



ISSN: 2525-815X

Journal of Environmental Analysis and Progress

Journal homepage: www.jeap.ufrpe.br/

10.24221/jeap.2.4.2017.1481.493-498



Análise comparativa da umidade da vegetação de áreas de caatinga preservada, agricultura irrigada e sequeiro

Comparative analysis of moisture of vegetation of preserved caatinga areas, irrigated agriculture, and drought

Pedro Vinícius da Silva Brito^a, Ygor Cristiano Brito Morais^b, Henrique dos Santos Ferreira^c, Jadson Freire da Silva^b, Josicléda Domiciano Galvínco^a

^a Universidade Federal Rural de Pernambuco-UFRPE, Rua Manoel de Medeiros, s/n, Dois Irmãos, Recife, Pernambuco, Brasil. CEP: 52171-900. E-mail: pedro_bitro1997@hotmail.com; josicleda@gmail.com.

^b Universidade Federal de Pernambuco-UFPE, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente-PRODEMA, Av. Prof. Moraes Rego, n. 1235, Cidade Universitária, Recife-PE, Brasil. CEP: 50670-901. E-mail: ygor_cristiano@hotmail.com; jadsonfreireufpe@hotmail.com.

^c UFPE, Programa de Pós-Graduação em Geografia-PPGEO, Av. Prof. Moraes Rego, n. 1235, Cidade Universitária, Recife-PE, Brasil. CEP: 50670-901. E-mail: henriquehsf86@hotmail.com.

ARTICLE INFO

Recebido 05 Jul 2017
Aceito 04 Ago 2017
Publicado 22 Set 2017

ABSTRACT

The unplanned use of the resources of the caatinga biome has been provoking several environmental degradation processes, which interferes negatively in the physical and biological systems of the semi-arid region. Thus, the present study aimed to analyze the biophysical differences in areas of preserved and degraded caatinga, as well as irrigated and dry farming areas. Two images of the satellite Landsat 8 - Sensor OLI, corresponding to 05/22/2016 and 17/01/2017 were made. In which the reflectance, NDVI and NDWI calculations were applied. The results showed a difference in the values of NDVI and NDWI between the images of 2016 and 2017 according to the different types of vegetation. The areas of caatinga presented predominance of NDVI values from 0.4 to 0.6. Higher NDVI and NDWI characterized irrigated perimeters than in caatinga and dryland areas. Such differences between the analyzed days were the result of the absence and/or low amount of precipitation in the months before the imaging days. As for irrigated agriculture, which has a greater availability of water, than the influence on the nature of plants and in the moisture content present in the soil.

Keywords: Semi-arid, biophysical parameters, vegetation.

RESUMO

O uso não planejado dos recursos do bioma caatinga vem provocando diversos processos de degradação ambiental, os quais interferem negativamente sobre sistemas físico-naturais e biológicos da região semiárida. Sendo assim, o presente estudo teve como objetivo analisar as diferenças de parâmetros biofísicos em áreas de caatinga preservada e degradada, bem como das áreas de agricultura irrigada e sequeiro. Foram utilizadas duas imagens do satélite Landsat 8 - Sensor OLI, correspondentes aos dias 22/05/2016 e 17/01/2017. Nas quais foram aplicados os cálculos de reflectância, NDVI e NDWI. Os resultados mostraram uma diferença nos valores de NDVI e NDWI entre as imagens de 2016 e 2017 de acordo com os diferentes tipos de vegetação. As áreas de caatinga apresentaram predominância de valores de NDVI de 0,4 a 0,6. Os perímetros irrigados destacaram-se por apresentar NDVI e NDWI maiores do que nas áreas de caatinga e de sequeiro. Tais diferenças entre os dias analisados resultaram da ausência e/ou baixa quantidade de precipitação

nos meses que antecederam os dias de imageamento. Quanto à agricultura irrigada, esta apresentou a maior disponibilidade de água, o que influencia diretamente na atividade fotossintética das plantas e no conteúdo de água presente na no solo.

