

Analysis of drought severity by orbital data: effects in northeastern of the Brazil

Michelle F. Silva^{*}, Michelle A. Cerqueira^{**}, Bruna K. L. Santos^{***}, Diana F. de Freitas^{****}

^{*}Graduating in Agronomy; Academic Unit of Serra Talhada, Rural Federal University of Pernambuco – UFRPE, Av. Gregorio Ferraz Nogueira, s/n. Serra Talhada-PE – Brasil. Email: michellefs2008@hotmail.com (Corresponding author)

^{**}Assistant professor, Academic Unit of Serra Talhada, Rural Federal University of Pernambuco – UFRPE.

^{***}Graduating in Agronomy; Academic Unit of Serra Talhada, Rural Federal University of Pernambuco – UFRPE.

^{****}Associate professor; Academic Unit of Serra Talhada, Rural Federal University of Pernambuco – UFRPE.

Received 4 July 2017; accepted 5 September 2017

Abstract

The Brazilian Northeast faces a serious threat of water scarcity. The situation could still be intensified due to prevailing drought conditions. Therefore, there is a need for consistent monitoring of drought to observe its severity, duration and extent, to ensure effective planning and to mitigate its possible adverse effects. Considering this aspect, the objective of this work is to quantify the environmental conditions for drought in the years 2010 and 2016 through the Global Dry Drought Index (DSI) algorithm, to compare the spatial drought occurrences for the States of Ceará, Rio Grande North, Paraíba, Pernambuco and Alagoas, using orbital data from the MODIS / Terra sensor products NDVI and LST. The Drought Severity Index (ISD) were calculated and mapped to identify regions prone to spatial scale drought. The results suggest that there were DSI variations for the years analyzed, 2010 and 2016. In 2010, high drought patterns were recorded in the Sertão region of the States analyzed; Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco and Alagoas, with values ranging from -1.19 to - 1.49 of DSI. However, the values corresponding to moisture levels obtained a small spatial distribution, with values in the range of 1.19 - 1.49. On the other hand, for the year 2016 the DSI presented a greater temporal reach, with extreme drought index, <-1.50, in the month of November. The present study highlights the importance of orbital data monitoring, as well as the application of the index to drought monitoring at high spatial and temporal scales.

Keywords: drought severity, orbital imaging, natural phenomenon.

Análise da severidade de seca por dados orbitais: efeitos no nordeste do Brasil

Resumo

O Nordeste brasileiro enfrenta uma séria ameaça de escassez de água. A situação poderia ainda ser intensificada devido às condições de seca prevalentes. Portanto, há necessidade de monitoramento consistente da seca para observar sua severidade, duração e extensão, para garantir um planejamento eficaz e mitigar seus possíveis efeitos adversos. Diante deste aspecto o objetivo do trabalho é quantificar as condições ambientais para a seca nos anos de 2010 e 2016 através do algoritmo Índice Global de Severidade de Seca (DSI – *Drought Severity Index*), comparar as ocorrências espaciais de seca para os Estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco e Alagoas, utilizando dados orbitais do sensor MODIS/Terra produtos NDVI e LST. O Índice de Severidade de Seca (DSI) foram calculados e mapeados para identificar as regiões propensas à seca em escala espacial. Os resultados sugerem que houveram variações de DSI para os anos analisados, 2010 e 2016. Em 2010, foram registrados altos padrões de seca na região Sertão dos Estados analisados; Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco e Alagoas, registrando valores compreendidos entre -1.19 - 1.49 de DSI. Contudo os valores correspondentes a níveis de umidade obtiveram pequena distribuição espacial, com valores na faixa de 1.19 – 1.49. Em contrapartida, para o ano de 2016 o DSI apresentou maior alcance temporal, com índice de seca extrema, < -1.50, no mês de Novembro. O presente estudo evidencia a importância do monitoramento por dados orbitais, assim como a aplicação do índice no monitoramento da seca em alta escala espacial e temporal.

Palavras-Chave: severidade de seca, imagens orbitais, fenômeno natural.

