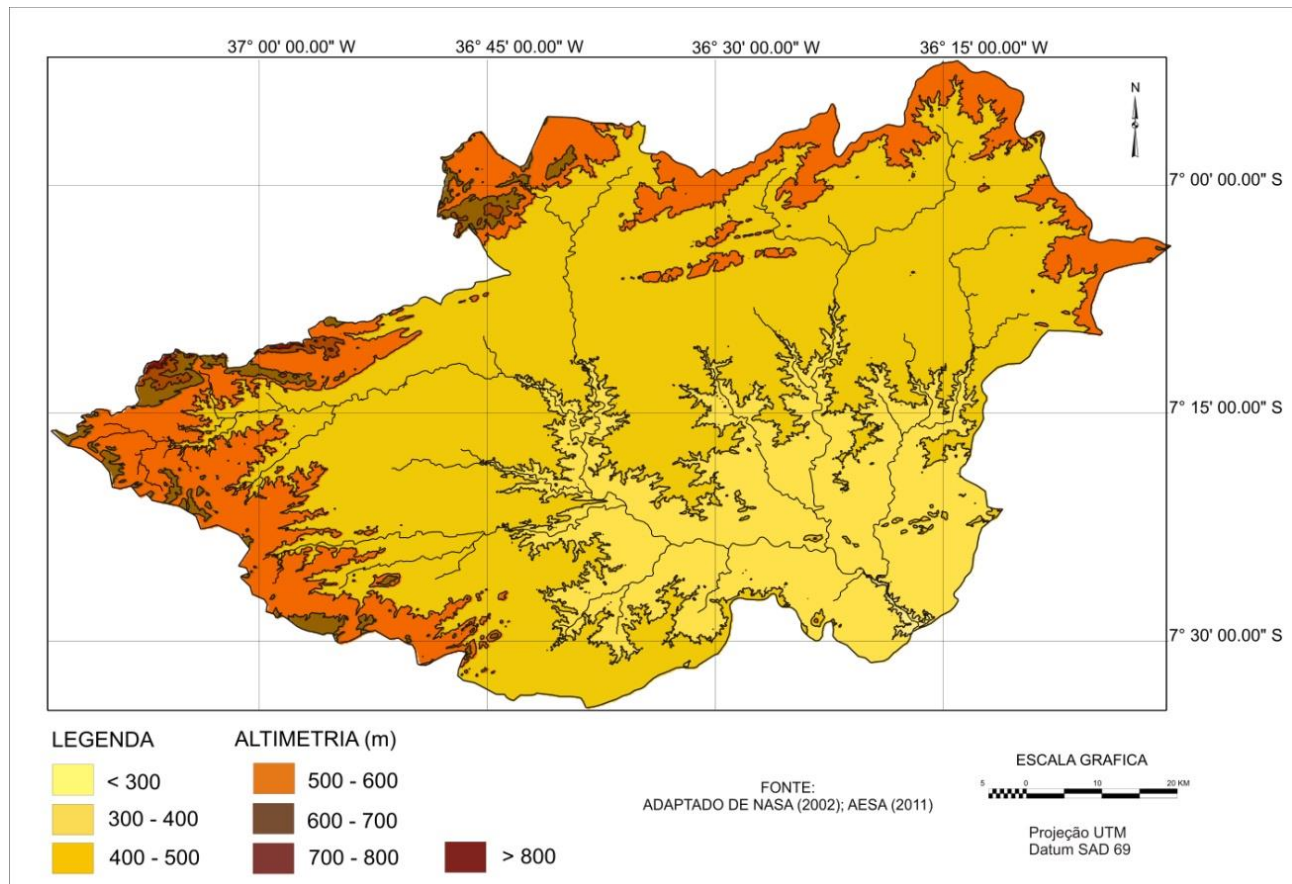


Figura 2. Mapa hipsométrico da área de estudo. Fonte: Adaptado de NASA (2002); AESA (2011).

Neste trabalho foram utilizadas imagens do sensor TM LANDSAT 5, órbita 215, ponto 65, de 25/11/1996 e 28/10/2009, para o período seco, e de 24/05/2010, para o período úmido. O Google Earth online foi utilizado para pré-selecionar os alvos terrestres representativos dos diferentes tipos de vegetação. No campo, os alvos foram identificados e descritos quanto ao porte e densidade de recobrimento, fatores determinantes do Índice de Biomassa da Vegetação Lenhosa (IBVL), além da ocorrência e predominância das espécies, segundo procedimento proposto por Chaves et al. (2008).

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). As etapas seguintes correspondentes ao cômputo do índice de vegetação estão descritas em Silva et al. (2005b). Para a obtenção do Índice de Vegetação da

Diferença Normalizada (IVDN) foi utilizada a equação 1:

$$IVDN = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)} \quad (\text{Equação 1})$$

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

Após a obtenção das imagens-índice de vegetação (IVDN), na imagem de 28/10/2009, correspondente ao período seco, foram realizadas leituras de seis pixels em torno de cada ponto representativo dos 50 alvos identificados e descritos no campo. Os valores médios das leituras de cada ponto da imagem foram correlacionados com os valores do IBVL, estimados das características da vegetação de caatinga descritas no campo.