Palavras-Chave: Semiárido, parâmetros biofísicos, vegetação.

Introdução

O bioma Caatinga ocupa uma área de 844.453 km², representando cerca de 70% da região nordeste e 11% do todo território nacional. Segundo Ministério do Meio Ambiente-MMA (2012), neste bioma vivem cerca de 27 milhões de habitantes, sendo a maior parte da população dependente dos recursos naturais ofertados pelo mesmo.

As espécies da caatinga estão condicionadas ao estresse hídrico durante boa parte do ano e, por isso, apresentam adaptações fisiológicas ao clima semiárido (Trovão et al., 2007). Dentre elas, o processo de liberação das folhas durante o período seco é a mais evidente. Este processo auxilia as espécies a diminuir a perda de água para o ambiente através da evapotranspiração, aumentando sua capacidade para resistir à estação seca.

A determinação da capacidade de retenção de água pelas espécies do bioma Caatinga é relevante, por exemplo, para acompanhar os processos biológicos, ecológicos e hidrológicos nos sistemas ambientais, por fornecer informações relevantes para o desenvolvimento de práticas de manejo agrícola adequadas às áreas de domínio da Caatinga de acordo com a sazonalidade climática (Ávila, Mello & Silva, 2010; Bernardo, Soares & Mantovani, 2006; Zhan et al., 2004).

Dados espectrais são utilizados por pesquisadores para a determinação espacial da umidade do solo e da vegetação (Hassan et al., 2007; Kurc & Benton, 2010; Sanchez et al., 2010; Yichang et al., 2010). A partir da aplicação de índices de vegetação, Oliveira et al. (2010) avaliaram mudanças ocorridas na bacia hidrográfica do rio Moxotó-PE. Através do índice de umidade e albedo da superfície, os autores destacaram as áreas com vegetação Arbóreo fechada, corpos hídricos e agricultura irrigada.

Na agricultura de sequeiro, a conservação de água no solo depende da distribuição do tamanho das partículas, estrutura do solo e profundidade do solo na área ocupada por raízes ativas (Quaranta, 1999). Entretanto, na agricultura irrigada, a água é aplicada ao solo artificialmente, em quantidades adequadas, no intuito de proporcionar uma umidade equilibrada ao desenvolvimento das plantas cultivadas, com o objetivo de suprir a má distribuição de água ou falta de chuvas (Paz, Teodoro & Mendonça, 2000; Embrapa, 2017).

Diante destes fatos, este estudo objetivou analisar as diferenças de parâmetros biofísicos em áreas de caatinga preservada e degradada, bem como de áreas com agricultura irrigada e sequeiro.

Material e Métodos

Área de estudo

A área de estudo está localizada na região semiárida pernambucana do nordeste brasileiro, à margem do rio São Francisco, distante 734 km da capital, Recife (Figura 1). Esta área ocupa, aproximadamente, 4.562,872 km², nas coordenadas geográficas 09°23'35" Sul e 40°30'27" Oeste (Embrapa Semi-Árido, 2001; IBGE, 2012).

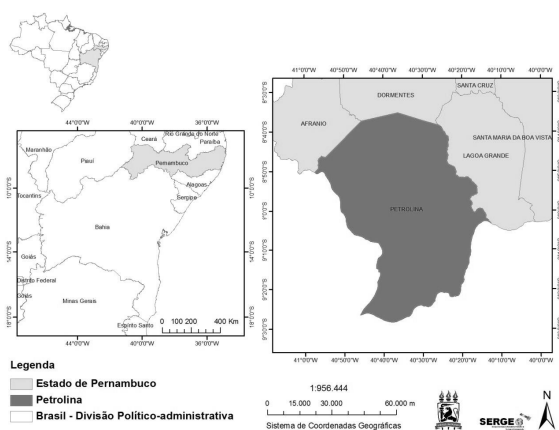


Figura 1. Localização geográfica do município de Petrolina, em Pernambuco.