1. Introduction

A seca é um fenômeno climático extremo, principal consequência do tempo normalmente seco levando à escassez de água em um sistema ecológico. Os efeitos da seca frequentemente se acumulam lentamente ao longo de um período considerável de tempo, não sendo visíveis ou percebidos no início e podendo prolongar-se durante muitos anos depois do fim do evento (Wilhite, 2000). Portanto, a detecção de ataques e fins de seca e a avaliação de sua gravidade usando informações derivadas de satélites estão se tornando populares em estudos de desastre, desertificação e mudança climática.

Segundo Wilhite et al.(1987) as secas foram definidas em quatro tipos: meteorológica, agrícola, hidrológica e socioeconômica. Embora existam vários tipos de seca, ambas são originárias da deficiência de precipitação que resulta na falta de água para o desenvolvimento de atividades ou para a sobrevivência dos seres vivos Wilhite (2003).

A disponibilidade de dados de sensoriamento remoto com cobertura espacial mais ampla levou a comunidade científica a usar frequentemente dados aéreos e satélites para capturar a dinâmica espaço-temporal das secas Haroon et al. (2016).

Para uma melhor investigação e compreensão da seca, incluindo seu começo e o fim, vários pesquisadores criaram índices para medir a severidade da seca.

No âmbito deste estudo, o Índice de Severidade da Seca (DSI) é calculado como subtração da Temperatura da Superfície Padronizado (LST) e Índice de Vegetação por Diferença normalizada (NDVI) para um determinado período. Baseando-se na abordagem de normalização sugerida por Bayarjargal et al. (2000) para trazer variáveis diferentes (por exemplo, NDVI e LST) numa mesma escala, comparável, em termos dos seus intervalos.

Neste estudo foram utilizadas imagens orbitais do sensor MODIS/Terra com o objetivo de quantificar as condições ambientais para a seca para os anos de 2010 e 2016 através do algoritmo Índice Global de Severidade de Seca (DSI – Drought Severity Index) e comparar as ocorrências espaciais de seca para os Estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco e Alagoas.

2. Material e métodos

A área de estudo abrange cinco estados do nordeste brasileiro, Pernambuco, Paraíba, Alagoas, Rio

Grande do Norte e Ceará. Sendo que os referidos estados também estão Localizados na região do Semiárido brasileiro, a qual representa 18,2% (982,566 Km²) do território nacional (IBGE, 2014). Com temperaturas médias anuais que variam de 20°C a 30°C e índice de precipitação anual variando de 300 a 2000 mm, sendo propício ao desenvolvimento de estiagem.

No desenvolvimento dessa pesquisa foram utilizadas 48 imagens orbitais do sensor MODIS/Terra (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), para cada ano analisado, a saber, 2010 e 2016, utilizando os produtos MOD13A1; referentes ao Índice de Vegetação (NDVI) e 96 imagens orbitais do produto MOD11A1, referente a Temperatura da Superfície (TS), ambas com Tiles H13V09 H14V09, esses produtos foram adquiridos juntos ao site (<https://reverb.echo.nasa.gov/>), de forma gratuitas.

Ambos os produtos utilizados, foram obtidos na projeção sinusoidal em formato HDF (Hierarchy Data Format). Posteriormente foram convertidos para o formato IGM e reprojatados para o Sistema de Referência SIRGAS2000.

Com o intuito de estabelecer o Índice de Severidade de Seca (DSI – *Drought Severity Index*), proposto por Bayarjargal et al. (2002), para a área de estudo, foi aplicado o algoritmo da equação 01, que corresponde a subtração entre a ΔLST e o $\Delta NDVI$.

$$DSI = \Delta LST - \Delta NDVI \quad (01)$$

Em que; o ΔLST é dado pela equação 02 e o $\Delta NDVI$ equação 03.

$$\Delta LST = \frac{(\overline{LST} - LST)}{\sigma_{LST}} \quad (02)$$

Em que; \overline{LST} corresponde à média do produto MOD11A1 para um determinado ano, LST média do produto MOD11A1 para a estação de análise e σ é o desvio padrão do produto MOD11A1 para o ano de análise.

$$\Delta NDVI = \frac{(\overline{NDVI} - NDVI)}{\sigma_{NDVI}} \quad (03)$$

Em que; \overline{NDVI} corresponde a média do produto MOD13A1 para um determinado ano, NDVI média do produto MOD13A1 para a estação de análise e σ é o desvio padrão do produto MOD13A1 para o ano de análise. O intervalo e categoria para a análise do índice DSI é dada pela Tabela 1.