Com o objetivo de mapear a vegetação de caatinga através do IVDN foi criada uma base de dados no SPRING 5.2, na projeção UTM/SAD69,

importando as imagens-índice de vegetação e classificando-as com a utilização do programa LEGAL. Os limites das classes foram estabelecidos escalonando-se os valores de IBVL para se determinar os valores limites de IVDN, utilizando-se a equação de regressão entre as duas variáveis, para o período seco do ano de 2009. Posteriormente, os valores limites das classes de IVDN foram ajustados, procurando-se representar agrupamentos de classes de vegetação, com ganhos crescentes de biomassa.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Correlação entre biomassa da caatinga e índice de vegetação

Os dados da Figura 3 representam os valores de 24 pontos de controle selecionados representando os mais amplos padrões de biomassa (IBVL) observados no campo, e suas respectivas leituras nas imagens-índice (IVDN), para os períodos seco (2009) e úmido (2010). A correlação para o período úmido foi muito baixa ($r^2 = 0,2656$), inviabilizando o uso destes dados para discriminar os diferentes padrões de vegetação. Os valores do IVDN para o

período úmido, para o ano 2010, foram, na média, o dobro em relação ao período seco. Este resultado pode ser explicado pela maior absorção da luz na faixa do vermelho pelas plantas fotossinteticamente ativas no período úmido, fazendo aumentar os valores do IVDN, em relação ao período seco.

No período úmido os valores mais dispersos de IVDN ocorreram para condição de vegetação com padrão intermediário de biomassa (IBVL de 0,3 a 0,6), tipos Arbustivo Subarbustivo aberto a Subarbóreo Arbustivo denso (Tabela 1). Para estes padrões de vegetação foi observado que os valores mais altos do IVDN (Figura 3B) estão relacionados a pontos de coleta com melhores condições edafológicas – solos mais profundos e relevo suave ondulado (Luvissole Crômico vértico) – propiciando melhores condições de crescimento e vigor às plantas. Embora não se tenha levantado dados que permitissem uma análise mais detalhada, é provável que a presença de um maior percentual de plantas jovens colonizadoras e trepadeiras, nestes ambientes, seja também um dos fatores para elevação dos valores de IVDN (ASNER et al., 2000).

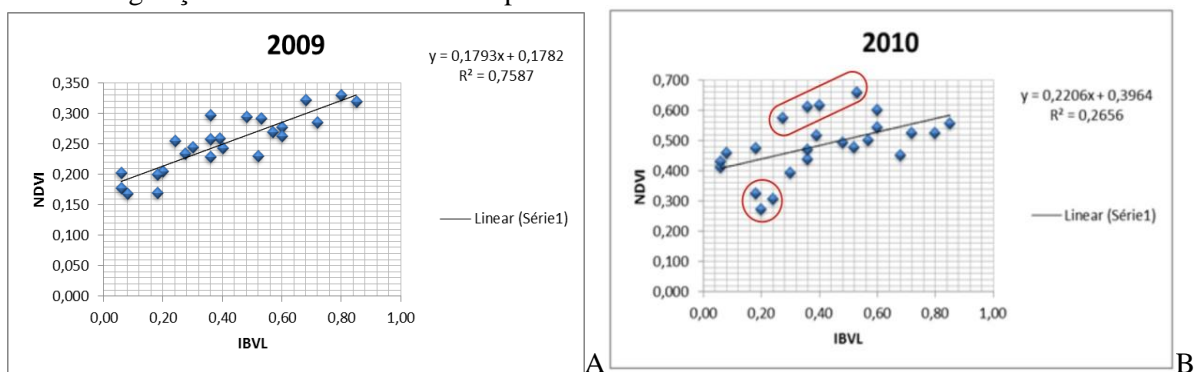


Figura 3. Correlações entre valores de IVDN e de IBVL para dados do período seco (28/10/2009) (A) e úmido (24/05/2010) (B).

Por outro lado, valores desproporcionalmente mais baixos de IVDN para o período úmido (Figura 3B) ocorreram para padrões de vegetação em torno de 0,20 de IBVL. Estas áreas correspondem a situações de maior grau de degradação, com piores condições edafológicas (Luvissole Crômico vértico e Neossole Litólico, ambos fase pedregosa e relevo ondulado, erosão laminar severa), onde são precárias a recomposição da vegetação, em quantidade e extensão, sobre a superfície do terreno. Esta situação também foi observada por Costa et al. (2002) e Costa et al. (2009) para áreas consideradas com alto grau desertificação, na região do Seridó, no Estado do Rio Grande do Norte.

Para o período seco do ano de 2009 (Figura 3A), a correlação entre valores de IVDN e biomassa da vegetação lenhosa, apresentou um alto coeficiente de correlação ($r^2 = 0,7587$), permitindo estabelecer, com boa margem de precisão, estimativas de

biomassa de plantas a partir das leituras de IVDN. Este resultado é corroborado por diversos trabalhos que tem utilizado o período seco para avaliar a biomassa da caatinga (MALDONADO, 2005; LOPES et al., 2010; CUNHA et al., 2012).

