

Artigo

## Variabilidade Temporal da Cobertura das Terras nos Estados da Paraíba e Rio Grande do Norte

Verônica Gabriella de Oliveria<sup>1</sup> , Madson Tavares Silva<sup>1</sup> ,  
Carlos Antonio Costa dos Santos<sup>1</sup> , Eivaldo Afonso de Oliveira Serrão<sup>1</sup> ,  
Bruce Kelly da Nobrega Silva<sup>2</sup>, Marcos Ronielly da Silva Santos<sup>3</sup> ,  
Irene Cristina Pereira Corrêa<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, PB, Brasil.*

<sup>2</sup>*Programa de Pós-Graduação em Ciências Climáticas, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, RN, Brasil.*

<sup>3</sup>*Departamento de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, PA, Brasil.*

Recebido em: 31 de Maio de 2019 - Aceito em: 19 de Agosto de 2020

### Resumo

O objetivo desse estudo foi avaliar a variabilidade espaço-temporal do NDVI, da temperatura da superfície terrestre (TST) e da precipitação pluvial (PCP) em regiões de Caatinga degradada (CD) e em recuperação (CR) no Estado da Paraíba, e preservada (CP) no Estado do Rio Grande do Norte. Foram aplicadas técnicas de sensoriamento remoto (SR) do sensor MODIS/Terra com utilização de testes não-paramétricos e tendência. Nas áreas CD e CR o período chuvoso é caracterizado entre o outono-inverno representando mais de 70% do total anual. A CP apresenta dois padrões significativos da PCP, o primeiro associado ao verão, em que os acumulados representam 33,4% do total anual, e o segundo no outono representando 52,8%. Os maiores valores médios mensais de NDVI estão presente na CR. Na CD, foram verificados os maiores valores da TST. As maiores correlações negativas entre TST e PCP e entre TST e NDVI foram encontradas na CR (-0,73) e CP (-0,86), respectivamente. Foi obtida relação positiva entre NDVI e PCP em todos os ambientes, com destaque para a CP (0,84). Os resultados encontrados, evidenciam que os produtos de SR do sensor MODIS são importantes para o entendimento dos impactos antrópicos e climáticos na dinâmica da vegetação de Caatinga.

**Palavras-chave:** Caatinga, NDVI, MODIS, temperatura da superfície terrestre.

## Temporal Variability of Land Cover in Paraíba and Rio Grande do Norte States

### Abstract

The objective of this study was to evaluate the spatial-temporal variation of NDVI, the temperature of the earth's surface (TST) and rainfall (PCP) in the degraded Caatinga (DC) and recovery (CR) regions in the State of Paraíba, and preserved (CP) in the State of Rio Grande do Norte. MODIS /Terra sensor remote sensing (SR) techniques were applied using non-parametric and trend tests. In the CD and CR areas, the rainy season is included in autumn-winter, representing more than 70% of the annual total. The CP presents two patterns of use of the PCP, the first associated in the summer, and the accumulated ones represent 33,4% of the annual total, and the second number of autumn represented 52,8%. The highest average monthly NDVI values are present in the CR. The CD showed the highest TST values. The greatest negative correlations between TST and PCP and between TST and NDVI were found in CR (-0,73) and CP (-0,86), respectively. A positive relationship between NDVI and PCP was selected in all environments, with an emphasis on a PC (0,84). The results found, evidence that SR products from the MODIS sensor are important for understanding anthropogenic and climatic impacts on Caatinga vegetation.

**Keywords:** Caatinga, NDVI, MODIS, land surface temperature.

## 1. Introdução

A vulnerabilidade das regiões semiáridas às mudanças climáticas no Brasil é objeto de estudo de vários pesquisadores (Huang *et al.*, 2016; Marengo *et al.*, 2017; Dubreuil *et al.*, 2019). A maioria das pesquisas destacam a importância de estudos de variáveis meteorológicas como a temperatura do ar e dos acumulados de precipitação pluvial, tais variáveis podem afetar significativamente a sociedade, ocasionando impactos na gestão dos recursos hídricos, agricultura e da degradação de áreas com maior vulnerabilidade ambiental.

Nessa temática destaca-se que os principais núcleos de desertificação no Brasil estão localizados no semiárido brasileiro, situado quase inteiramente na região Nordeste do Brasil (NEB), onde verifica-se a combinação de fatores climáticos, pedológicos, de relevo e manejo do uso e cobertura do solo como forçantes fundamentais no controle e modulação desses processos (Nimer 1988; Silva *et al.*, 2015; Silva *et al.*, 2016; Tomasella *et al.*, 2018; Silva *et al.*, 2018).

O bioma Caatinga abrange cerca de 9% do território nacional e é predominante no semiárido do NEB (Souza *et al.*, 2015) sendo caracterizado por um padrão de ocupação de floresta tropical seca. De acordo com Mutti *et al.* (2019) tal bioma é adaptado para suportar o estresse hídrico ocasionado por chuvas baixas e irregulares, altas temperaturas e grande disponibilidade de energia solar, que aumentam a evaporação e a dessecação do solo, levando a déficits hídricos durante a maior parte do ano. As taxas potenciais de evapotranspiração são altas (entre 1500 e 2000 mm ano<sup>-1</sup>) e o solo é raso e rochoso, com uma redução da capacidade de absorção de água (Pagoto *et al.*, 2015). No tocante da endemia de espécies, Moura *et al.* (2013) e Mendes *et al.* (2017), destacam que a vegetação é composta principalmente por xerófitas, amadeirada, espinhosa, decídua e semidecídua fisionomias com predominância de morfologia de árvores e arbustos.

A pressão antrópica sobre o bioma caracteriza-se pela remoção da vegetação e degradação de terra, podendo inviabilizar as principais funções das florestas secas, tornando-se tão intensa que as práticas agrícolas não permitem a recuperação adequada do solo e da vegetação entre as estações de crescimento. Foley (2005) relata a importância das florestas na regulação e manutenção do microclima e que a supressão da vegetação em regiões tropicais poderá ocasionar alterações no balanço hídrico, tornando o clima mais seco e quente. Neste contexto, Wang *et al.* (2018) ressaltam a importância da investigação sobre as respostas das superfícies vegetadas à desertificação e o conhecimento de sua dinâmica, e que tal tarefa é extremamente complexa dada as limitações no monitoramento e previsão do comportamento da vegetação.