O clima é semiárido, com estação chuvosa entre os meses de dezembro a abril, período de forte evapotranspiração por decorrência das temperaturas elevadas, e seco de maio a novembro. A temperatura é alta e constante no decorrer do ano, apresentando temperaturas superiores a 15°C no mês mais frio, com precipitação média anual de 400 e 600 mm, concentrada entre dezembro a abril e a evaporação anual de 2600 mm (Embrapa, 2005).

A vegetação é do tipo savana estépica arborizada com partes de floresta caducifólia, é a vegetação predominante da região, que por motivo das características do clima regional, é formada por plantas xerófilas (Embrapa, 2000; Ferreira et al., 2012). A Savana estépica arborizada está estruturada em um estrato arbustivo-arbóreo-superior, sendo esparsa e geralmente de características idênticas ao da Savana Estépica Florestada, e outro inferior, gramíneo-lenhoso

(IBGE, 2012). Essa classe corresponde à caatinga arborizada que se encontra mais preservada, com pouca influência das atividades antrópicas.

A agricultura irrigada está representada pelos perímetros irrigados Nilo Coelho e de Bebedouro. Este de tipo de agricultura foi impulsionada a partir da construção de diversas barragens ao longo do curso do rio São Francisco, em especial a barragem de Sobradinho no final da década de 1970 (Andrade, 2005). O perímetro irrigado Senador Nilo Coelho possui 80% de duas terras inseridas no município de Petrolina, possuindo uma área irrigável total de, aproximadamente, 22.949 hectares. Além disso, possui 2.082 pequenos produtores com lotes familiares (até 7 há), 227 pequenas, médias e grandes empresas (acima de 50 ha), tendo com principais culturas a manga (38,42% da área total), uva (22,6%) e goiaba (9,8%) (DNIC, 2014).

Processamento das imagens

As imagens foram adquiridas do sensor Landsat-8, de ponto 217 e órbita 66, com datas de 22/05/2016 e 17/01/2017, de maneira gratuita na página do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS). Elas são compostas por 11 bandas, com resolução espacial de 30 metros nas bandas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7 e 100 metros nas bandas 10 e 11.

Todas as bandas foram empilhadas e reprojatadas para o sistema de projeção UTM, Zona 24 Sul. Foram criados modelos usando a ferramenta *ModelMaker* do software ERDAS Imagine 9.1, e a montagem final dos mapas foi realizada através do software ArcGIS 9.3. Ambos possuem licença do Departamento de Ciências Geográficas da Universidade Federal de Pernambuco. Os procedimentos, assim como as fórmulas utilizados para gerar os índices de vegetação estão descritos a seguir.

Reflectância

A reflectância para cada banda (i) das imagens Landsat 8 é definida como a razão entre o fluxo de radiação solar refletido pela superfície e o fluxo de radiação solar global incidente, obtida através da Equação 1 (Allen et al., 2002; Allen, Tasumi & Trezza, 2007).

$$\rho_{\lambda i} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda i}}{K_{\lambda i} \cdot \cos(Z) \cdot dr} \quad \text{Eq.(1)}$$

onde, $L_{\lambda i}$ é a radiância espectral de cada banda, $K_{\lambda i}$ é a irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera, Z é o ângulo zenital solar e dr é o quadrado da razão entre a distância média Terra-Sol e a distância Terra-Sol em dado dia do ano (Silva et al., 2016).

Para o empilhamento do satélite Landsat 8 utilizamos as bandas 2,3,4,5,6,7 e 10 e a seguinte fórmula promovida por Chander, Markham & Helder (2003) para a reflectância:

$$rb = \frac{(Add_{refb} + Mult_{refb} \cdot ND_b)}{\cos(Z) \cdot D_R} \quad \text{Eq.(2)}$$

onde, segundo Silva et al. (2016), o Add_{refb} corresponde ao fator aditivo de reescalonamento para cada banda, disponível no arquivo metadados da imagem, assim como o $Mult_{refb}$ que corresponde ao fator multiplicativo de reescalonamento para cada banda. ND representa os valores de número digital da imagem, Z é o ângulo zenital solar e também pode ser encontrado no arquivo metadados da imagem. O dr corresponde ao quadrado da razão entre a distância média Terra-Sol e a distância Terra-Sol em dado dia do ano, e pode ser calculado através da equação abaixo (Equação 3):

$$D_R = \left(\frac{1}{D_{TR}}\right)^2 \quad \text{Eq.(3)}$$

Normalized Difference Vegetation Index (NDVI)