Mapeamento e estimativa de mudanças na vegetação de caatinga

Observa-se na Tabela 1 os valores limites das classes para o período seco, e nas Figuras 5 e 6 as imagens-índice (IVDN) para os anos de 2009 e 1996. Nestes são identificadas sete classes de vegetação de caatinga, além das classes relativas a solo exposto, corpos d'água e cobertura de nuvem.

Para o período seco, as áreas agrícolas e de pastagens, os campos com lavouras de agave e palma forrageira, bem como os plantios de algarobeira, comuns na região, se confundem com o amplo espectro de respostas de vegetação de

caatinga. Embora seja possível identificar plantio de palma e agave mais vigorosos, que apresentam valores de IVDN mais altos que a vegetação de caatinga, bem como bosques mais densos de algarobeira ao longo dos canais de drenagem,

conforme observou Guimarães (2008), optou-se em não se representar estes usos devido à pouca expressão na área de estudo para a escala utilizada.

Tabela 1. Classes de vegetação e valores de IBVL e IVDN para correlação com os dados de 2009

Classes	IBVL	IVDN
Arbórea Subarbórea densa	>0,60	> 0,300
Subarbórea arbustiva densa	0,50 - 0,60	0,285 - 0,300
Arbustiva subarbórea densa	0,40 - 0,50	0,265 - 0,285
Arbustiva subarbórea aberta	0,30 - 0,40	0,250 - 0,265
Arbustiva subarbustiva aberta	0,20 - 0,30	0,225 - 0,250
Subarbustiva arbustiva rala	0,10 - 0,20	0,180 - 0,225
Subarbustiva arbustiva muito rala	0,05 - 0,10	0,150 - 0,180
Solo exposto	< 0,05	0,0 - 0,150
Água	<0	< 0

Numa análise comparativa das Figuras 5 e 6, pode-se constatar uma expressiva recuperação da cobertura vegetal da caatinga na bacia no período 1996-2009. Pelos dados da Tabela 2, houve um ganho de biomassa lenhosa da caatinga de 53,8%,

em 2009, comparando-se com a realidade de 1996, com maior grau de recomposição de vegetação as áreas com classes Subarbustiva Arbustiva rala e muito rala, que tiveram uma redução de área de 26%.