Assim, o sensoriamento remoto (SR) é uma das principais ferramentas para a monitoramento da dinâmica da

vegetação em uma determinada região. O SR possibilita a geração de imagens e outros tipos de dados, da superfície terrestre, por meio da captação e do registro da energia refletida ou emitida pela mesma (Liu, 2015). Ramos *et al.* (2010) destacam que o SR tem um papel importante no monitoramento e na estimativa de diversos fenômenos meteorológicos e ambientais, fornecendo subsídio para o planejamento e gestão territorial. Destaca-se o uso de índices de vegetação (IV) como alternativa para o entendimento da cobertura vegetal e oportunizar ao usuário comparar análises da conjuntura passada e atual, produção agrícola, biomassa, monitoramento da saúde vegetal, entre outras (Shiratsuchi *et al.*, 2014).

O Índice de Vegetação por Diferenças Normalizadas (NDVI) é um dos parâmetros amplamente utilizados na avaliação da desertificação e degradação do solo (Cunha *et al.*, 2015; Ferreira *et al.*, 2017; Mariano *et al.*, 2018; Tomasella *et al.*, 2018). Aplicando análises de séries temporais do NDVI destacam-se as pesquisas de Ferreira *et al.* (2017), Militino, Ugarte e Unai (2017), 3 e Wang *et al.* (2018). Alguns estudos mostram a correlação de variáveis ambientais com os IV obtidos por meio do SR (Delgado *et al.*, 2012), Araújo *et al.*, 2018 e Santos *et al.*, 2020). A radiação solar e a chuva estão entre os principais fatores que influenciam o crescimento das árvores e, consequentemente, a regeneração natural. De acordo com Ataíde *et al.* (2011) e Menezes *et al.* (2011), esses fatores se encaixam em um dos grupos considerados mais importantes, o dos fatores climáticos. Na determinação da troca de energia e matéria entre a superfície da terra e a camada inferior da atmosfera destaca-se o uso da temperatura da superfície terrestre (TST) como um dos parâmetros ambientais que detectam possíveis alterações na cobertura e uso do solo (Mohan, 2000).

Estudos apresentados acerca do bioma Caatinga são relevantes e se justificam em função dessa região ser pouco estudada e possuir a inevitabilidade de conservação, atendendo a manutenção do seu alto grau de compreensão e abundância de espécies do único bioma tipicamente brasileiro. Então, a relevância do bioma Caatinga, relacionada à primordialidade de monitoramento e à operacionalidade que os métodos com SR permitem. Assim, o objetivo desse estudo foi avaliar a variabilidade espaço temporal do NDVI, da TST e da precipitação pluvial (PCP) em regiões de Caatinga degradada (CD) e em recuperação (CR) no Estado da Paraíba e preservada (CP) no Estado do Rio Grande do Norte.

## 2. Material e Métodos

### 2.1 Área de estudo

As análises foram conduzidas em dois sítios experimentais pertencentes ao Instituto Nacional do Semiárido (INSA), localizados no município de Campina Grande -

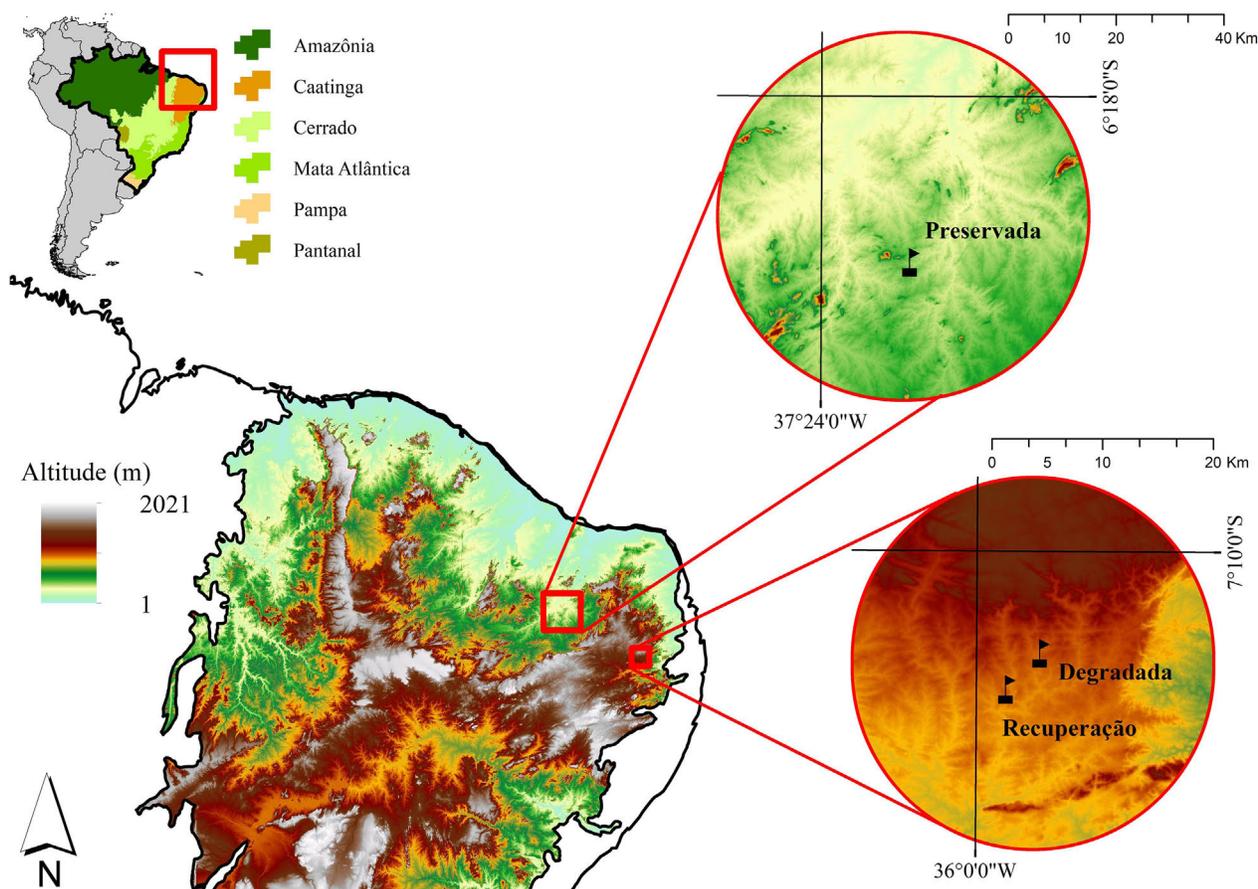
PB, os quais foram classificados como: 1) caatinga densa (CD) - localizada nas proximidades da sede administrativa do INSA ( $7^{\circ}14'59''$  S,  $35^{\circ}56'49''$  O) (Fig. 1). As características do solo são de sedimentos arenosos com a ocorrência de algumas ravinas; 2) caatinga em recuperação (CR) - situada na fazenda experimental do INSA ( $7^{\circ}16'47''$  S;  $35^{\circ}58'29''$  O) (Fig. 1). A vegetação apresentava um dossel vegetativo bastante estruturado, predominantemente caracterizada pela presença de um estrato arbustivo, onde se observava alguns indivíduos arbóreos esparsos, além de grande concentração de cactáceas, diferindo apenas em sua densidade.