O NDVI, proposto, inicialmente, por Rouse et al. (1973), indica sensivelmente a quantidade e condição da vegetação nas áreas em estudo. Mesmo sendo um índice desenvolvido na década de 70, ainda é bastante utilizado nos dias atuais e explorado em análises agrícolas, florestais e climáticas (Ponzoni & Shimabukuro, 2009). Sendo calculado a partir da Equação (4):

$$NDVI = \frac{\rho_4 - \rho_3}{\rho_4 + \rho_3} \quad \text{Eq.(4)}$$

onde ρ_4 e ρ_3 são os valores da reflectância das bandas 3 e 4 do Landsat 8 OLI.

Normalized Difference Water Index (NDWI)

Este índice é importante nos estudos referentes ao vigor da vegetação, mudanças na biomassa e estresse hídrico das plantas. O NDWI é obtido pela relação entre duas bandas no espectro infravermelho, correspondentes às bandas do infravermelho próximo com comprimentos de onda entre 0,76 – 0,79 μm , e infravermelho médio com medida entre 1,55 – 1,75 μm . Para o cálculo do NDWI utilizou-se o método proposto por Gao (1996), através da Equação 5.

$$NDWI = \frac{\rho_{iv} - \rho_{mir}}{\rho_{iv} + \rho_{mir}} \quad \text{Eq.(5)}$$

onde ρ_{mir} e ρ_{iv} são os valores da reflectância das bandas 4 e 5 do Landsat 8 OLI.

Resultados

O NDVI realça a presença de vegetação verde, que reflete maior quantidade de vegetação na faixa do infravermelho próximo do que no vermelho. O índice varia de -1 a +1, onde normalmente os valores negativos estão relacionados a presença de corpos hídricos e os valores positivos indicam presença de vegetação verde.

A precipitação é uma variável chave no entendimento das variações do NDVI, sobretudo em áreas de clima semiárido. Sendo assim, a Figura 2 mostra a precipitação pluviométrica mensal dos anos de 2015, 2016 e 2017 (até o mês de abril), para o município de Petrolina. Esse período abrange os meses que antecederam as imagens que são analisadas no presente estudo. Com isso, nota-se que o ano de 2016 foi o mais chuvoso, principalmente no mês de janeiro, com precipitação de 345 mm. Em todos os outros meses do período analisado, a precipitação não ultrapassou 100 mm.

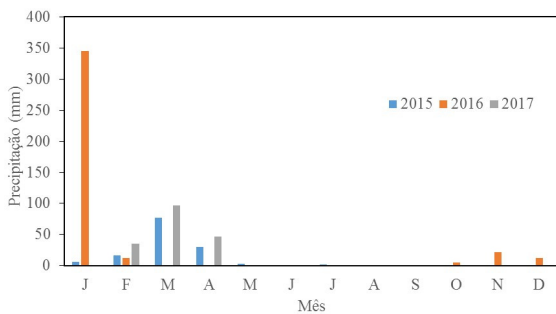


Figura 2. Precipitação mensal dos anos de 2015, 2016 e 2017 para o posto pluviométrico localizado no município de Petrolina-PE.

A Figura 3 traz a variação do NDVI para município de Petrolina, nos dias 22/05/2016 e 17/01/2017. A Figura 3A corresponde ao início do período seco na região, enquanto a Figura 3B ao período chuvoso. Sendo assim, nota-se que os valores de NDVI foram mais elevados em 22/05/2016, com predominância de valores entre 0,4 e 0,6 nas áreas de caatinga. No perímetro irrigado, o NDVI atingiu valores superiores a 0,6 nas duas imagens analisadas. Em contrapartida, no dia 17/01/2017 a maior parte da vegetação de caatinga apresentou NDVI entre 0,2 e 0,4.