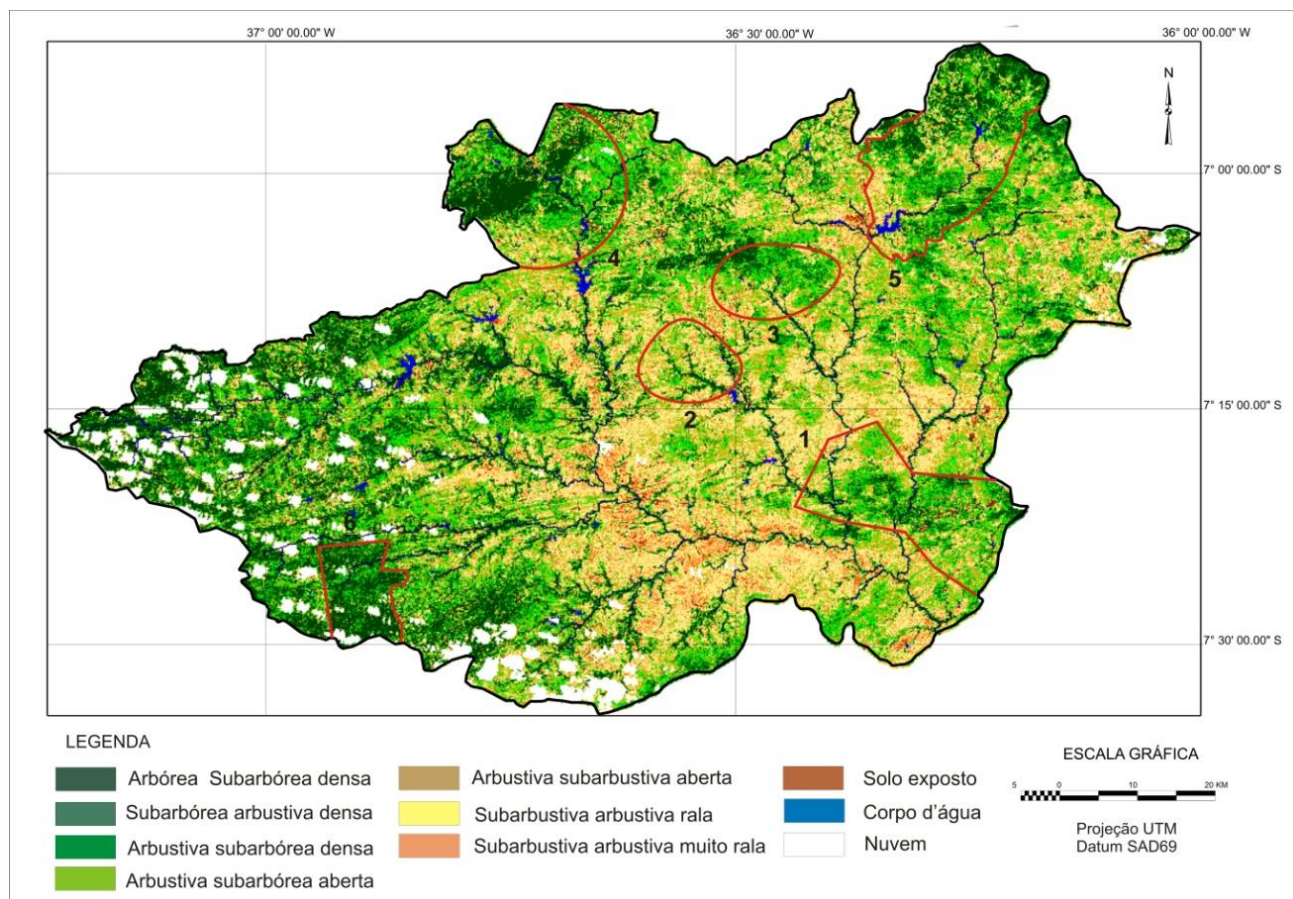


Figura 5. Mapa da cobertura vegetal da bacia hidrográfica do Rio Taperoá-PB, para o período seco do ano de 2009.

Em termos proporcionais, as áreas classificadas como solo exposto tiveram uma recomposição vegetal expressiva, para uma extensão de 167,5 km², que representa 75,16% da área existente em 1996.

É importante frisar que uma possível recomposição da vegetação, devido a menor pressão

da população, e devido ao êxodo rural, não explica sozinha, esta grande recuperação da caatinga, entre os anos de 1996 e 2009. Cunha et al. (2012), também não encontraram uma boa relação entre a recomposição da caatinga e o êxodo rural, na bacia do rio do Peixe, no Alto Sertão da Paraíba. Dados do

IBGE analisados pelo portal Vitrine do Cariri (<http://www.vitrinedocariri.com.br>) mostram que em menos de trinta anos (1980 a 2007), mais de meio milhão de pessoas deixaram o campo para morar nas

cidades do Estado. Contudo, deste total, nos últimos 10 anos, foram apenas 40 mil pessoas.