A aplicação desses algoritmos foi realizada na calculadora *Raster* do software QGIS 2.16, permitindo adquirir anomalias referentes ao DSI.

Tabela 1 - Intervalo dinâmico e categorias relativas para condições úmidas e secas do DSI.

Descrição	DSI
Extremamente úmido	> 1.50
Muito úmido	1.19 – 1.49
Moderadamente úmido	0.89 – 1.19
Ligeiramente úmido	0.59 – 0.89
Úmido	0.30 – 0.59
Perto do Normal	- 0.30 – 0.30
Seca incipiente	-0.59 – - 0.30
Seca Leve	-0.89 – - 0.59
Seca Moderada	-1.19 – - 0.89
Seca Severa	-1.49 – - 1.19
Seca Extrema	<- 1.50

Fonte. Adaptado de Mu et al. (2016).

3. Resultados e discussão

A condição geral do índice de severidade da seca (DSI) durante o evento de seca (2010 e 2016) é apresentada como os mapas de anomalias anuais. Portanto, o índice DSI com resolução final e integrado com o índice NDVI derivado de produtos MODIS e dados LST foi escolhido como uma ferramenta para monitoramento regional da seca. Os mapas médios de DSI foram gerados mensalmente ao longo de todo o período de estudo.

Os valores de DSI maiores ou iguais a 1,5 são considerados condições de humidade extrema e os valores inferiores ou iguais a -1,5 são considerados condições extremas de seca

A alta frequência e intensidade de seca em cinco Estados do Nordeste brasileiro, a saber; Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba, Pernambuco e Alagoas, foi capturada pelo índice DSI mensal. A Figura 1 retrata a evolução das condições úmidas e de seca que podem ser observadas na distribuição espacial do índice DSI. Os mapas espaciais revelaram que as condições extremas de seca registraram valores entre -1.19 – -1.49 começaram a se desenvolver entre os meses de agosto a outubro de 2010 na sub-região Sertão do Nordeste e começando a reduzir as condições severas de seca em meados de novembro, contudo, durante o ano de 2010 as condições de seca são registradas na maior parte do ano, com pequena distribuição espacial dos valores de umidade, tendo maior representatividade nos meses de abril e maio, com valores na faixa de 1.19 – 1.49 que representa muito úmido, alcançando desde o agreste dos Estados da Paraíba, Rio Grande do Norte, Alagoas, Pernambuco, e seguindo para o oeste, alcançando a sub-região sertão dos Estados. Destacando o Estado do Ceará, o qual apresenta altas

taxas de Umidade em quase toda área extensional nos referidos meses de Abril e Maio. Os meses de Fevereiro- Março e Junho, apresentaram umidade perto do normal -0,30 – - 0,30; quase em toda área territorial dos Estados distribuídos nas suas sub-regiões; zona da mata, Agreste e Sertão.

O estado do Ceará foi o que registou valores elevados em toda sua extensão, propenso a seca severa, entre os meses de agosto a outubro de 2010, que segundo dados da (FUNCEME, 2010) nos meses de agosto e setembro não houve incidência de chuvas já para os demais meses mencionados anteriormente o percentual de chuva foi baixo, registrando valores compreendidos de 0.1 a 50 mm/ mensal. Os valores de DSI registrado nesta pesquisa corroboram com Mu et al. (2007), onde determinou o DSI global e anual.