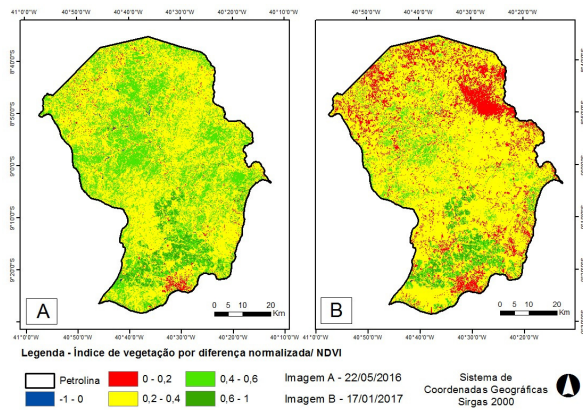


Figura 3. Distribuição espacial do *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) para o município de Petrolina nos dias 22/05/2016 e 17/01/2017.

As áreas ao norte do município de Petrolina apresentam comportamento diferente nos dois períodos analisados. Em 22/05/2016, o NDVI variou de 0,2 a 0,6, e em 17/01/2017 há uma predominância de valores entre 0 e 0,2, que geralmente estão associados ao solo exposto. A porção norte do município tem como principal uso da terra a agropecuária, com destaque para a agricultura de sequeiro.

A umidade da vegetação avaliada por meio do NDVI se comportou de forma semelhante ao NDVI quando comparadas as duas imagens analisadas (Figura 4). Em ambos os anos se constatou o predomínio de valores de NDVI negativos, sendo que em 22/05/2016 (Figura 4A) e 17/01/2017 (Figura 4B), aproximadamente 86,3% e 91,2% da área apresenta valores inferiores a zero. Em 2016, algumas partes da caatinga, na porção nordeste e noroeste do município, apresentam valores entre 0 e 0,2. No ano de 2017, os valores foram negativos na caatinga e na área de agricultura de sequeiro ao norte do município, com exceção de alguns pontos onde o NDVI foi positivo e que estão relacionados a cursos de água.

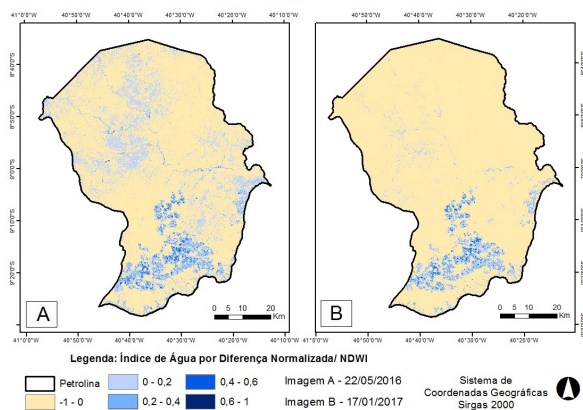


Figura 4. Distribuição espacial do *Normalized Difference Water Index* (NDWI) para o município de Petrolina nos dias 22/05/2016 e 17/01/2017.

Discussão

As diferenças apresentadas entre as duas imagens podem ser explicadas pelo comportamento da precipitação no período chuvoso dos anos de 2016 e 2017. Nos três meses anteriores à imagem de 22/05/2016 foram registrados 357 mm de chuva, de acordo com dados da APAC (Estação Petrolina-PCD). Por outro lado, no mesmo período que antecedeu a imagem obtida em 17/01/2017 foi verificada uma precipitação acumulada de apenas 38 mm (Figura 2).