Conforme *Alvares et al.* (2014), de acordo com a classificação Köppen, o clima semiárido (tipo BSh) é característico do NEB, locais onde a precipitação anual é inferior a 800 mm, onde B representa a zona climática seca, Bs semiárido e BSh para baixa latitude e altitude. No Planalto da Borborema, na Paraíba, ocorre precipitação anual inferior a 700 mm. A temperatura média anual do ar varia entre  $21,5$  e  $26$  °C e a umidade relativa do ar está em torno de 60% (*Francisco et al.*, 2015).

O terceiro sítio experimental, denominado de caatinga preservada (CP) - fragmento preservado de uma

floresta tropical seca ( $6^{\circ}34'42''$  S,  $37^{\circ}15'05''$  O), está localizado na Estação Ecológica do Seridó (ESEC-Seridó), município de Serra Negra do Norte, no estado do Rio Grande do Norte (Fig. 1). A ESEC-Seridó compreende uma área de 1163 ha de remanescente Caatinga, caracterizada por floresta xerófila seca e planta decídua espécies e a predominância de pequenas árvores amplamente dispersas e arbustos com menos de 7 m de altura e manchas de ervas, que se desenvolvem e crescem somente durante a estação chuvosa (*Althoff et al.*, 2016, *Tavares-Damasceno et al.*, 2017). O clima da região é semiárido, a baixa longitude e altitude do Bsh de Köppen (*Alvares et al.*, 2014), com a estação chuvosa ocorrendo entre os meses de janeiro e maio, precipitação média anual de 700,0 mm, temperatura média anual de  $25,0$  °C e umidade média anual do ar em torno de 60% (média de 30 anos).

A metodologia foi subdividida nas seguintes etapas: (a) aquisição das imagens MODIS e dados TRMM; (b) tratamento estatístico; (c) análise das assinaturas temporais do NDVI, da TST e da PCP e (d) análise das relações estatísticas entre o NDVI, TST e PCP para os três tipos de cobertura de Caatinga.



**Figura 1** - Localização da área de estudo, em destaque os sítios experimentais.

## 2.2. Obtenção do NDVI e TST

Foram utilizados dados do produto de reflectância MOD09A1 e MOD11A2 de 01 de abril de 2000 a 30 de junho de 2017 adquiridos junto à plataforma *Reverb* ([reverb.echo.nasa.gov](http://reverb.echo.nasa.gov)) disponibilizada pela agência EOS-DIS (*Earth Observing System Data and Information System*) pertencente à NASA. Para a formação do mosaico de imagens que contém a área de estudo foi utilizado o *Tile* h13v09.

Os dados NDVI foram obtidos no sensor MODIS MOD13A1 (v006), que fornece NDVI (Eq. (1)) e outros índices de vegetação em um mosaico no período de 16 dias através da seleção dos melhores valores registrados em cada pixel durante o período em análise. O índice NDVI é sensível à clorofila e possui a seguinte formulação (Rouse *et al.*, 1973).

$$NDVI = \frac{\rho_{IVP} - \rho_V}{\rho_{IVP} + \rho_V} \quad (1)$$

em que:  $\rho_{IVP}$  é o valor da reflectância no infravermelho próximo (800-1100 nm) e  $\rho_V$  é a reflectância na faixa do vermelho (600-700 nm). Esse índice minimiza as interferências relativas às variações provenientes do ângulo solar e dos efeitos atmosféricos, observados para dados multitemporais. Os valores obtidos com o NDVI são contidos em uma mesma escala de valores, entre -1 e 1.

Os dados MOD11A2 diários são obtidos com resolução espacial de 1 km pelo algoritmo *split-window* e em grades de 6 km pelo algoritmo *day/night*. No algoritmo *split-window*, as emissividades das bandas de 31 e 32 são estimadas a partir de tipos de cobertura do solo, da coluna de vapor de água atmosférico e da temperatura do ar na camada mais baixa. No algoritmo de *day/night*, os valores diurnos e noturnos de LST e emissividade de superfície são obtidos a partir de pares de observações do MODIS durante o dia e a noite em sete bandas na faixa do infravermelho termal. O dados empregados possuem dados globais de temperatura da superfície e emissividade combinados durante 8 dias com resolução espacial de 1 km a partir do produto MOD11A1, que por sua vez são gravados em grades de 1 km com projeção sinusoidal como médias dos valores para dias de céu claro durante o período de estudo (Araújo *et al.*, 2017). As bandas utilizadas são descritas na Tabela 1.

A temperatura da superfície terrestre (TST) foi obtida diretamente a partir do produto MOD11A2 pela multiplicação da banda 1 pelo fator de escala 0,02. Já a emissividade foi obtida pela média das bandas 9 e 10 do mesmo produto citado, após conversão pelo fator de escala.

