MONITORAMENTO DA SECA 2011/2012 NO NORDESTE BRASILEIRO A PARTIR DO SATÉLITE *SPOT-VEGETATION* E TRMM

Janice Freitas Leivas[1], Ricardo Guimarães Andrade[2], Daniel de Castro Victoria[3], Fabio Enrique Torresan[4], Edson Luis Bolfe[5]

RESUMO

A seca afeta várias partes do mundo e provoca impactos sociais, econômicos e ambientais. O objetivo deste estudo foi avaliar o comportamento do Índice de Vegetação Padronizado (IVP), obtido a partir do produto NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) decendial do satélite SPOT-Vegetation, para o monitoramento da seca no nordeste brasileiro, a partir da série histórica de 1998 a 2012. Para subsidiar os resultados foi realizada a padronização dos dados de precipitação obtidos do satélite TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*), de março de 2011 a março de 2012. A partir de dezembro de 2011, observa-se que a precipitação ficou abaixo do normal na maior parte do nordeste brasileiro, acarretando diminuição do IVP em toda a região estudada. Fatores como o posicionamento da Zona de Convergência Intertropical e *El Niño* influenciaram no regime de chuvas da região. Os resultados são satisfatórios, indicando a ocorrência de intensa seca no nordeste brasileiro, sendo observada variabilidade do IVP e defasagem na resposta da vegetação à precipitação estimada a partir do *TRMM*. As análises comprovam que o IVP mostrou-se eficaz no monitoramento das secas na região nordeste do Brasil.

Palavras-chave: análise espaço-temporal, geotecnologia, eventos extremos

ABSTRACT

DROUGHT MONITORING IN 2011/2012 FOR THE BRAZILIAN NORTHEAST BASED ON THE SATELLITE SPOT-VEGETATION AND TRMM

Drought affects several parts of the globe and causes negative social, economic and environmental effects. The aim of this study was to assess the performance of the Standardized Vegetation Index (PVI) obtained from the NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) for ten days of SPOT-Vegetation satellite, for monitoring drought in northeast Brazil based on the historical series from 1998 to 2012. In order to verify the results, rainfall data obtained from the TRMM satellite (Tropical Rainfall Measuring Mission) from March 2011 to March 2012 was standardized. As of December 2011, it was observed that rainfall was below normal for most of the northeast, resulting in a decrease in IVP for the entire area under study. Factors such as positioning of the Intertropical Convergence Zone and El Niño influence rainfall in the region. The results are satisfactory, indicating the occurrence of severe drought in Northeast Brazil since January 2012. IVP variability was observed along with delay in vegetation response to rainfall estimates based on the TRMM. The analyses confirmed that the IVP was efficient for drought monitoring in northeastern Brazil.

Keywords: spatio-temporal analysis, geotechonology, extreme events

Recebido para publicação em 29/05/2013. Aprovado em 05/02/2014.

1 - Meteorologista, Pesquisadora da Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas-SP. Email: janice.leivas@embrapa.br

2 - Eng. Agrícola, Pesquisador da Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas-SP. Email: ricardo.andrade@embrapa.br

3- Eng. Agrônomo, Pesquisador da Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas-SP. Email: daniel.victoria@embrapa.br

4 - Ecólogo, Pesquisador da Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas-SP. Email: fabio.torresan@embrapa.br

5 - Eng. Florestal, Pesquisador da Embrapa Monitoramento por Satélite, Campinas-SP. Email: edson.bolfe@embrapa.br

INTRODUÇÃO

A seca é uma deficiência de precipitação durante um período prolongado de tempo que resulta em escassez de água para algumas atividades, grupo ou setor ambiental (NDMC, 2007). A seca de 2011/2012 está sendo considerada a pior dos últimos 30 anos, acarretando, além da deficiência hídrica que assola o Nordeste Brasileiro (NEB), aumento nos preços dos alimentos.

A escassez de água vem ocorrendo com frequência nos dias de hoje em muitas partes do mundo, em parte devido ao aumento na demanda, devido ao crescimento da população e da expansão dos setores agrícola, industrial e de energia, e em parte devido às alterações climáticas e contaminação do abastecimento de água (BATES *et al*., 2008).

Imagens de satélite são amplamente utilizadas para o monitoramento da cobertura vegetal devido à rapidez de acesso às informações em escala regional e, principalmente, a possibilidade de aquisição de locais de difícil acesso. Com isso, torna-se possível monitorar o uso e cobertura da terra, características da vegetação, assim como identificar ocorrências de secas em escala regional, por meio da utilização de índices de vegetação. Um dos índices mais utilizados para análise de culturas agrícolas é o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) ou Índice de Vegetação por Diferença Normalizada, proposto por Rouse *et al*. (1973), que explora o contraste nos valores de refletância dos canais do vermelho e infravermelho próximo, sendo sensível às características biofísicas da vegetação (LIU *et al*., 2010). O produto decendial de NDVI do sensor *Vegetation* (VGT), a bordo da plataforma do satélite SPOT, tem a finalidade específica de imageamento da vegetação. Apesar de possuir baixa resolução espacial (1 km), o sensor possui bandas espectrais concebidas especificamente para o monitoramento de vegetação em grandes áreas, atuando nas faixas dos comprimentos de onda: 0,43-0,47 μm (azul), 0,61-0,69 μm (vermelho), 0,78-0,89 μm (infravermelho próximo) e 1,58-1,68 μm (infravermelho médio).

O NDVI tem sido usado no monitoramento desse fenômeno e de seus impactos na vegetação (GUTMAN 1992; KOGAN 1995; HUTCHINSON 1991) com resultados promissores. Liu e Kogan (1996) reportam que o NDVI responde com uma defasagem temporal de um mês à ocorrência de precipitação e de déficit hídrico. Adicionalmente, mencionam que dependendo do regime de precipitação, tipo de vegetação e tipo de solo, essa resposta temporal pode variar de região para região. Consequentemente, um mesmo valor de NDVI pode estar associado à situação de seca em uma determinada região e em outra não. Assim, é importante identificar o padrão de resposta do NDVI ao déficit hídrico em cada região.