Nesse sentido, a variação do NDVI nos dois anos analisados se comportou de acordo com a quantidade de chuvas registradas no período que antecedeu as imagens. Como em 2017 a precipitação ficou abaixo da média para o período chuvoso, tal fato acelerou a perda das folhas por parte das espécies de caatinga, como forma de reduzir a perda de água por meio da evapotranspiração. Amorim et al. (2005) estudaram a fenologia de 13 espécies de caatinga da região do Seridó-RN e verificaram que a formação de folhas delas foi fortemente influenciada pela pluviosidade. Todas as espécies tiveram folhagem completa de fevereiro a abril e a maioria delas estava sem folhas de agosto a novembro. De acordo com Amorim et al. (2005), as espécies *Caesalpinia pyramidalis* e *Mimosa acutistipula* pode não perder suas folhas em um ano e perder por um a dois meses em outro ano, geralmente a partir de setembro ou outubro. Além disso, a *M. acutistipula* apresentou rápido fluxo de formação e queda de folhas após chuvas esporádicas.

Outro ponto a se destacar corresponde ao potencial do NDVI em distinguir as áreas de agricultura irrigada em períodos de estiagem, como pode ser observado na Figuras 3AB. Por outro lado, em momentos com maior quantidade de precipitação, a vegetação de caatinga atinge valores de NDVI próximos àqueles registrados na agricultura irrigada, dificultando a distinção entre esses dois tipos de cobertura.

Os resultados obtidos no presente estudo corroboram com outros estudos realizados na região semiárida. Andrade et al. (2014) analisaram o comportamento do NDVI e NDWI em períodos com diferentes intensidades pluviométricas, no município de Souza-PB. No período de baixa precipitação o NDVI apresentou média de 0.23, em virtude da perda de cobertura vegetal e no período chuvoso a média foi de 0.34. Enquanto isso, o NDWI apresentou valores muitos baixos para

ambos os períodos analisados, com exceção das áreas irrigadas.

Oliveira et al. (2010) avaliaram o índice de umidade e o albedo da superfície na bacia hidrográfica do rio Moxotó-PE em seis datas diferentes, encontrando valores negativos de NDWI para as áreas com vegetação seca ou com influência de atividades antrópicas. Os autores constataram que as áreas de caatinga arbórea registraram valores superiores a 0,3 no período chuvoso e 0,15 na estiagem. As terras destinadas à agricultura irrigada apresentaram NDWI superior a 0,3, em todos os anos analisados.

Conclusão

Os valores obtidos através do NDWI e NDVI no município de Petrolina foram mais elevados no dia 22/05/2016 devido a influência da precipitação, que foi maior nos três meses antecedentes a imagem do referido dia, quando comparada ao do dia 17/01/2017. Sendo assim, a precipitação mais levada no período chuvoso resultou em uma maior disponibilidade de água no solo, fazendo com a vegetação permanesse com a folhagem por um período de tempo maior.

Foi possível constatar que o NDWI evidenciou mais as áreas de agricultura irrigada, em relação ao NDVI. Isso porque o NDVI está relacionado com o vigor da vegetação e a atividade fotossintética, enquanto o NDWI é sensível ao conteúdo de água presente nas folhas. As áreas de agricultura irrigada não sofrem com estresse hídrico, pois são irrigadas continuamente, fazendo com que os índices de vegetação sejam maiores nessas áreas.

Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) pelas bolsas concedidas aos autores e ao Laboratório de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento (SERGEO).

Referências

- ALLEN, R.; TASUMI, M.; TREZZA, R. 2007. Satellite-Based Energy Balance for Mapping Evapotranspiration with Internalized Calibration METRI - Model. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, v. 133, p. 380-394.
- ALLEN, R. ALLEN, R.; TASUMI, M.; TREZZA, R. 2002. SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land). *Advanced Training and Users Manual-Idaho Implementation, version 1.0.*
- AMORIM, I. L. B.; SAMPAIO, E. V. S.; ARAÚJO, E. L. 2005. Flora e estrutura da

vegetação arbustivo-arbórea de uma área de caatinga do Seridó, RN, Brasil. *Acta Botanica Brasilica*, v. 19, n. 3, p. 615-623.