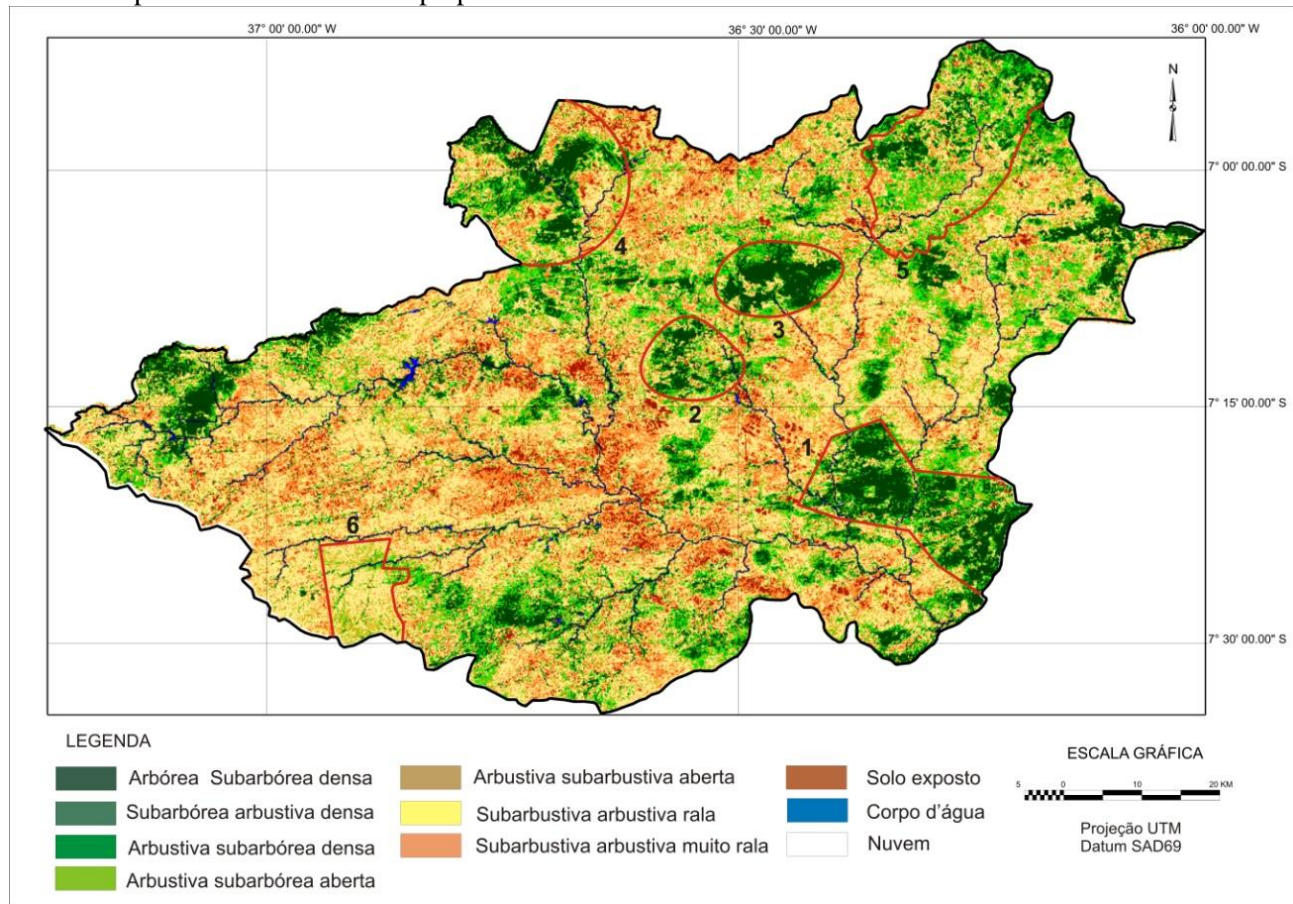


Figura 6. Mapa da cobertura vegetal da bacia hidrográfica do rio Taperoá, para o período seco do ano de 1996.

Tabela 2. Dados comparativos do diagnóstico da vegetação da bacia hidrográfica do rio Taperoá, entre os anos de 1996 e 2009

Classes	1996		2009		Diferença	
	(km ²)	%	(km ²)	%	(km ²)	%
Arbórea Subarbórea densa	696,8	12,3	1.042,5	18,3	345,7	6,1
Subarbórea Arbustiva densa	194,4	3,4	369,4	6,5	175,0	3,1
Arbustiva Subarbórea densa	352,5	6,2	582,1	10,2	229,6	4,0
Arbustiva Subarbórea aberta	337,2	5,9	666,5	11,7	329,3	5,8
Arbustiva Subarbustiva aberta	774,3	13,6	1.101,1	19,4	326,8	5,8
Subarbustiva Arbustiva rala	2112,5	37,2	1368,6	24,1	-743,9	-13,1
Subarbustiva Arbustiva muito rala	987,0	17,4	251,8	4,4	-735,2	-12,9
Solo exposto	222,9	3,9	55,4	1,0	-167,5	-2,9
Corpo d'água	8,9	0,2	32,1	0,6	23,2	0,4
Nuvem	0,0	0,0	216,9	3,8	216,9	3,8
Área Total	5686,4	100	5686,4	100	0	0

Comparando os dados populacionais dos Censos de 2000 e 2010, obtidos no portal IBGE (2011), para os 22 municípios que compõem a bacia do rio Taperoá (Figura 1), observou-se que a diminuição da população rural no período foi de apenas 5.744 pessoas. Este forte decréscimo migratório coincide, aproximadamente, com o intervalo da análise deste trabalho, o que corresponde a dizer que, já em 1996, a influência do abandono do campo sobre a

recomposição da cobertura vegetal, em grande parte, já havia acontecido.

Embora esta seja uma análise simplista, uma vez que diferentes atividades humanas podem exercer influências sobre a recomposição da cobertura vegetal, será dada ênfase neste trabalho, a possíveis erros de estimativas da vegetação da caatinga a partir do IVDN, influenciados pela ocorrência e

distribuição de precipitações antecedentes a data de obtenção de imagens.

Influência da umidade antecedente no mapeamento da vegetação

No ano de 1996 a precipitação anual foi bem menor que no ano de 2009, em quase todos os postos pluviométricos da bacia (Tabela 3). Em alguns postos a precipitação anual foi inferior a 400mm. Contudo, nos meses que antecederam a tomada da imagem (25/11/1996), em particular, no mês de novembro, ocorreram precipitações significativas nos postos de Cabaceiras (43,4mm) e Junco do Seridó (46,0mm), provocando alteração na condição de umidade do solo e na atividade das plantas, comprometendo a estimativa do padrão de biomassa da vegetação de caatinga por meio de índices de vegetação.

O ano de 2009, por outro lado, foi excepcionalmente chuvoso em localidades do terço oeste da bacia, como Teixeira, Taperoá e Desterro; no meio-norte Junco do Seridó, e em Soledade, a nordeste da bacia hidrográfica (Figura 1). As demais localidades tiveram precipitações acima da normal climatológica. Outra particularidade deste ano foi a ocorrência de precipitações abundantes no mês de agosto, o que não é comum na região. Contudo, os meses de setembro e outubro, que antecederam a tomada da imagem (28/10/2009), foram praticamente secos, o que veio a contribuir com a uniformização das condições de umidade do solo e estabilização das atividades das plantas, favorecendo a obtenção dos dados mais confiáveis de vegetação, a partir do índice de vegetação.

Confrontando-se os dados do mapeamento da vegetação nas Figuras 6 (1996) e 5 (2009), pode-se observar que houve um ganho significativo de biomassa lenhosa com o tempo, na bacia do Taperoá. Por outro lado, particularizando-se a ocorrência da vegetação nas áreas de 1 a 4, destacadas nestas figuras, pode-se observar para o ano de 1996, que houve uma predominância das classes de vegetação Arbórea e Subarbórea densas; enquanto que, para o ano mais chuvoso de 2009, ocorreu uma redução e deslocamentos das áreas de ocorrência dessas classes de vegetação.