Devido à falta de uma densa rede de pluviômetros no território brasileiro, a utilização do satélite TRMM (*Tropical Rainfall Measuring Mission*) é uma boa alternativa para obtenção de estimativas de precipitação. O satélite TRMM é um projeto em parceria entre a NASA e a Agência Japonesa de Exploração Aeroespacial (JAXA) e foi lançado em 27 de novembro de 1997, com o objetivo específico de monitorar e estudar a precipitação nos trópicos, além de verificar como a mesma influencia o clima global. O projeto TRMM gera diversos produtos (estimativas) de acordo com a combinação de instrumentos utilizados no algoritmo de cálculo. Collischonn *et al*. (2007) mostraram que a estimativa de precipitação do satélite TRMM é bastante precisa, quando comparada com dados de solo na bacia hidrográfica do Alto Paraguai.

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi verificar o comportamento da cobertura vegetal no nordeste brasileiro (NEB), por meio da análise da padronização do índice de vegetação (NDVI) em relação ao padrão histórico, para cada pixel do período de março de 2011 a agosto de 2012, do sensor SPOT-Vegetation, e comparar com as estimativas de precipitação padronizada do TRMM.

MATERIAL E MÉTODOS

A área de estudo é a região Nordeste do Brasil (NEB) que compreende os estados Bahia, Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Paraíba, Rio Grande do Norte, Ceará, Piauí e Maranhão (Figura 1). A região está localizada na zona intertropical da Terra, que apresenta um elevado fotoperíodo, resultando em temperaturas muito elevadas durante o ano todo. Nessa região, as chuvas não são bem distribuídas no decorrer do ano. Segundo a classificação de Köeppen, são identificados os tipos climáticos ao longo da região de estudo: Tropical (Aw, As e Af), Semiárido (BSh) e Equatorial Úmido (Am).

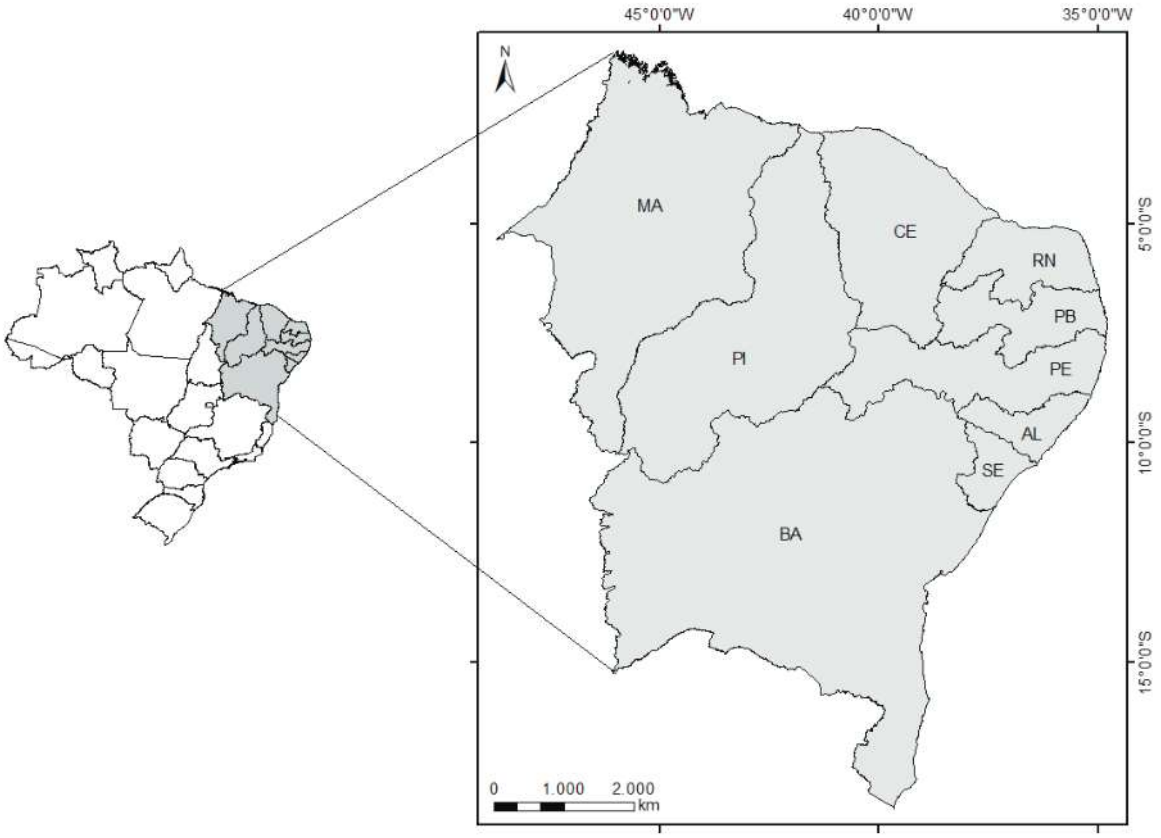

Figura 1. Localização da área de estudo.

Para a realização do trabalho, foram utilizados os produtos V2KRNS10 do sensor SPOT Vegetation (VGT) que fornece a síntese decendial do NDVI. Este produto é obtido a partir do valor máximo do índice de vegetação observado durante o período da composição temporal (10 dias) para cada pixel da imagem, o *Maximum Value Composite* (MVC). Como o produto é decendial, ocorre seleção dos pixels com maior valor de NDVI durante o período, reduzindo a contaminação por nuvens. O V2KRNS10 possui resolução radiométrica de 8 bits e resolução espacial de 1 km. A conversão dos valores digitais da imagem para valores de NDVI (Equação 1) é feita a partir da regressão linear:

$$NDVI = (0{,}004 \times NC) - 0{,}1 \qquad (1)$$

em que,

NC é o nível de cinza de cada pixel, 0,004 e -0,1 são coeficientes de calibração do Spot-Vegetation, sugeridos pela VITO (*Vision on Technology*), da Bélgica.