Analisando os mapas espaciais, para o ano de 2016, Figura 2, percebe-se que o início do período de menores temperaturas são os primeiros meses do ano, de Janeiro à Maio com predominância de umidade extrema com valores >1,50, nos meses de Janeiro e Fevereiro, que segue alcançando quase todas as sub-regiões dos Estados. Apresentando os primeiros indícios DSI no mês de Março, representado em indícios de secas leves com valores de -0,89 – -0,59, com distribuição espacial no agreste dos Estados da Paraíba, Rio grande do Norte, Alagoas e Pernambuco e ainda se estendendo para o sertão Pernambucano. No entanto a distribuição de humidade predomina nesses meses de Janeiro à Maio, atingindo valores entre 0,59 – 1,19, caracterizados em valores de ligeiramente úmidos a muito úmidos respectivamente. Apesar dos altos valores de umidade a distribuição espacial do DSI atinge mais da metade do ano, sendo perceptíveis suas ações desde o mês de Junho–Dezembro, tendo aumentado expressivamente em todos os estados

estudados, variando de valor de $-0,89 < -1,49$, caracterizando secas leves a seca extrema, porém nos meses de Julho e Agosto, no litoral dos Estados

apresentaram umidade entre $0,59 - 1,19$, representadas em Ligeiramente úmido a Muito úmido.

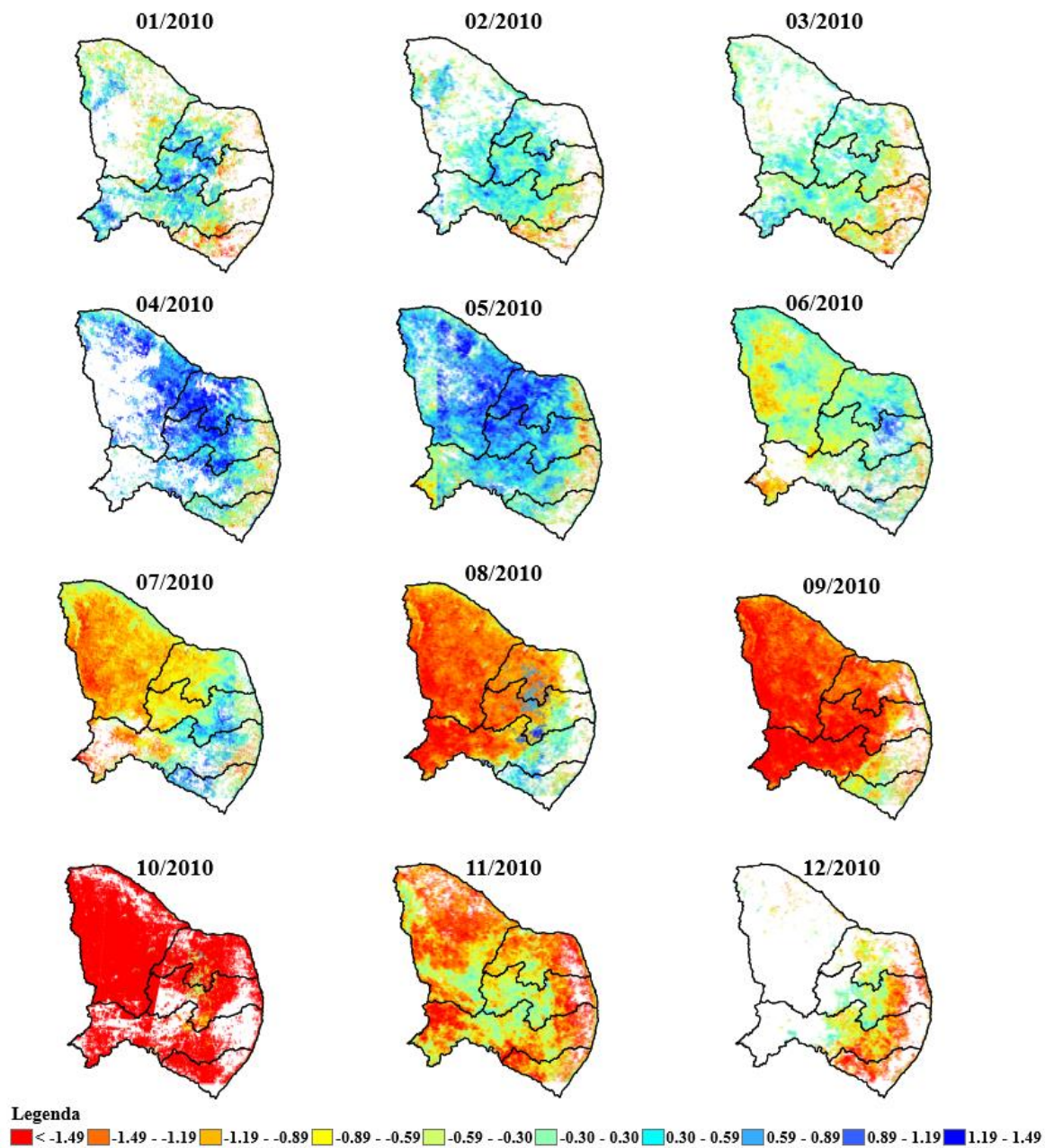


Figura 1- Distribuição espacial e temporal do DSI para o ano de 2010.