## 2.3. Dados de precipitação TRMM

Neste estudo, foram utilizados os produtos TRMM 3B42, (Versão 7), de abril de 2000 a junho de 2017, e

**Tabela 1** - Descrição das bandas do produto MOD11A2.

Banda	Descrição	Unidades	Fator de Escala
1	Temperatura da Superfície diurna	Kelvin	0,02 * B1
5	Temperatura da Superfície noturna	Kelvin	0,02 * B2
9	Emissividade Band 31	-	0,002 * B9 + 0,49
10	Emissividade Band 32	-	0,002 * B10 + 0,49
11	Dias de céu claro	-	-
12	Noites de céu claro	-	-

foram agregados para obter precipitação mensal. A aquisição dos dados do TRMM 3B42 foi oriunda do sítio eletrônico <https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni/>.

## 2.4. Análise de séries temporais

Foram criadas séries temporais de NDVI médio mensal, de valores médios mensais da TST e do acumulado da precipitação pluvial para as três áreas de estudo (CD, CR e CP).

### 2.4.1. Teste de Pettitt

O teste estatístico não-paramétrico de Pettitt realiza a verificação de duas amostras  $x_1, x_2, \dots, x_t$  e  $x_{t+1}, x_{t+2}, \dots, x_T$ , provenientes de populações iguais. Esta metodologia é capaz de localizar o ponto onde houve uma mudança brusca na média da série temporal, além de fornecer informações acerca da homogeneidade dos dados da série analisada (Pettitt, 1979).

O termo estatístico  $U_{t,T}$  faz uma contagem do número de vezes que um membro da primeira amostra é maior que um membro da segunda, e pode ser escrita através da Eq. (2):

$$U_{t,T} = U_{t-1,T} + \sum_{j=1}^T \text{sgn}(x_t - x_j) \quad \text{para } t = 2, 3, \dots, T \quad (2)$$

em que:  $\text{sgn}(x) = 1$  para  $x > 0$ ;  $\text{sgn}(x) = 0$  para  $x = 0$ ;  $\text{sgn}(x) = -1$  para  $x < 0$ .

A estatística  $U_{t,T}$  é então calculada para os valores de  $1 \leq t \leq T$  e a estatística  $k(t)$  do teste de Pettitt é o máximo valor absoluto de  $U_{t,T}$ . Esta estatística localiza o ponto onde houve uma quebra da série temporal e a sua significância pode ser calculada aproximadamente pela Eq. (3):

$$p \cong 2 \exp \left\{ -6(K_T)^2 / (T^3 + T^2) \right\} \quad (3)$$

em que:  $p$  é o nível de significância,  $K_T$  é o valor crítico e  $T$  é o número de anos da série histórica.

### 2.4.2. Teste de Mann-Kendall

O teste de Mann-Kendall (MK), é um teste não-paramétrico utilizado para avaliar tendências em séries temporais (Yue *et al.*, 2002). Esse teste foi desenvolvido por

Mann (1945) e Kendall (1975), pode ser obtido através das Eqs. (4)-(5):

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i) \quad (4)$$

em que: o sinal  $(x_j - x_i)$  é obtido pela Eq. (5):

$$\text{sgn}(x_j - x_i) = \begin{cases} +1 & \text{se } (x_j - x_i) > 0 \\ 0 & \text{se } (x_j - x_i) = 0 \\ -1 & \text{se } (x_j - x_i) < 0 \end{cases} \quad (5)$$

Mann (1945) e Kendall (1975) mostraram que a estatística  $S$  é normalmente distribuída com média e variância dadas pelas Eqs. (6)-(7), respectivamente:

$$E[S] = 0 \quad (6)$$

$$\text{Var}[S] = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^n ti(ti-1)(2ti+5)}{18} \quad (7)$$

O valor da estatística  $Z$  é dado pela Eq. (8):

$$Z_{MK} \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{se } S > 0 \end{cases} \quad (8)$$

A hipótese nula de ausência de tendência ( $H_0$ ), é rejeitada sempre que  $|Z| > Z\alpha/2$ , em que  $\alpha$  é o nível de significância adotado e  $Z\alpha/2$  é o valor crítico de  $Z$  a partir da

tabela padrão normal. Para o nível de significância de 5% o valor de  $Z\alpha/2$  é 1,96. Os valores positivos de  $Z$  indicam tendências crescentes, enquanto que os valores negativos indicam tendências decrescentes.