A partir do produto V2KRNS10, foi obtido o Índice de Vegetação Padronizado (IVP), ao ser aplicada a metodologia proposta por Park *et al.* (2008), que permitiu quantificar o quanto o índice de vegetação de um determinado decêndio difere do valor médio de longo prazo para o mesmo decêndio.

Para cada decêndio, foi calculada a imagem anomalia de vegetação. Este cálculo foi realizado pixel a pixel e foi obtido por meio da subtração do NDVI mensurado no decêndio e a média de longo prazo do NDVI do decêndio, dividido pelo desvio padrão do NDVI do referido decêndio. Com isso, foi obtido o valor da anomalia de vegetação para cada decêndio do período analisado na região nordeste.

A partir da imagem anomalia de vegetação, ou seja, o quanto o IVP ficou acima ou abaixo da média do NDVI para o decêndio, pode-se identificar a variabilidade da vegetação. Esses resultados foram comparados com os dados de

precipitação padronizados do TRMM, obtendo-se o Índice de Precipitação Padronizado (IPP). As anomalias de precipitação foram comparadas com os desvios do Índice de Vegetação, em relação à média climatológica.

Para obtenção do Índice de Vegetação Padronizado (IVP) foi necessário gerar as imagens médias de NDVI de cada decêndio, do período de abril de 1998 a 2012, totalizando 497 imagens. A partir daí, foram obtidas as anomalias da cobertura vegetal em relação ao padrão histórico para o período analisado, ou seja, o quanto o vigor vegetativo ficou acima ou abaixo da média para o decêndio referido. O Índice de Vegetação Padronizado (IVP) foi obtido conforme a Equação 2:

$$IVP_{dec} = \frac{NDVI_{dec} - NDVI_{med\ dec}}{\sigma_{dec}} \qquad (2)$$

em que,

IVP_{dec} é o Índice de Vegetação Padronizado do decêndio referido;

$NDVI_{dec}$ é o Índice de Vegetação do decêndio referido;

$NDVI_{med\ dec}$ é a média do Índice de Vegetação para diversos anos, no decêndio referido; e

σ_{dec} é o desvio padrão dos índices de vegetação de vários anos no decêndio referido.

Os valores de IVP e IPP foram categorizados conforme apresentado no Quadro 1, que representam valores do índice de vegetação muito abaixo do normal (IVP $\leq$ -2) até muito acima do normal (IVP $\geq$ 2).

Com a obtenção do Índice de Vegetação Padronizado (IVP), foi possível avaliar o vigor vegetativo em relação aos padrões históricos (1998/2012) para cada pixel e decêndio do período analisado.

Os resultados foram expressos em desvios padrão em relação à média, ou seja, anomalia de vegetação em relação à média, possibilitando avaliar a distribuição espacial dos Índices de Vegetação Padronizado (IVP). A escala em tons de verde corresponde aos valores de NDVI ligeiramente acima do normal, acima do normal e muito acima do normal, respectivamente, ou seja, pode-se afirmar que o NDVI está acima do que era esperado para o local e decêndio analisado. As áreas em amarelo correspondem ao Índice de Vegetação (NDVI) normal, ou seja, NDVI da área assemelha-se à média do período 1998/2012, para o referido pixel. Nas áreas em tom de cinza não foram obtidos dados. Isto se deve à presença de nuvens ou pixels ruidosos, eliminados na fase de pré-processamento. Em cada decêndio, foi determinada a variação média do IVP ao longo do tempo. Para tanto, associando-se as imagens decendiais do SPOT Vegetation ao mapa de referência, foi possível determinar o IVP em cada local (pixel). Foi analisado o IVP em relação à precipitação padronizada estimada pelo TRMM, o IPP.

Quadro 1. Intervalos de classes dos valores do Índice de Vegetação Padronizado (IVP) e da precipitação (IPP) estimada pelo TRMM e sua correspondente categorização indicativa.

Valores de IVP e IPP	Categorização	Legenda IVP e IPP
IVP ou IPP$\leq$ - 2,0	Muito abaixo do normal	Vermelho escuro
-2,0 < IVP ou IPP $\leq$ -1,5	Abaixo do normal	Vermelho
-1,5 < IVP ou IPP $\leq$ -1,0	Ligeiramente abaixo do normal	Laranja
-1,0 < IVP ou IPP $\leq$ 1,0	Normal	Amarelo/ Branco
1,0 < IVP ou IPP $\leq$ 1,5	Ligeiramente acima do normal	Verde / Azul claro
1,5 < IVP ou IPP < 2,0	Acima do normal	Verde / Azul
IVP ou IPP$\geq$ 2,0	Muito acima do normal	Verde / Azul escuro

A estimativa dos desvios temporais na precipitação foi estimada a partir do Índice Padronizado de Precipitação (IPP), proposto por (Mckee *et al*., 1993). De forma análoga ao Índice de Vegetação Padronizado, com este índice pode-se avaliar a diferença da precipitação em um determinado período em relação à precipitação média do período, normalizado pelo desvio padrão. Os dados de precipitação utilizados no cálculo do IPP foram obtidos das estimativas mensais de precipitação do satélite TRMM, produto 3B43, obtidos no seguinte endereço: http://daac.gsfc.nasa.gov/data/. Estes apresentam resolução espacial de 0,25° x 0,25° (aproximadamente 25 km) e correspondem ao acumulado mensal de precipitação estimada, ajustada a partir de dados de uma rede mundial de postos pluviométricos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O comportamento do Índice de Vegetação Padronizado (IVP) mostrou-se sensível à precipitação dentro da defasagem aproximada de um mês. Esta relação pode ser observada nas Figuras 2 a 6, nos quais os acumulados de precipitação estão relacionados ao valor médio de NDVI no período correspondente.