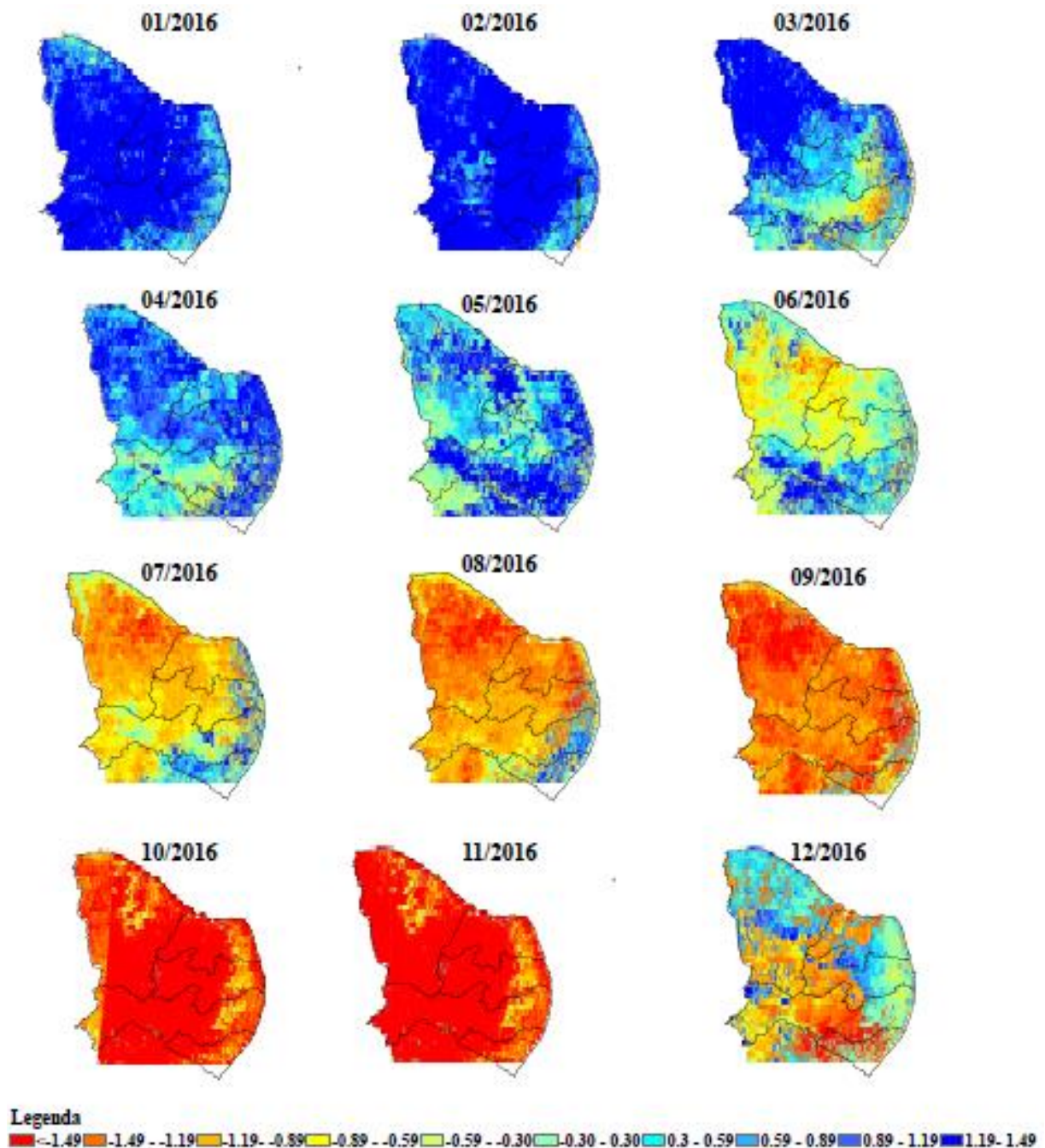


Figura 2. Distribuição espacial e temporal do DSI para o ano de 2016.