Considerando que o efeito da umidade sobre as leituras do IVDN chega a dobrar os seus valores no período úmido (Figura 3), pode-se afirmar que, em grande parte, as áreas mapeadas como sendo de

vegetação Arbórea e Subarbórea densas, no ano de 1996, estão associadas à ocorrência de eventos isolados de precipitação, que ocorreram no mês de novembro sobre a bacia. Como exemplo, podem ser observadas as áreas de 1 a 4, que se distribuem no eixo de direção que corresponde ao deslocamento dos ventos alísios na área de estudo. A área 1, a sudeste, está associada às precipitações que ocorreram em Cabaceiras (43,4mm) e em Boa Vista, onde também foi registrada uma precipitação de 24mm (Tabela 4). A área 4, no meio-norte, está associada a precipitação de 46,0 mm registrada em Junco do Seridó.

As áreas 2 e 3, na porção central da bacia, localizadas nos municípios de Santo André, Juazeirinho e Soledade (Figura 1), embora sem registro oficial de chuva nos seus postos pluviométricos, devem estar associadas a chuvas convectivas localizadas, ou até mesmo, a precipitações influenciadas pela elevação do terreno, como pode-se observar pelo mapa de relevo (Figura 2). As áreas 2, 3 e 4 são cabeceiras de drenagem e estão em contraposição a linha de deslocamento das massas de ar, o que pode facilitar a formação de chuvas. O efeito do relevo sobre o índice de vegetação é mais evidente nas áreas de serra, normalmente com vegetação mais preservadas e com maior influência sobre a precipitação. É o que se pode observar no mapa de vegetação de 2009 (Figura 5), nas áreas 3 e 4, onde a ocorrência da vegetação Arbórea e Subarbórea densa está mais associada a distribuição do relevo local (Figura 2). Como observaram Bispo et al. (2010) e Peloso e Shimabukuro (2010), variáveis geomorfológicas estão muito relacionadas com tipos e características de solos e têm sido utilizadas como indicadores para auxiliar na discriminação de padrões de vegetação.

As áreas com vegetação mais densa, localizadas a nordeste da bacia para o ano de 1996 (Figura 5), estão na sub-bacia hidrográfica do Açude Soledade, município de Olivedos e Barra de Santa Rosa. Comparando com o mapeamento de 2009, apesar de ter havido um ganho de biomassa, o padrão de distribuição da vegetação é bem semelhante. Isto sugere também a ocorrência de precipitação no ano 1996 na sub-bacia. Precipitação esta, que pode ter sido influenciada pelas chuvas ocorridas nas localidades de Pocinhos (15mm) e Olivedos (17mm) no mês de novembro de 1996 (Tabela 3).

Tabela 3. Dados de precipitação, altura em milímetros, mensais, anuais e médios (1996 e 2009) para 14 postos pluviométricos da bacia hidrográfica do Taperoá-PB

Postos	1996				2009			
	Set	Out	Nov	Anual	Ago	Set	Out	Anual
Boa Vista	7,2	3,8	24,0	362,4	46,2	0	0	429,8
Cabaceiras	12,1	0	43,4	396,1	66,7	2,6	0	677,8
Desterro	5,5	0	12,3	523,0	53,7	0	0	1.224,4
Gurjão	0	0	0	307,0	49,6	0	0	626,8
Juazeirinho	36,4	3,0	0	358,3	51,7	0	0	626,8
Junco do Seridó	21,0	4,0	46,0	470,2	44,2	0	0	1.085,4
Olivedos	20,0	5,3	17,0	434,2	42,3	2,8	0	567,3
Pocinhos	10,2	0	15,0	363,3	38,1	2,7	0	462,5
Serra Branca	30,3	0	17,3	520,3	47,8	0	0	777,9
Soledade/Faz Pendência	15,5	8,1	0	409,7	61,3	0	0	1.246,7
São José dos Cordeiros	3,2	0	6,1	696,7	41,0	0,2	0	511,1
São João do Cariri	8,1	1,0	20,4	458,4	18,4	0	0	528,3
Taperoá	30,8	0	21,0	500,0	71,4	0	0	1.239,7
Teixeira	0	0	18,2	762,7	0	0	0	1.322,7
	14,3	1,8	17,2	468,7	45,2	0,6	0,0	809,1

Fonte: AESA (2011).

Mapeando a vegetação da sub-bacia do Açude Soledade, Guimarães (2008) encontrou como melhor nível de conservação da caatinga, vegetação do grupo Subarbóreo, abrangendo 14,6% da área total. Embora não especificado no trabalho pode-se deduzir que as subclasses densas, do grupo Subarbóreo, seriam uma fração bem menor deste percentual. Sendo assim, pode se inferir que o percentual de 24,8% para as classes Arbórea Subarbórea e Subarbórea Arbustiva densas (Tabela 2), encontrados neste trabalho para o ano de 2009, estaria superestimando o padrão de biomassa da vegetação da caatinga, pelo menos, para área correspondente a sub-bacia do Açude Soledade.