Na Figura 2, é apresentada a distribuição espacial do IVP na região nordeste do Brasil no período de março a agosto de 2011. Observa-se que o IVP variou entre normal e abaixo do normal na maior parte da região nordeste, com exceção ao período entre julho e agosto de 2011, onde foi observado IVP acima do normal para o período, na parte norte do NEB.

Na Figura 4, observa-se ocorrência de Índice de Precipitação Padronizada (IPP) acima do normal na mesma região, para o mesmo período analisado. Logo, o comportamento da cobertura vegetal nessa região respondeu à precipitação com a defasagem de um a dois meses.

A partir de dezembro de 2011, observa-se que a precipitação ficou abaixo do normal (Figura 5d) na maior parte do NEB, acarretando diminuição do IVP em toda a região estudada (Figura 3). A partir de janeiro de 2012 (Figura 3e), observa-se intensificação da seca no NEB, sendo considerada como a pior dos últimos 30 anos, afetando principalmente a região do semi-árido. Na Bahia, observa-se que a precipitação abaixo do normal estendeu-se desde maio de 2011 (Figura 4c).

As variações interanuais de chuvas no Nordeste Brasileiro (NEB) podem ser atribuídas às anomalias na posição e intensidade da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), posicionando-se no Atlântico tropical entre 5º S, no outono do hemisfério sul, e 20º N no outono do hemisfério norte. A chegada da ZCIT à sua posição mais ao sul no Oceano Atlântico determina a estação chuvosa no norte da região nordeste brasileira. Outro fator que influencia o regime de chuvas na região nordeste é a ocorrência do *El Niño*. O *El Niño* é um fenômeno atmosférico-oceânico caracterizado por um aquecimento anormal das águas superficiais no oceano Pacífico Tropical, e que pode afetar o clima regional e global, mudando os padrões de vento a nível mundial, e afetando assim, os regimes de chuva em regiões tropicais e de latitudes médias. No nordeste brasileiro, os efeitos do *El Niño* são de ocorrência de secas severas (CLIMANÁLISE, 1986). No ano de 2011, a ZCIT afastou-se para o meio do Atlântico e interrompeu de forma abrupta o inverno nordestino. Nesse período as frentes frias não avançaram até o nordeste, acarretando falta de chuvas. A ausência de chuvas nesse período pode ser observada também na região litorânea (Figuras 4 e 5).

O ano de 2011 foi um período de transição do fenômeno *La Niña*, responsável pelo aumento das chuvas no sertão nordestino, para o evento El Niño, explicando a grande estiagem ocorrida no ano de 2012. Outro fator importante é a diferença entre a temperatura da água do Oceano Atlântico Sul e Norte, ficando mais fria que o normal, acarretando menor umidade na atmosfera sobre a região nordeste. Barbosa *et al.* (2011) constataram que nos anos de ocorrência do evento climático *El Niño*, ocorrem padrões sazonais e interanuais no NDVI do nordeste brasileiro.

Molion *et al.* (2002) mostraram que no sul do NEB, em praticamente toda Bahia, norte de Minas Gerais, noroeste do Espírito Santo e partes sul do Maranhão e Piauí e extremo sudoeste de Pernambuco, os índices pluviométricos variam

de 600 mm/ano (interior) a mais de 3.000 mm/ano (litoral) e seu período mais chuvoso está compreendido entre os meses novembro a fevereiro (NDJF). Na seca de 2012, a precipitação esperada não ocorreu (Figuras 5d, 5e e 5f), conforme constatado nos resultados deste estudo, causando sérios problemas para a população.

Observa-se defasagem entre o IVP (Figuras 2, 3 e 4) e a precipitação padronizada do TRMM (Figuras 4, 5 e 6). O comportamento do NDVI está fortemente influenciado pela precipitação, bem como o tempo da defasagem de dois meses entre a precipitação e o NDVI, conforme já constatado em estudos anteriores como o realizado por Ávila *et al.* (2009) e Wang *et al.* (2003). Barbosa *et al.* (2011) analisaram a dinâmica temporal do NDVI no semi-árido do nordeste brasileiro, ocupado pela caatinga e em área de savana africana, verificando que o NDVI varia de acordo com as condições climáticas locais, apresentando uma lacuna temporal entre a ocorrência de precipitação e absorção de água disponível na vegetação, corroborando com o monitoramento das secas e a resposta da cobertura vegetal por meio do IVP.

Na análise dos resultados, foram calculadas as correlações entre o IVP, obtido do SPOT-Vegetation, e IPP, obtido do TRMM, sendo encontradas correlações baixas. Isso é devido ao fato de que as resoluções dos sensores de 1 km (SPOT-Vegetation) e 25 km (TRMM). Segundo Owrangi *et al.* (2011), nos eventos de seca que tem aspecto regional é recomendável realizar análise visual. Segundo Mohammad (2011), na análise da série histórica do SPOT-Vegetation e NOAA-AVHRR, para o monitoramento de seca, quando os parâmetros são diferentes, como IVP e IPP, há grande chance de ocorrência de correlações fracas, mesmo que os parâmetros sejam totalmente dependentes. Essa chance é maior quando os valores interpolados envolvem diferentes funções matemáticas, gerando erros. Portanto, em vez de depender de coeficientes de correlação, é sugerida a distribuição espacial por meio de análise visual, a fim de proporcionar maior compreensão em escala regional. O sensor SPOT-Vegetation possui a vantagem de ter alta resolução temporal e desvantagem da baixa resolução espacial, de 1 km. Portanto, o monitoramento da seca na região nordeste poderia ser melhor identificada via satélite, por sensores que tivessem resolução espacial maior, como por exemplo, o satélite MODIS, porém a resolução temporal é menor, sendo uma desvantagem para fins de monitoramento decendial.