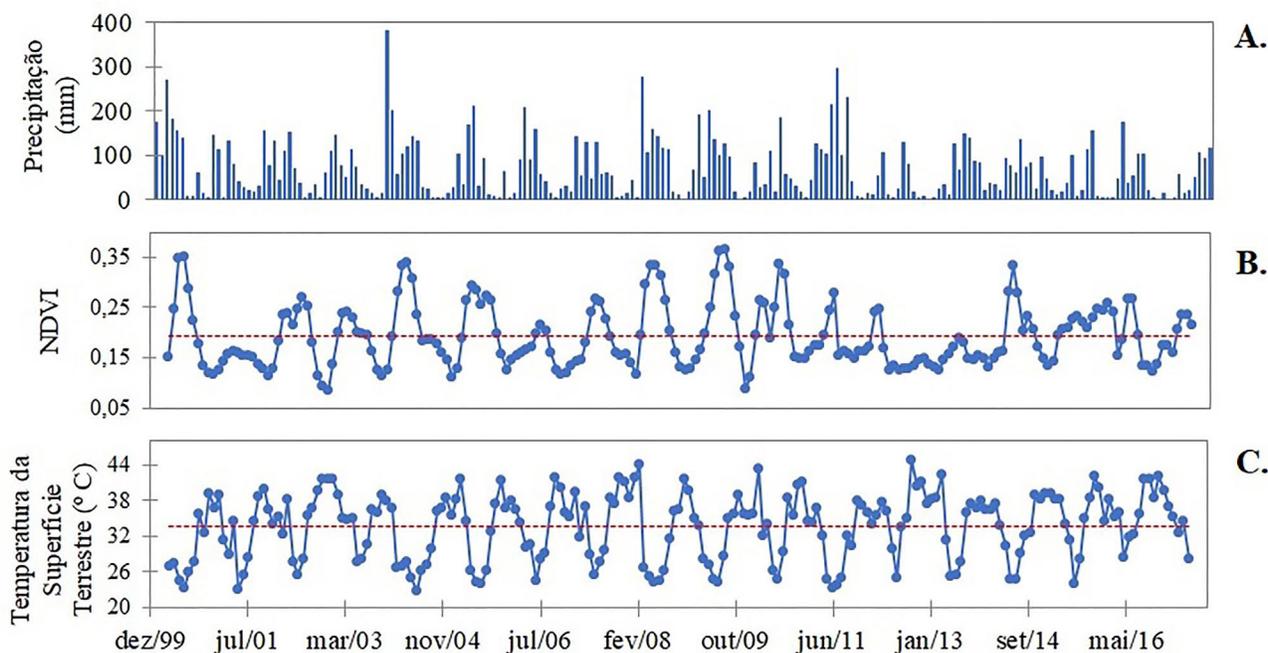
### 3. Resultados e Discussão

#### 3.1. Variabilidade temporal de variáveis biofísicas

A sazonalidade é verificada como padrão característico nas assinaturas temporais mensais das variáveis biofísicas para área CD, de abril de 2000 a junho de 2017 (Fig. 2). Todavia não foram verificados padrões de quebra estrutural nas séries temporais em análise, apenas para PCP (Fig. 2a) verificou-se tendência significativa de decaimento dos acumulados mensais ( $p < 0,05$ ). As mudanças são caracterizadas através da amplitude e da média da precipitação.

Os valores mensais da precipitação variam entre 0 e 380 mm, com média de 67 mm. Anualmente, os valores de 1259, 425 e 782 mm caracterizam respectivamente, o máximo, mínimo e a média da precipitação na área de Caatinga degradada, do período de 16 anos com registros completos, apenas 7 anos apresentam valores acima da média.

A variabilidade do NDVI na CD (Fig. 2b) demonstrou relação positiva com a precipitação e negativa com a TST (Fig. 2c), explicada pela alternância entre estações secas e chuvosas no semiárido do NEB. De acordo com os estudos de Marengo e Bernasconi (2015), Marengo *et al.*



**Figura 2** - Variabilidade temporal da precipitação (a), NDVI (b) e temperatura da superfície terrestre (c) para área de Caatinga Degradada de abril de 2000 a junho de 2017.

(2017) e Marengo *et al.* (2018), o recorte temporal de 2012-2016 foi verificado como o período seco mais severo de todos os tempos registrado no semiárido brasileiro. De modo geral, foram obtidos valores médio, máximo e mínimo de 0,19, 0,36 e 0,08, respectivamente.

Os perfis anuais de TST (Fig. 2c) apresentaram um comportamento inverso aos perfis de NDVI e precipitação. Observa-se um aumento não significativo ( $p > 0,05$ ) no período de 2000-2017. Os registros mais intensos da TST (44 °C) estão associados aos meses com menores acumulados de precipitação e redução no NDVI (setembro-janeiro), ou seja, a redução de umidade e a diminuição do dossel vegetativo resultam no aumento da incidência da radiação sobre a superfície, corroborando com Silva *et al.* (2014), para o semiárido do estado de Pernambuco, e Araújo *et al.* (2017) para o NEB.

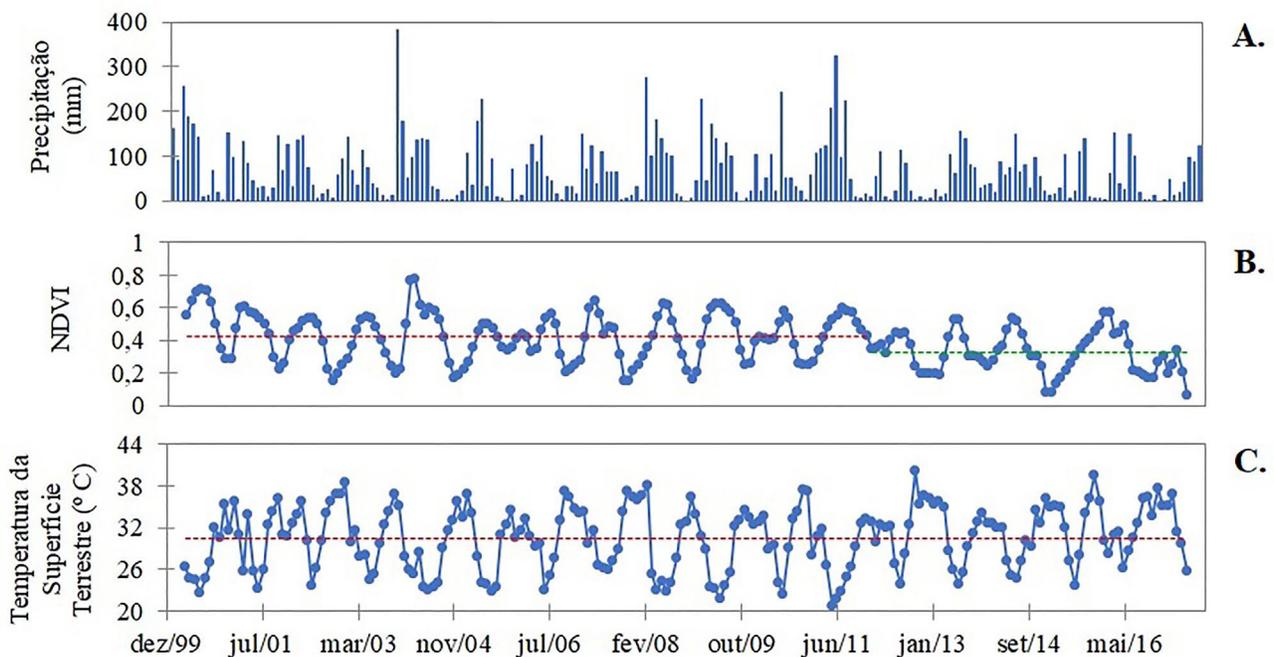
O comportamento da série temporal de precipitação para CR (Fig. 3a) é similar ao da CD (Fig. 2a), dada a proximidade dos pixels do TRMM na obtenção dos valores da precipitação. Também foi verificado na CR a tendência não significativa ( $p > 0,05$ ) de redução dos acumulados de PCP a partir do teste MK.