ANDRADE, M. C. DE. 2005. A terra e o homem no Nordeste: contribuição ao estudo da questão agrária no Nordeste. 7. ed. São Paulo, BRA: Editora Cortes. 334p.

ÁVILA, L. F.; MELLO, C. R. DE; SILVA, A. M. DA. 2010. Continuidade e distribuição espacial da umidade do solo em Bacia Hidrográfica da Serra da Mantiqueira. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, n. 12, p. 1257-1266.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. 2006. Manual de Irrigação. 8. ed. Viçosa: UFV. 625p.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. L.; HELDER, D. L. 2009. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+ and EO-1 ALI sensors. *Remote Sensing of Environment*, v. 113, p. 893-903.

DNIC. Distrito de Irrigação Nilo Coelho. Disponível em: <http://dinc.org.br/>. Acesso em: 26 jan. 2014.

EMBRAPA. Irrigação. Disponível em: http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_56_711200516718. Acesso em: 02 de junho de 2017.

HASSAN, Q. K. BOURQUE, C. P. A.; MENG, F. R.; COX, R. M. 2007. A wetness index using terrain-corrected surface temperature and normalized difference vegetation index derived from standard MODIS products: an evaluation of its use in a humid forest-dominated region of eastern Canada. *Sensors*, Basel, v. 7, n. 10, p. 2028-2048.

IBGE. 2012. Manual Técnico da Vegetação Brasileira. 2. ed. Rio de Janeiro, BRA. 275p.

KURC, S. A.; BENTON, L. M. 2010. Digital image-derived greenness links deep soil moisture to carbon uptake in a creosotebush-dominated shrubland. *Journal of Arid Environments*, v. 74, n. 5, p. 585-594.

MMA-Ministério do Meio Ambiente. 2010. Monitoramento dos biomas brasileiros: bioma Caatinga. Brasília: MMA.

OLIVEIRA, T. H.; MACHADO, C. C. C. M.; SILVA, J. S.; GALVÍNIO, J. D.; PIMENTEL, R. M. M.; SILVA, B. B. 2010. Índice de umidade (NDWI) e análise espaço-temporal do albedo da superfície da bacia hidrográfica do rio Moxotó-PE. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 3, n. 2, p. 55-69.

PAZ, V. P. D. S., TEODORO, R. E. F., & MENDONÇA, F. C. 2000. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente, v. 4, n. 3, p.465-473.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. 2009. Sensoriamento remoto no estudo da vegetação. São José dos Campos: Parêntese. 136 p.

QUARANTA, G. 1999. Agricultura de sequeiro. Lucinda: Land Care in Desertification Affected Areas (Série C, 4).

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. 1973. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: *Earth Resources Technology Satellite-1. In: Symposium, 3, 1973, Washington. Proceedings...* Washington: NASA. v. 1, p. 309-317.

SÁNCHEZ, N.; MARTÍNEZ-FERNÁNDEZ, J.; CALERA, A.; TORRES, E.; PÉREZ-GUTIÉRREZ, C. 2010. Combining remote sensing and in situ soil moisture data for the application and validation of a distributed water balance model (HIDROMORE). *Agricultural Water Management*, v. 98, n. 1, p. 69-78.

SILVA, B. B.; SILVA, B. B.; BRAGA, A. C.; BRAGA, C. C.; OLIVEIRA, L. M. M.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; BARBOSA JUNIOR, B. 2016. Procedures for calculation of the albedo with OLI-Landsat 8 images: Application to the Brazilian semi-arid. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 20, n. 1, p. 3-8.

TROVÃO, D. M. B. M.; FERNANDES, P. D.; ANDRADE, L. A.; DANTAS NETO, J. 2007. Variações sazonais de aspectos fisiológicos de espécies da Caatinga. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 11, n. 3, p. 307-311.

WEI, Y.; ZHANG, F.; ZHANG, L.; KANG, L.; LIU, X. 2010. Estimating soil moisture in semi-arid region by remote sensing based on TM data. In: *International Conference on Multimedia Technology (ICMT), 2010. Ningbo: IEEE. pp. 1-5.*