Muitos pesquisadores (BAJGIRAN *et al.*, 2008; DI *et al.*, 1994; REED, 1994; KOGAN, 1997; EKLUNDH, 1996) determinaram a condição vegetação utilizando o índice de vegetação NDVI e precipitação. Gebrehiwot *et al.* (2011) analisaram o Índice de Precipitação Padronizada (IPP) e o Índice de Condição da Vegetação (VCI – *Vegetation Condition Index*) para avaliar as características espaciais e temporais de seca e cobertura vegetal em Tigre, no norte da Etiópia. Com base nos valores críticos de seca IPP e VCI definiram a extensão espacial e temporal das secas, produzindo mapas de seca multi-temporais. Os resultados da análise de IPP e VCI revelam que as zonas sul e oriental da Etiópia sofreram ciclos recorrentes de seca durante a última década, assim como no nordeste brasileiro.

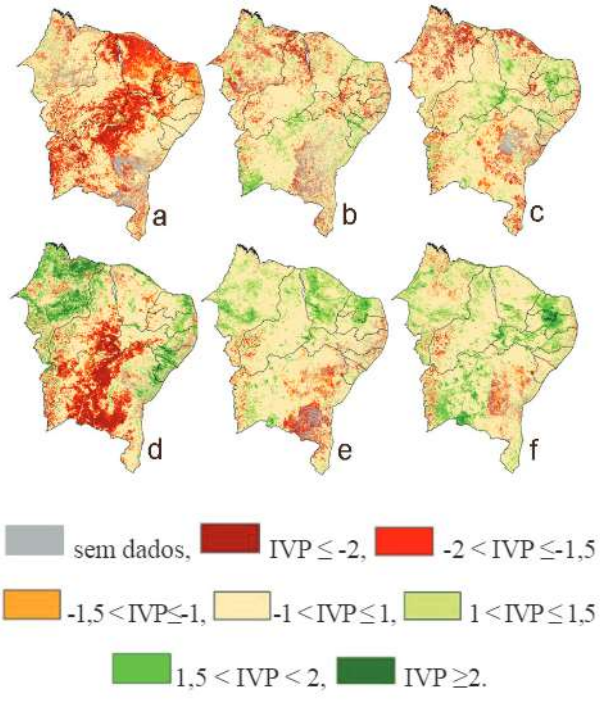

Figura 2. Distribuição espacial do Índice de Vegetação Padronizado de março (a), abril (b), maio (c), junho (d), julho (e) e agosto (f) de 2011.

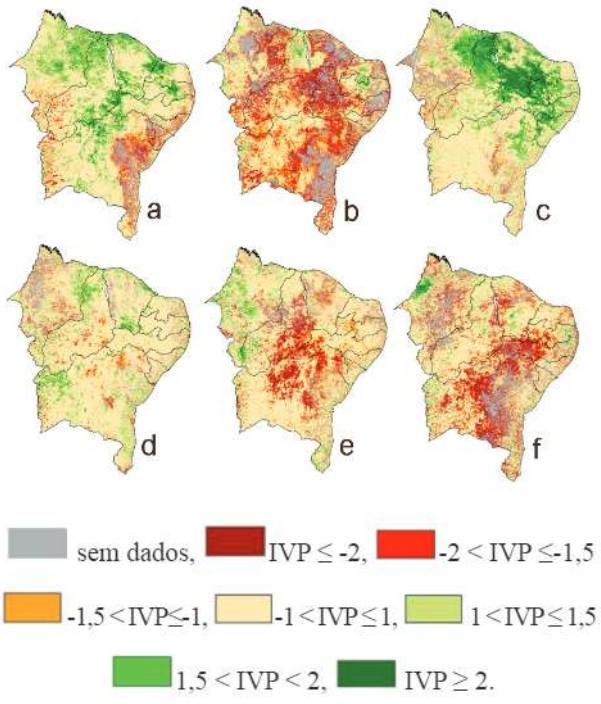

Figura 3. Distribuição espacial do Índice de Vegetação Padronizado de setembro (a), outubro (b), novembro (c), dezembro de (d) de 2011, janeiro (e) e fevereiro (f) de 2012.

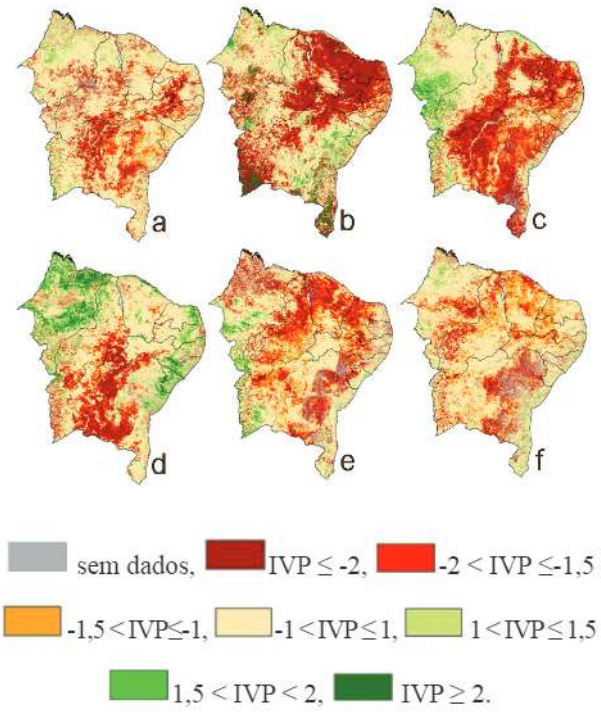

Figura 4. Distribuição espacial do Índice de Vegetação Padronizado de março (a), abril (b), maio (c), junho (d), julho (e) e agosto (f) de 2012.