Por outro lado, ocorreu uma subestimação do padrão de vegetação, para uma condição drástica de falta de umidade, como a que se apresentava no ano de 1996, sobre a Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Fazenda Almas, área 6, localizada a sudoeste da bacia (Figura 6). Esta é uma área com vegetação arbórea e subarbórea densa, como pode se comprovar com os dados do ano chuvoso de 2009 (Figura 5). Pode-se constatar que a subestimação da vegetação ocorreu também para áreas circunvizinhas da RPPN. Este fato, que é mais uma fonte de erro neste tipo de trabalho, deve estar relacionado a equação de estimativa da vegetação que foi desenvolvida com dados da imagem do ano de 2009, mais recente e mais chuvoso. Neste caso, o dessecamento da vegetação arbórea e subarbórea densa da RPPN no ano de 1996 correspondeu a uma resposta espectral de um padrão de vegetação Arbustivo Subarbustivo ralo, do ano de 2009.

CONCLUSÕES

Correlação entre biomassa da caatinga e índice de vegetação

O período seco foi a melhor época para o mapeamento da vegetação da caatinga, onde a estimativa da vegetação pôde ser obtida pela equação $IBVL = IVDN / 0,1793 - 0,1782$, com um coeficiente de determinação (R^2) de 0,7587;

No período úmido a correlação de determinação entre IVDN e IBVL foi mais baixa ($R^2 = 0,2656$) demonstrando maior dispersão dos dados e na média, os valores de IVDN para os mesmos pontos de leitura foram o dobro dos apresentados no período seco;

Valores atípicos de IVDN, em torno de 0,600, no período úmido, ocorreram em áreas com grau de recobrimento da vegetação aberta ($IBVL = 0,3$ a $0,6$), em condições de solos mais conservados, planos e profundos; e valores atípicos, mais baixos de IVDN (0,285), ocorreram em áreas degradadas, com menor cobertura de vegetação ($IBVL = 0,20$) e piores condições edafológicas - solos rasos, em terrenos declivosos e erodidos.

Mapeamento e estimativa de mudanças na vegetação de caatinga

Na comparação dos dados dos mapeamentos da vegetação da bacia entre os anos de 1996 e 2009, ocorreu uma diminuição das classes de vegetação Subarbustiva rala, muito rala e Solo exposto, em 29% da área da bacia hidrográfica (5.686 km²), com transferência de ganhos proporcionalmente distribuídos em todas as demais classes, com maiores porte e densidade de recobrimento;

A recuperação da biomassa da caatinga não pode ser explicada pela influência do êxodo rural ocorrido na área de estudo, no intervalo de tempo considerado neste trabalho (1996 a 2009), sendo mais provável que erros de estimativas devido a influência da diversidade das condições edafológica e climática, venham explicar a magnitude das mudanças da vegetação.

Influência da umidade antecedente no mapeamento da vegetação

O mapeamento da vegetação da caatinga da bacia do Taperoá, no ano de 1996, foi seriamente prejudicado pela variabilidade das condições de umidade, com superestimativas da vegetação em áreas onde ocorreram chuvas localizadas, nem sempre registradas pela rede pluviométrica oficial; ou com subestimativas da vegetação em locais onde as condições de seca foram mais severas, levando em conta de que, a equação de estimativa da vegetação foi desenvolvida com dados do ano de 2009, excepcionalmente chuvoso;

Embora o IVDN seja um índice de vegetação amplamente utilizado e aceito para estimar a biomassa da vegetação, deve ser utilizado com reservas para ambientes semiáridos onde a variabilidade espacial e temporal da precipitação é alta e influencia mudanças drásticas na cobertura da vegetação.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq/Fapesq pela concessão de bolsa DCR ao primeiro autor e ao CNPq pelo auxílio financeiro, através do Projeto INSA/CT-HIDRO N.º 35/20109 de 2010.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACCIOLY, L. J. O.; COSTA, T. C. C.; LOPES, O. F.; OLIVEIRA, M. A. J. Relações empíricas entre a estrutura da vegetação e dados do sensor TM/LANDSAT. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.3, p.492-498, 2002.

AESA. Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. 2010. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br>. Acesso em: 25 de março de 2011.

ASNER, G. P.; WESSMAN, C. A.; BATESON, C. A.; PRIVETTE, J. L. Impact of tissue, canopy and landscape factors on reflectance variability of arid ecosystems. **Remote Sensing of Environment**, v.74, p.69-84, 2000.

BARBOSA, H. A.; KUMAR, T. V. L.; SILVA JUNIOR, I. W. Analysis of the NDVI temporal dynamics in semi-arid ecosystems: Brazilian caatinga and African western Sahel. **Revista**

Brasileira de Geografia Física, n.2, p.300-306, 2011.

BEZERRA, J. M.; VASCONCELOS, R. S.; MOURA, G. B. A.; SOBRINHO, J. E. Spectral indices of vegetative to caatinga of the area of semi-arid of Rio Grande do Norte, Brazil. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, v.2, n.2, p.10-24, 2012.