Entretanto mantiveram altos valores de DSI distribuídos com grande expressividade e em quase toda a área territorial, de todos os Estados: Rio Grande do Norte, Paraíba, Ceará, Pernambuco e Alagoas, nos meses de Outubro e Novembro, tendo o início da suspensão no mês de Dezembro.

Segundo o INMET (2017), a precipitação acumulada, para os Estados estudados foram em média 550 mm/ano, a qual sendo mal distribuída torna-a

muito baixa, ocasionando uma estiagem prolongada, fator que proporciona um aumento do índice de severidade de seca.

Comparando o desenvolvimento do DSI nos anos 2010 e 2016, seja ele em ação de intensidade ou extensão temporal, no ano de 2010, as maiores intensidades apresentaram menor alcance temporal, distribuídos nos meses de Agosto – Outubro, sendo abrangido o DSI de -1,49 – <-1,50, caracterizando

respectivamente seca severa a seca extrema, atingindo visivelmente em todos os meses a maior parte do Estado do Ceará, e apresentando o DSI de seca extrema no mês de Outubro. Em 2016, houveram maiores espaços temporal, no entanto, os meses com maiores DSI foram Julho - Novembro, sendo que os meses que apresentaram quase nenhum valor de umidade foram os meses de Setembro-Novembro, os quais abrangeram quase que em totalidade todos os Estados estudados, apresentando secas severas à extrema com valores de $-1,49 - < -1,50$. Porém o mês que apresentou o DSI de maior intensidade e extensão territorial determinado como Seca extrema $< -1,50$ foi o mês de Novembro.

Verificou-se ao analisar os mapas espaciais que as condições de seca começam a variar em ambos os anos estudados (2010 e 2016) a partir do mês de Junho sendo este o mês de transição, que de acordo com a tabela 1, nos meses anteriores ao mês de Junho registram-se valores referentes a condições úmidas e nos meses posteriores ao mês de Junho começa-se a registrar valores que se relacionam à seca. No mês de

Junho tem-se o fim do outono e início do inverno para o hemisfério sul, sendo que as chuvas na região do semiárido brasileiro são concentradas no verão que ocorre de (21/12 – 21/03) e no inverno (21/06 – 23-09), para o hemisfério Sul.

Correia et al. (2011) verificaram que os quatro meses mais chuvosos para Estados do Norte do Nordeste, como Ceará, Rio Grande do Norte e parte da Paraíba, ocorrem de Fevereiro a Maio, enquanto para o Oeste da Paraíba e Pernambuco, a quadra chuvosa (quatro meses com maiores totais pluviométricos) são Janeiro, Fevereiro, Março e Abril, sendo que, em algumas dessas regiões, já é possível observar a ocorrência de alguma precipitação no mês de dezembro.

Dado o exposto é imprescindível constatar que há ocorrência de mudanças climáticas constantes, ao avaliar os mapas, desde os meses de maior umidade e os de maior DSI, mesmo que se trate dos mesmos meses e estações anuais, em anos distintos.

Foi constatado que em 2010 tanto Umidade como DSI houve maior volubilidade quando analisados a distribuição espacial e a intensidade nos Estados e nas suas sub-regiões e em 2016 houve um maior espaço temporal tanto de Umidade e DSI como a suas intensidades foram maiores, sendo distribuídos quase sempre por igual em todos os Estados.

4. Conclusões

Neste trabalho foram abordadas técnicas de sensoriamento remoto que permite coletar dados

consistentes e reentrantes da superfície terrestre, para avaliar o DSI, que representa a intensidade e expansão da seca. Para os anos estudados (2010 e 2016), analisando as imagens orbitais, houve variações do DSI, como mudanças do início como da redução em relação aos meses, e os Estados abrangidos com maior intensidade.