Diferentemente da área CD, o NDVI da CR (Fig. 3b) apresentou quebra estrutural na série a partir de dezembro de 2011, o que resulta na mudança significativa nos registros médios e no padrão de estacionariedade. Os valores médios antes da quebra ( $M1 = 0,428$ ) e depois ( $M2 = 0,323$ ) mostram uma redução de 25%, que pode

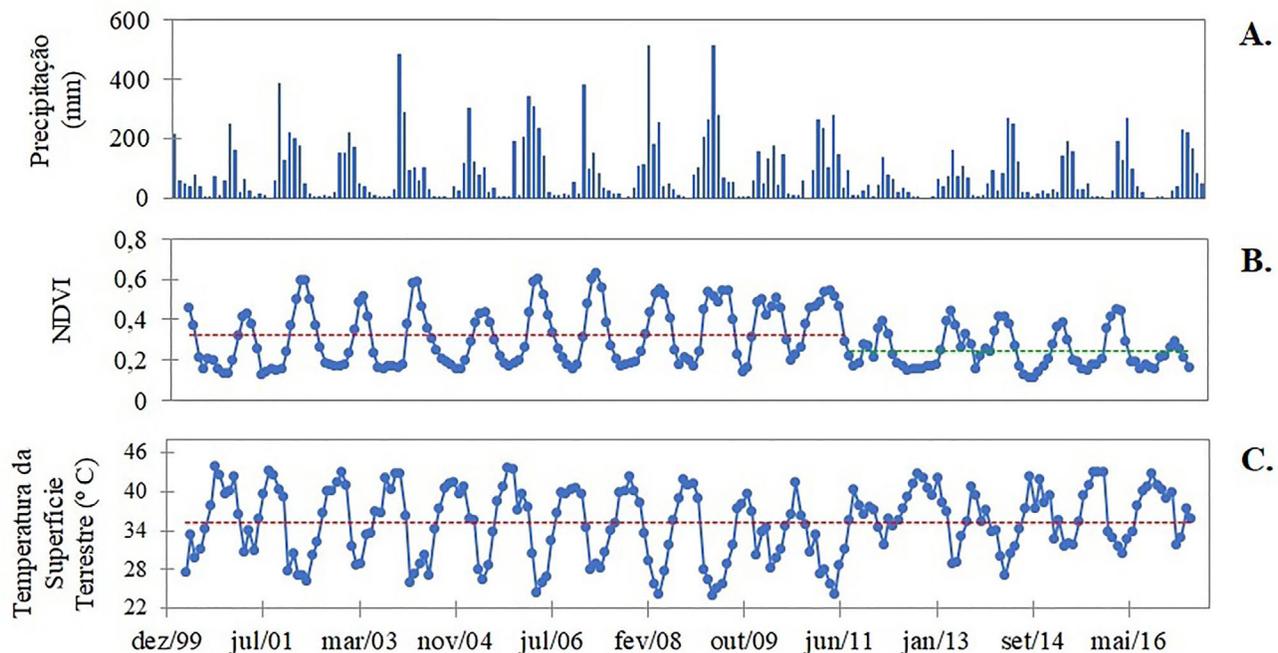
estar associada ao padrão de seca no período de 2012-2016 (Marengo *et al.*, 2017).

Foi verificado um pico de NDVI em 2012, decaindo lentamente nos anos seguintes, com outro pico em 2016. A resposta do NDVI pode ser observada, como mencionado anteriormente, com uma quebra estrutural no final de 2011, quando o comportamento sazonal foi diferente dos anos anteriores e os valores máximos de NDVI na estação chuvosa foram inferior a metade do pico, geralmente, observado em anos normais. O pico de NDVI atingiu 0,78 entre fevereiro e abril de 2004, enquanto em anos normais os valores médios variam próximo a 0,6. No período de 2012-2016, não ultrapassou o valor médio de 0,34, corroborando com Ferreira *et al.* (2017).

Detectar padrões de sazonalidade tem sido uma das principais tendências nas aplicações do sensoriamento remoto em florestas secas no NEB, especialmente quando associados aos estudos de variáveis climáticas. Estudos sobre o padrão sazonal de cobertura vegetativa são realizados na tentativa de entender os impactos das mudanças climáticas no crescimento da vegetação. Verifica-se, assim, a partir dos dados TRMM para a CP (Fig. 4a) associado aos valores de NDVI (Fig. 4b) que, com o início da estação chuvosa (fevereiro-março), ocorre o rápido incremento dos valores da fração vegetação, enquanto que, com o final do período chuvoso (maio-junho), há um retardo entre o final da estação chuvosa e o decréscimo dos valores da fração vegetativa.



**Figura 3** - Variabilidade temporal da precipitação (a), NDVI (b) e temperatura da superfície terrestre (c) para área de Caatinga em Recuperação de abril de 2000 a junho de 2017.



**Figura 4** - Variabilidade temporal da precipitação (a), NDVI (b) e temperatura da superfície terrestre (c) para área de Caatinga Preservada de abril de 2000 a junho de 2017.

Os valores de precipitação mensal estimados pelo TRMM, durante o período chuvoso, atingiram o máximo de 512 mm. Em média, durante este período, os valores de precipitação ficam em torno de 81 mm e, nos meses de seca, situam-se próximos de 0 mm. Os acumulados anuais máximos foram de 1592 mm (2009) e mínimos de 391 mm (2012), o valor médio anual foi de 968 mm, apenas 7 anos da série (2001-2016) apresentaram valores acima da média.