A precipitação é o principal fator que controla a formação e persistência da seca. O déficit de precipitação tem diferentes impactos sobre as águas subterrâneas, o armazenamento do reservatório, a umidade do solo, entre outros. As estimativas de precipitação obtidas do satélite TRMM (Figuras 4, 5 e 6) apresentam a variabilidade sazonal. Há uma tendência dos dados do satélite superestimarem a precipitação total. Essa diferença é da mesma ordem das verificadas em trabalhos anteriores (RAMAGE *et al.*, 2003; COLLISCHONN *et al.*, 2007) e os resultados podem ser considerados satisfatórios. Uma característica importante é que o satélite TRMM estima corretamente a ausência de chuva, fator importante para o monitoramento da seca na região nordeste do Brasil.

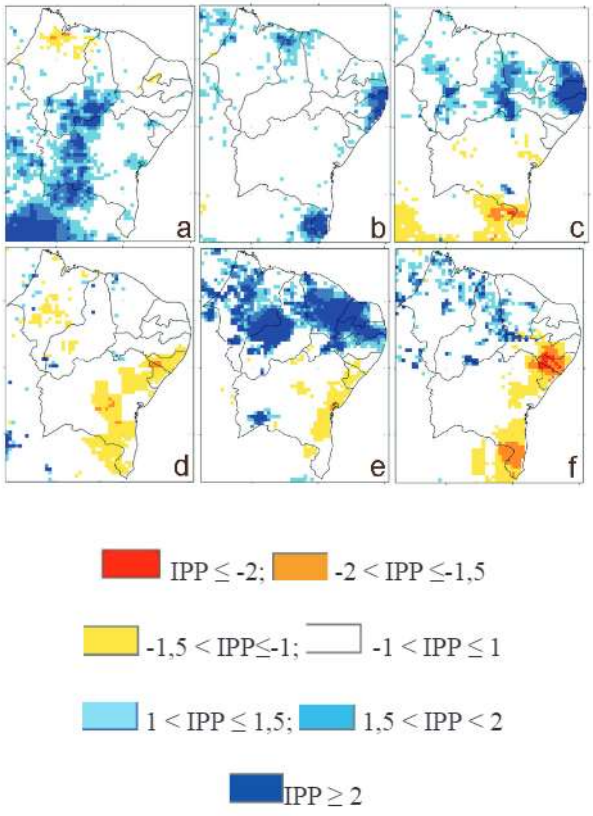

Figura 5. Distribuição espacial do Índice de Precipitação Padronizado do TRMM, de março (a), abril (b), maio (c), junho (d), julho (e) e agosto (f) de 2011.

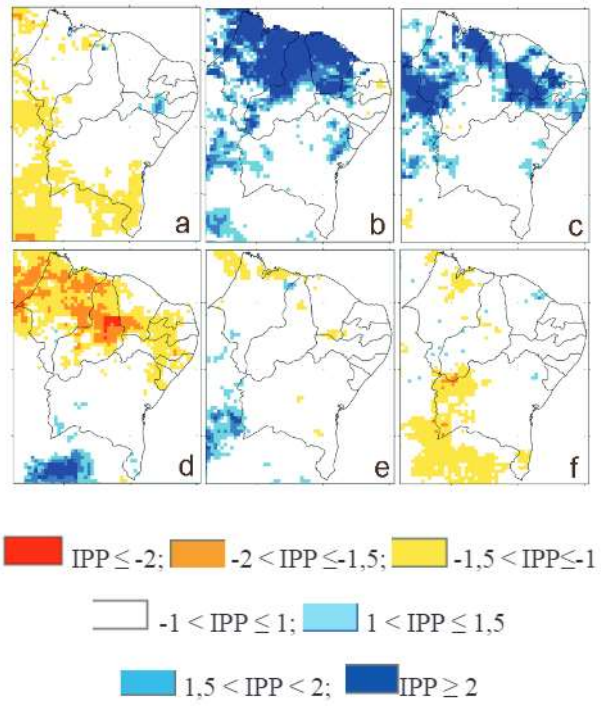

Figura 5. Distribuição espacial do Índice de Precipitação Padronizado do TRMM, de setembro (a), outubro (b), novembro (c) e dezembro (d), janeiro (e) e fevereiro (f) de 2012.

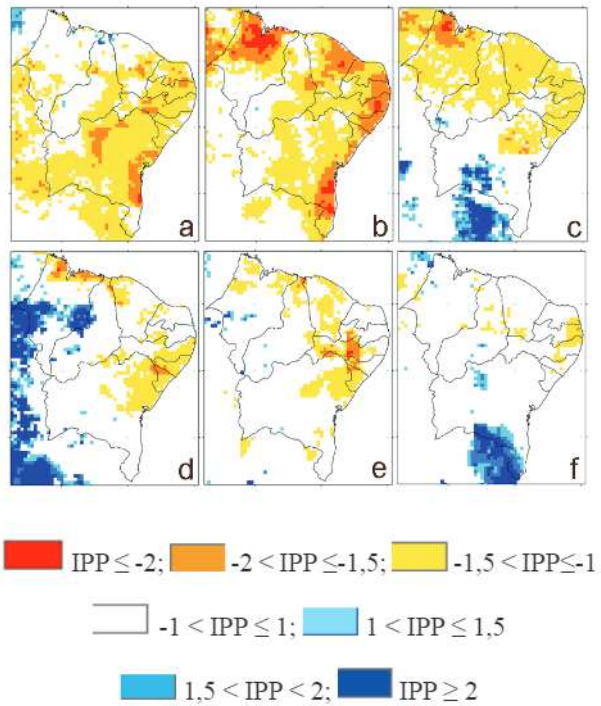

Figura 6. Distribuição espacial do Índice de Precipitação Padronizado do TRMM, de março (a), abril (b), maio (c), junho (d), julho (e) e agosto (f) de 2012.