As condições de seca começam com o fim do outono e início do inverno no hemisfério sul, onde no semiárido brasileiro, as estações mais chuvosas acontecem no verão e outono, verificando as menores temperaturas e maiores índices de umidade.

A ocorrência de secas em ambientes semiáridos é predominante justificando a necessidade de avaliar constantemente. Sendo necessários estudos mais avançados para análises que expliquem as mudanças ocorridas precisamente, tendo outros índices de seca para quantificá-la e monitorar o seu desenvolvimento, mas os adventos meteorológicos permitem conhecer algumas das causas que proporcionam o DSI, Radiação Global Terrestre, Pressão atmosférica, Temperatura Máximas, Nebulosidade, Umidade Relativa, e ainda a localização e a época do ano.

Utilizar técnicas de sensoriamento remoto para levantar dados e obter imagens orbitais de altas resoluções da superfície terrestre, tem se tornando uma grande ferramenta para monitoramento de grandes áreas, possibilitando a confecção de mapas para identificar e analisar alterações de uma mesma área em períodos distintos, a fim de estudar o produto dos satélites desejado. Na análise de DSI, ela é de grande importância, pois permite avaliar como essas variações estão sendo distribuídas ao longo dos meses, anos e a sua intensidade, indagando por que Estados que pertence à mesma região apresentam DSI diferentes para uma mesma época temporal.

Contudo com o conhecimento dessas oscilações possibilitam os Estados se precaverem, em relação à seca, tendo um planejamento, para a assistência de emergência para épocas propícias aos maiores valores de DSI, uma vez que essa área já é reconhecida como áreas de escassez, por conta das chuvas mal distribuídas ao longo do ano e dos meses, dificultando a produção Agrícola e Pecuária afetando significativamente a economia das regiões. Uma vez que ambos estão relacionados com a produção vegetal, que em condições de DSI elevados diminuem ou eliminam totalmente a cobertura vegetal verde.

Agradecimentos

Agradeço a Deus por ter me dado Saúde e Força para superar as dificuldades, às minhas

Orientadoras, pelo empenho dedicado à elaboração deste trabalho e pelas suas correções e incentivos. À colega Bruna Santos pela colaboração e apoio. Às instituições as quais dispõem de Dados para que possa embasar a pesquisa; Instituto Nacional de Meteorologia- INMET, Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos-FUNCEME e Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística –IBGE