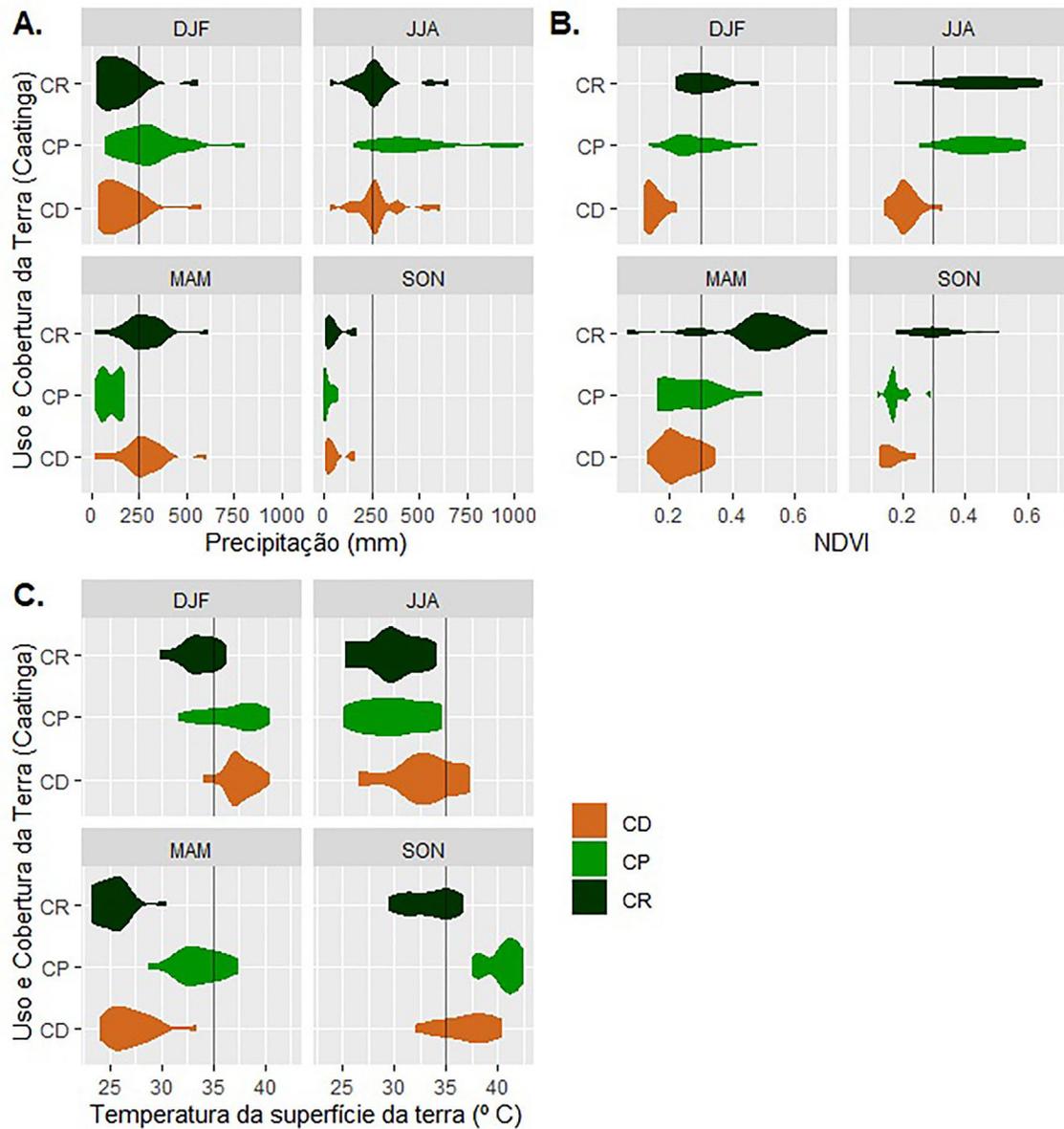
A fração de vegetação durante o período chuvoso atingiu valores superiores a 0,6, o que corresponde a uma cobertura de 80% de vegetação nos pixels analisados. Durante a época seca este valor chega a ficar abaixo de 0,2, o que indica baixa atividade fotossintética e resalta as características fenológicas do bioma caatinga. A partir da série temporal do NDVI, verificou-se que a fenologia da vegetação foi afetada pela dinâmica climática, particularmente precipitação e/ou TST (Fig. 4c) no período de 2012-2016, o que foi ratificado ( $p < 0,05$ ) pelo teste de Pettitt (quebra-estrutural). A quebra foi verificada em agosto de 2011, em que a média era de 0,325 (M1) e passou para 0,243 (M2), a redução de 25% do NDVI apresenta, também, uma tendência negativa, porém não significativa ( $p > 0,05$ ) indicada pelo teste MK.

De modo geral, quando se analisa em conjuntos as séries temporais das variáveis biofísicas para CD, CR e CP verifica-se a redução significativa do NDVI para CR e CP a partir do final do ano de 2011. Tal comportamento não foi observado na CD, possivelmente pelo padrão de cober-

tura na região, em que a vegetação rasteira é predominante durante a época chuvosa e sua ausência verificada no restante do ano, sendo a alternância nessa cobertura presente no período de estudo.

A variabilidade temporal da precipitação nas áreas de Caatinga (Fig. 5a) seguem o mesmo regime do semi-árido do NEB cuja média anual é de 300 a 1000 mm, na CD (778 mm), CR (771 mm) e CP (933), sendo concentrada, principalmente, em um período de 3 a 4 meses (durante o verão e outono) (DJF e MAM), seguido por uma estação seca prolongada de 8 a 9 meses (entre o inverno e primavera) (JJA e SON) (Pagoto *et al.*, 2015; Oliveira *et al.*, 2017). A sazonalidade da PCP (Fig. 5a) está presente ao longo do ano, e a similaridade entre as áreas é verificada apenas na primavera (SON) em que os acumulados para CD, CR e CP são inferiores aos 250 mm. Nas áreas CD e CR o período chuvoso é caracterizado entre o outono-inverno (MAM-JJA) representando mais de 70% (563 e 559 mm) do esperado para o ano inteiro. A CP apresenta dois padrões mais significativo de precipitação, o primeiro associado ao verão (DJF) em que os acumulados representam 33,4% (312 mm) do total anual e o segundo no outono (MAM) representando 52,8% (493 mm).