Autores como Wu e Kinter (2009), Quiring e Kluver (2009), Hwang e Carbone (2009), Mckee *et al.* (1993) e Hayes *et al.* (1999) utilizaram o IPP na investigação da variabilidade espaço-temporal do regime de precipitação pluvial, em diversas partes do globo.

Importante salientar outros fatores locais, tais como características do solo, o estresse em anos anteriores e as características de ocupação da superfície do solo que podem, também, ter influência sobre a vegetação. No entanto, o vigor vegetativo obtido a partir de imagens de satélite indica que são úteis para identificar a diversidade espacial das condições de seca em grandes áreas, oferecendo a possibilidade para a previsão precoce de secas, assim como para a gestão de riscos de seca. Estudos semelhantes foram realizados na África, América do Sul e Ásia (KOGAN, 1995, 1997; LIU, 1996; UNGANAI e KOGAN, 1998, BHUIYAN *et al.* 2006) também revelaram que a dinâmica de área seca estudada por imagens de satélite tem demonstrado mais claramente a intensidade de secas em escala regional e mostrou ser uma ferramenta eficaz para o monitoramento desses eventos.

A falta de água no semi-árido nordestino é um problema recorrente, acarretando vários problemas à região. Para superar os desafios das secas recorrentes e reduzir impactos existe a necessidade de planejamento de longo prazo e, portanto, o desenvolvimento de estratégias eficazes para a gestão e planejamento das secas para manter a segurança dos recursos hídricos e, consequentemente, alimentar.

Nesta pesquisa, o monitoramento da seca foi realizado em uma escala regional e não pontual/local. As variações do índice de vegetação NDVI podem ajudar a compreender o efeito de fatores climáticos sobre a cobertura vegetal local, auxiliando no planejamento e mitigação de grande escala. Quanto maior o conhecimento das relações entre precipitação, os níveis de água subterrânea e os índices de vegetação (em nível regional), maior o discernimento que se tem sobre como proceder para a mitigação dos efeitos e severidade da seca.

CONCLUSÕES

- A seca que ocorreu no nordeste brasileiro em 2011/2012 foi monitorada a partir o Índice de Vegetação Padronizado, derivado das imagens do sensor SPOT-Vegetation, devido à grande extensão do evento. O período mais crítico foi observado a partir de janeiro de 2012, no qual grandes áreas do semi-árido apresentaram IVP muito abaixo do normal, associadas ao baixo índice pluviométrico, obtido a partir dos dados do TRMM;
- O sensor SPOT-Vegetation possui a vantagem de ter alta resolução temporal mas a desvantagem da baixa resolução espacial, de 1 km. Portanto, o monitoramento da seca na região nordeste poderia ser melhor efetuado via satélite por sensores que tivessem resolução espacial maior, como por exemplo, o satélite MODIS, porém a resolução temporal é menor, sendo essa uma desvantagem para fins de monitoramento decendial;
- Os resultados deste estudo servem de apoio à tomada de decisão, podendo ser utilizados para avaliação de risco;
- A metodologia proposta a partir da análise do NDVI do SPOT-Vegetation pode ser aplicada para o monitoramento decendial de áreas com potencial de ocorrência de secas no nordeste brasileiro. Importante levar em consideração os fatores meteorológicos que ocorrem na região nordeste, como a ocorrência de fenômenos *El Niño* que intensificam as secas na região, assim como a posição da ZCIT e linhas de instabilidade, responsáveis pelo regime de chuvas do nordeste brasileiro;
- Os resultados deste estudo indicam que o método proposto é um método potencialmente promissor para o monitoramento da seca, podendo ser usado para o gerenciamento de risco de seca em climas semi-áridos, como no nordeste brasileiro. O monitoramento das secas é um grande passo para planejamento/ mitigação de seca sendo indispensável à tomada de decisão do governo a partir da informação disponibilizada.

REFERÊNCIAS

ÁVILA, A.M.H; GONÇALVES, R.R.V.; PINTO, H.S.; ZULLO, J.J. Relação entre a precipitação e o NDVI em imagens AVHRR/NOAA para a cana-de-açúcar, no estado de São Paulo. . In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR) 14., 2009, Natal. **Anais...,** São José dos Campos: INPE, 2009. Artigos: p.553-560. On-line. ISBN:978-85-17-00044-7.

BAJGIRAN, P.R.; DAVRVISHSEFAT, A.A.; KHALILI, A.A.; MAKHDOUM, M.F. Using AVHRR-Based Vegetation Indices for Drought Monitoring in the Northwest of Iran, **Journal of Arid Environments**, v.72, n.6, p.1086-1096, 2008.

BARBOSA, H.A.; KUMAR, T.V.L.; SILVAJUNIOR, I.W. Analysis of the NDVI Temporal Dynamics in Semi-arid Ecosystems: Brazilian Caatinga and African Western Sahel. Revista **Brasileira de Geografia Física**, v.02, n.01, p.300-306, 2011.

BATES, B.C., KUNDZEWICZ, Z.W., PALUTIKOF, S. 2008. Climate change and water, Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Secretariat, Geneva, 210p.

BHUIYAN, C.; SINGH R.; KOGAN, F. Monitoring Drought Dynamics in the Aravalli Region (India) Using Different Indices Based on Ground and Remote Sensing Data **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v.8, n.4, p.289-302, 2006.

CLIMANÁLISE: **Boletim de Monitoramento e Análise Climática- INPE/CPTEC**. Número especial. CPTEC-INPE, 1986. 125p.

COLLISCHONN, B; COLLISCHONN, W; ALLASA, D. TUCCI, C. Estimativa de precipitação por sensoriamento remoto passivo: desempenho do satélite TRMM sobre a Bacia do Alto Paraguai até Descalvados. **Revista Brasileira de Cartografia**, v.59, n.01, 2007.

DI, L.P.; RUNDQUIST, D.C.; HAN, L.H. Modeling Relationships between NDVI and Precipitation

during Vegetative Growth Cycles. **International Journal of Remote Sensing**, v.15, n.10, p.2121-2136., 1994.