Referências

- Bayarjargaly, Y., Adyasuren, T., Munkhtuya, S., 2000. Drought and vegetation monitoring in the arid and semiarid region of the Mongolia using remote sensing and ground. *Remote Sensing* 1, 372-377.
- Brasil. Ministério da Integração Nacional. Secretária Nacional de Defesa Civil. Instrução Normativa nº1, de 24 de agosto de 2012. Disponível: <http://bibspi.planejamento.gov.br/bitstream/handle/iditem/208/Instru%C3%A7%C3%A3o%20Normativa%20n1%2c%20de%2024%20agosto%20de%202012.pdf?sequence=1>. Acesso: 26 abr. 2017.
- Campos, J.N.B., 2014. Secas e políticas públicas no semiárido: ideias, pensadores e períodos. *Estudos Avançados* 28, 65-88.
- Campos, J.N.B., Studart, T.M.C., Lima, H.C., 1994. Secas no Nordeste Brasileiro diante de um Cenário de Mudanças Climáticas. Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Fortaleza.
- Chen, M., Xie, P., Janowiak, J.E., Arkin, P.A., 2002. Global land precipitation: a 50-yr monthly analysis based on gauge observations. *Journal of Hydrometeorology* 3, 249–266.
- Correia, R.C., Kiill, L.H.P., Moura, M.S.B., Cunha, T.J.F., Jesus Junior, L.A., Araujo, J.L.P., 2011. A região semiárida brasileira. Portal EMBRAPA. Disponível: <file:///C:/Users/Win7/Desktop/CBAGRO/01-A-regiao-semiarida-brasileira.pdf-18-12-2011.pdf>. Acesso: 26 abr. 2017.
- Defries, R.S., Hansen, M.C., Townshend, J.R.G., 2000. Global continuation fields of vegetation characteristics: A linear mixture model applied to multi-year AVHRR data. *International Journal of Remote Sensing* 21, 1389–1414
- FUNCEME. Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos, 2010. Calendários de chuvas do Estado do Ceará. Disponível: <http://funceme.br/app/calendario/produto/regioes/midia/mensal>. Acesso: 26 abr. 2017.
- Hagman, G., 1984. Prevention better than cure: report on human and environmental disasters in the Third World. Swedish Red Cross, Stockholm.
- Heim, R.R., 2002. A review of twentieth-century drought indices used in the United States. *Bulletin of the American Meteorological Society* 84, 1149–1165.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2014. Áreas especiais: cadastro de municípios localizados na região semiárida do Brasil. Disponível: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geografia/semiario.shtm?c=4>. Acesso: 26 abr. 2017.
- INMET. Instituto Nacional de Meteorologia, 2017. Disponível: http://www.inmet.gov.br/portal/notas_tecnicas/trabalho_tecnico_02-2017.pdf. Acesso: 26 abr. 2017.
- Kerr, R.A., 2011. Vital details of global warming are eluding forecasters. *Science* 334, 173–174.
- Keyantash, J., Dracup, J.A., 2002. The quantification of drought: an evaluation of drought indices. *Bulletin of the American Meteorological Society* 83, 1167–1180.
- Kogan, F., Salazar, L., Roytman, L., 2012. Estimation of crop production using satellite-based vegetation health indices in Kansas. *International Journal of Remote Sensing* 33, 2798–2814.
- Mu, Q., Heinsch, F.A., Zhao, M., Running, S.W., 2007. Development of a global evapotranspiration algorithm based on MODIS and global meteorology data. *Remote Sensing Environ* 111, 519–536.
- Palmer, W.C., 1965. Meteorological drought, in: *Research Paper*. v. 45, US Weather Bureau, Washington.
- Rocha, W.F., 2009. Situação da cobertura vegetal do bioma Caatinga, in: Angelotti, F., Sá, I.B., Menezes, E.A., Pellegrino, G.Q. (Org.), *Mudanças climáticas e Desertificação no Semiárido Brasileiro*. Embrapa Semiárido, Petrolina; Embrapa Informática Agropecuária, Campinas, pp. 77-94.
- Rosegrant, M.W., Cai, X., Cline, S.A., 2003. Will the world run dry? *Global water and food security. Environment* 45, 24–36.
- Silva, F.deA.S., Rao, T.V.R., 2002. Regimes pluviais, estação chuvosa e probabilidade de ocorrência de veranicos no Estado do Ceará. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* 6, 453-459.
- Silvia, M.P.L., Souza, M.A.J., 2010. Sensoriamento Remoto para Desastres. Oficina de textos, São Paulo.
- Vermote, E., Kotchenova, S., 2010. MODIS directional surface reflectance product: method, error estimates and validation. *Land Remote Sensing and Global*

- Environmental Change: NASA's Earth Observing System and the Science of ASTER and MODIS, B. Ramachandran, C. O. Justice, and M. J. Abrams, Eds., Remote Sensing and Digital Image Processing Series 11, 533–548.
- Vesentini, J.W., Vlach, V., 2006. Geografia Crítica. Ática, São Paulo.
- Wilhite, D.A., 2000. Drought as a natural hazard, in: Wilhite, D.A. (Eds.), Drought: a global assessment. Routledge, London, pp. 3-18.
- WilhitE, D.A., 2003. Drought, in: Holton, J.R., Pyle, J. A., Curry, J.A. (Eds.), Encyclopedia of atmospheric sciences. Elsevier, New York, pp. 650-658.
- Wilhite, D.A., Glantz, M.H., 1987. Understanding the drought phenomenon: the role of definitions, in: Wilhite, D.A., EAsterling, W.E. (Eds.), Planning for drought: toward a reduction of societal vulnerability. Westview Press, Boulder, pp. 11-27.
- ZHAO, M., Running, S.W., 2010. Drought-induced reduction in global terrestrial net primary production from 2000 through 2009. Science 329, 940–943.