BISPO, P. C.; VALERIANO, M. M.; KUPLICH, T. M. Relação da vegetação de caatinga com a condição geomorfométrica local. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.5, p.523-530, 2010.

CHAVES, I. DE B.; LOPES, V. L.; FFOLLIOTT, P. F.; PAES-SILVA, A. P. Uma classificação morfo-estrutural para descrição e avaliação da biomassa da vegetação da caatinga. **Revista Caatinga**, v.21, n.2, p.204-213, 2008.

COSTA, T. C. C.; ACCIOLY, L. J. O.; OLIVEIRA, M. A. J.; BURGOS, N.; SILVA, F. H. B. B. Phytomass mapping of the "Seridó Caatinga" vegetation by the plant area and normalized difference vegetation indexes. **Scientia Agrícola**, v.59, n.4, p.707-715, 2002.

COSTA, T. C. C.; OLIVEIRA, M. A. J.; ACCIOLY, L. J. O.; SILVA, F. H. B. B. Análise da degradação da caatinga no núcleo de desertificação do Seridó (RN/PB) **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13 (suplemento), 2009.

CUNHA, J. E. B. L.; RUFINO, I. A. A.; SILVA, B. B.; CHAVES, I. B. Dinâmica da cobertura vegetal para a Bacia de São João do Rio do Peixe, PB, utilizando-se sensoriamento remoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.16, n.5, p.539-548, 2012.

FERREIRA, J. H. D.; OLIVEIRA, M. A.; VIERO, G. P.; FERREIRA, R. J. D.; PEREIRA, P. S.; SOUZA FILHO, E. E. Diferenciação da silvicultura de eucalipto e pinus, na região da bacia hidrográfica do Tibagi. **Revista Brasileira de Cartografia**, v.63, n.2, 2011.

GUIMARÃES, A. P. **Análise da distribuição espectral da vegetação da bacia hidrográfica do açude Soledade, por técnicas de sensoriamento remoto**. 2008. 49p. Dissertação (Mestrado em Manejo de Solo e Água). Universidade Federal da Paraíba. Areia, 2008.

- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2009. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 12 de março, 2011.
- 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.
- 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.
- MALDONADO, F. D. **Desenvolvimento e avaliação de uma metodologia de detecção de mudanças na cobertura vegetal do semiárido**. 2005. 311p. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto). São José dos Campos: INPE, 2005.
- MELO, E. T.; SALES, M. C. L.; OLIVEIRA, J. G. B. Aplicação do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) para análise da degradação ambiental da microbacia hidrográfica do riacho dos cavalos Crateús-CE. **RAEGA**, v.23, n.1, p.520-533, 2011.
- MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. 3. ed. Viçosa: Ed. UFV, 2005. 320p.
- PARAÍBA. Governo do Estado - Secretaria de Agricultura e Abastecimento – CEPA – PB. **Zoneamento Agropecuário do Estado da Paraíba**. Relatório ZAP-B-D-2146/1. UFPB-EletoConsult Ltda. Dez, 1978. 448p.
- PELOSO, B. D. A.; SHIMABUKURO, Y. E. Caracterização de unidades geobotânicas do Parque Nacional da Serra do Cipó (MG) através da integração de imagens ópticas e modelo digital de elevação. **Revista Brasileira de Cartografia**, v.62, n.1, 2010.
- PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto aplicado ao estudo da vegetação**. 1.ed. S. J. dos Campos: Parêntese, v.1, 2007. 135p.
- SAMPAIO, E.; RODAL, M. J. **Fitofisionomias da caatinga**. GT Estratégias para o uso sustentável da biodiversidade da caatinga. Seminário sobre Avaliação e Identificação de Ações Prioritárias para a Conservação, Utilização Sustentável e Repartição de Benefícios da Biodiversidade do Bioma Caatinga. 2000. Petrolina: CPATSA/ EMBRAPA, 14p.
- SILVA, F. B. R.; SANTOS, J. C. P.; SOUZA NETO, N. C.; SILVA, A. B.; RICHE, G. R.; TONNEAU, J. P.; CORREIA, R. C.; BRITO, L. T. L.; SILVA, F. H. B. B.; SOUZA, L. G. M. C.; SILVA, C. P.; LEITE, A. P.; OLIVEIRA NETO, M. B. **Zoneamento agroecológico do Nordeste do Brasil: diagnóstico e prognóstico**. Recife: Embrapa Solos, Petrolina: Embrapa Semiárido, 2000.
- 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.
- SOUZA, B. I.; SILANS, A. M. B. P.; SANTOS, J. B. Contribuição ao estudo da desertificação na bacia do Taperoá. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.8, n.2/3, p.292-298, 2004.
- VALERIANO, M. M. Reflectância espectral de culturas agrícolas anuais (I): espectroradiometria. **Revista Espaço & Geografia**, v.6, n.1, p.1-22. 2003.
- VAREJÃO-SILVA M. A.; BRAGA, C. C.; AGUIAR M. J. N.; NIETZCHE M. H.; SILVA, B. B. **Atlas Climatológico do Estado da Paraíba**. UFPB, Campina Grande, 1984.