EKLUNDH, L. AVHRR NDVI for Monitoring and Mapping of Vegetation and Drought in East African Environments, Meddelanden farn Lunds Universitets Geografikska Institutioner Lund University Press, Lund, 1996. 187p.

GEBREHIWOT, T., VAN DER VEEN, A., MAATHUIS, B. Spatial and temporal assessment of drought in the Northern highlands of Ethiopia, **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation.** v.13, p.309-321, 2011.

GUTMAN, G.G. Twoards monitoring droughts from space. **International Journal of Climatology**, n.3, p.282-295, 1992.

HAYES, M.J.; SVOBODA, M.D. ; WILHITE, D.A.; VANYARKHO, O.V. Monitoring the 1996 drought using the standardized precipitation index. **Bulletin of the American Meteorological Society,** v.80, p.429–438, 1999.

HWANG, Y.; CARBONE, G.J. Ensemble Forecasts of Drought Indices Using a Conditional Residual Resampling Technique. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v.48, n.7, p.1289-1301, 2009.

HUTCHINSON, C.F. Use of sattelite data for famine early warning in Sub-Saharan Africa. **International Journal of Remote Sensing,** n.12, p.1405-1421, 1991.

KOGAN, F.N. Droughts of the Late 1980s in the United States As Derived from NOAA Polar Orbiting Satellite Data, **Bulletin of the American Meteorological Society**, v.76, n.5, p.655-668, 1995.

KOGAN, F.N. Applications of vegetation index and brightness temperature for drought detection. **Advance Space Research**, v.15, p.91-100, 1995.

KOGAN, F.N., Global drought watch from space. **Bulletim. American. Meteorology. Society**. v.78, p.621–636, 1997.

LIU, W.T., KOGAN, F.N. Monitoring regional drought using the vegetation condition index. **International Journal of Remote Sensing**. v.17, p.2761–2782, 1996.

LIU, S.; WANG, T.; GUO, J.; QU, J.; AN, P. Vegetation change based on SPOT-VGT data from 1998-2007, northern China. **Environmental Earth Sciences**, v.60, p.1459-1466, 2010.

LIU, W.T. Monitoring regional drought using Vegetation Condition Index. **International Journal of Remote Sensing**, n.17, p.2761-2782, 1996.

MCKEE, T.; DOESKEN, N.; KLEIST, J. The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales In: Proceedings of the 8th Conference of Applied Climatology, Anaheim, 17-22 January 1993, p.179-184.

MCKEE, T.B., DOESKEN, N.J; KLEIST,J. The relationship of drought frequency and duration to time scales, In: **Preprints, 8th Conference on Applied Climatology**, p.179–184, Anaheim, California, January 17–22. 1993.

MOHAMMAD, A.O.; ADAMOWSKI, J.; RAHNEMAEI, M.; MOHAMMADZADEH, A. SHARIFAN, R.A. Drought Monitoring metodology based on AVHRR images and spot vegetation maps. **Journal of water resource and protection**, v.3, p.325-334, 2011.

MOLION, L.C.B; BERNARDO, S. O. Uma revisão da dinâmica das chuvas no nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.17, n.1, p.1-10, 2002.

NDMC, 2007: Inaugural Annual Report 2006-2007. National Disaster Management Centre, Provincial and Local Government Department, Pretoria, South Africa, 172p.

OWRANGI, M.A.; ADAMOWSKI, J.;

RAHNEMAEI, M.; MOHAMMADZADEH, A.; SHARIFAN, R.A. Drought Monitoring Methodology Based on AVHRR Images and SPOT Vegetation Maps. **Journal of Water Resources and Protection**, v.3, p.325-334, 2011.

PARK, J.S.; KIM, K.T.; CHOI, Y.S. Application of Vegetation Condition Index and Standartized Vegetation Index for assessment of spring drought in South Korea. In: GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM, 2008. IGARSS 2008, Boston, Massachusetss, U.S.A. **Proceedings**... IEEE International, 2008. p.774-777. Disponível em: http://ieeexplore.ieee.org/ . Acesso em: 5 dez. 2011.

QUIRING, S.M.; KLUVER, D.B. Relationship between winter/spring snowfall and summer precipitation in the Northern Great Plains of North America. **Journal of Hydrometeorology**, v.10, n.5, p.1207-1207, 2009.

RAMAGE, K.; JOBARD, I.; LEBEL, T.; DESBOIS, M. Satellite estimation of 1-day to 10-day cumulated precipitation: comparison and validation over tropical Africa of TRMM, METEOSAT and GPCP products. In: THE 2003 EUMETSAT METEOROLOGICAL SATELLITE CONFERENCE, 2003, Weimar, Alemanha. **Proceedings**..., Eumetsat, 2003. CD-ROM. Disponível em: <http://www.eumetsat.int/> Acesso em: 20 nov 2011.

REED, B.C. Measuring Phenological Variability from Satellite Imagery. **Journal of Vegetation Sciences,** v.5, n.5, p.703-714, 1994.

ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1 SYMPOSIUM, 3., 1973, Washington. In: **Proceedings...**Washington: NASA, Goddard Space Flight Center, 1973. v.1, p.309-317.

UNGANAI, L.S.; KOGAN, F.N. Drought monitoring and corn yield estimation in southern Africa from AVHRR data. **Remote Sensing of Environmental**. v.63, p.219–232, 1998.

WANG, J.; PRICE K.P.; RICH, P.M. Temporal responses of NDVI to precipitation and temperature in the Central Great Plains. **International Journal of Remote Sensing**, v.24, n.11, p.2345-2364, 2003.
WU, R.; KINTER, L.J. Analysis of the Relationship of U.S. Droughts with SST and Soil moisture: Distinguishing the time scale of droughts. Journal of Climate, v.22, n.17, p.4520-4538, 2009.