A verificação sazonal da flutuação dos valores do NDVI (Fig. 5b) permitiu dividir o comportamento das fitofisionomias de Caatinga (CD, CR e CP) em duas fases anuais, a primeira em que a vegetação se encontra com maior quantidade de biomassa foliar (MAM-JJA), sendo associada ao período chuvoso, correspondendo ao início



**Figura 5** - Variabilidade sazonal da PCP (a), NDVI (b) e TST (c) para o período de abril de 2000 a junho de 2017.

do ano. Na segunda fase, observou-se um declínio da atividade fotossintética evidenciando a perda de biomassa foliar (SON-DJF); período este, associado ao déficit hídrico da região (Fig. 5a). Os valores mínimos de NDVI (0,13) na CD não apresentam grandes variações entre período chuvoso e seco, diferente dos valores máximos e médios no período de (MAM), 0,35 e 0,24, respectivamente. A TST máxima na CD (Fig. 5c) apresenta-se sempre superior aos 37 °C ao longo do ano, com exceção do período de MAM, em que os valores são inferiores ao 34 °C. Assim, observa-se que a cobertura vegetal com estresse hídrico tende a absorver menos radiação solar, o que aumenta sua reflectância na faixa espectral do visível e tende a absorver mais na faixa espectral do infravermel-

ho ocasionando menores valores de NDVI e maiores valores da TST.

Para os valores máximos sazonais (0,49-0,71) e médios sazonais (0,31-0,48) na CR observa-se diferenças que variam, em um mesmo ano, de 30% nos máximos e, 35% nos médios. Na estação chuvosa (MAM), a média dos valores médios para o período em análise é de 0,48 e a média dos valores máximos em 0,71. Já no período seco (SON), os valores médios para o período são de 0,31 e 0,51, para a média e máxima. No tocante da TST para área de CR, verifica-se os menores registros médios no período de MAM (25,4 °C) e os máximos em DJF (33,7 °C).

A amplitude de variação do NDVI para CP (Fig. 5b), é extremamente dependente da época do ano, e apresenta-

se elevada com valores mínimos variando de (0,12-0,29) no período de mais seco (SON) e no período mais úmido (JJA) os valores variam de 0,25 a 0,60. Os valores médios para o NDVI durante o ano oscilam entre (0,18-0,44) e os máximos (0,29-0,60). Na bacia hidrográfica do rio Trussu, região semiárida do Ceará nos anos de 2000 e 2001, Rodrigues *et al.* (2009) encontraram valores de NDVI de 0,003 a 0,20 em período de estiagem; já no período de ocorrência de precipitações variou de 0,003 a 0,76, com predominância de valores na classe de 0,20 a 0,39.

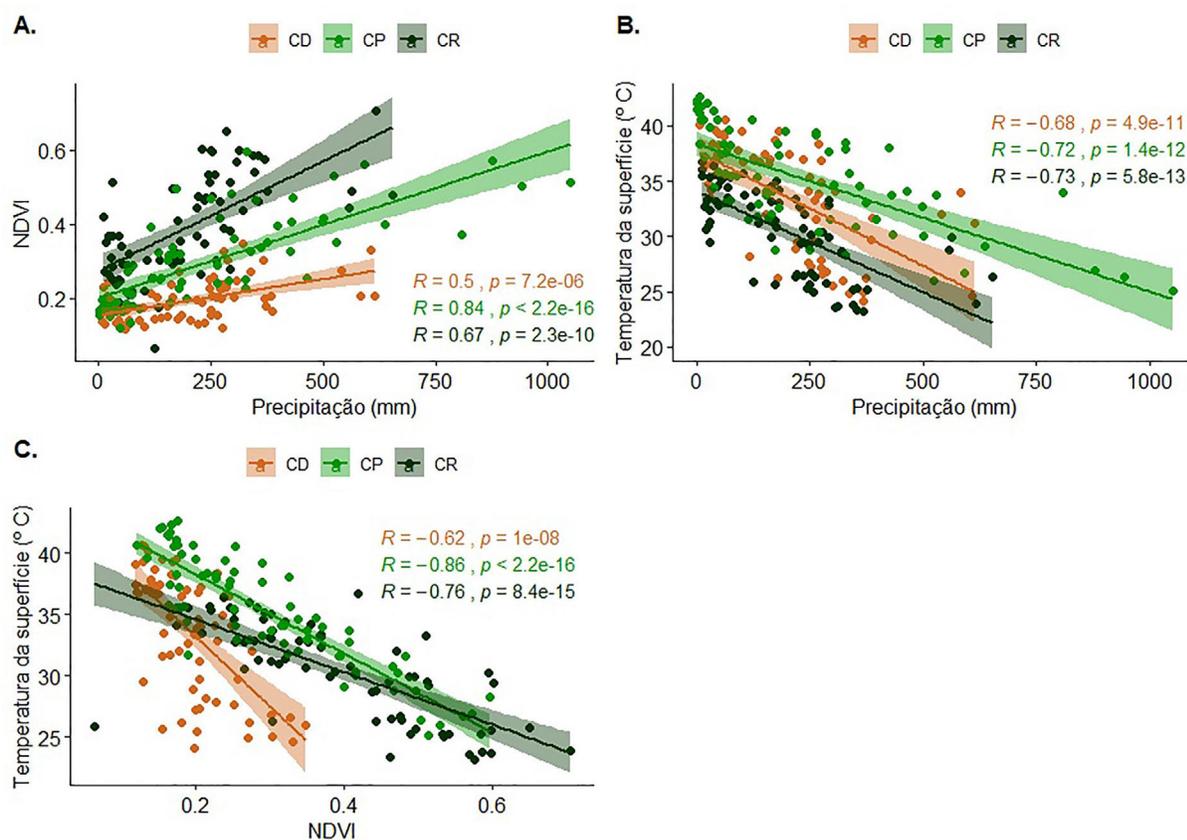
A redução dos valores máximos de TST também é sensível à disponibilidade de umidade e a proporção de cobertura do dossel vegetativo ( $NDVI > 0,4$ ), em contrapartida, a TST atua como um bioindicador de áreas em condições de estresse hídrico (baixa umidade e elevada insolação) e favorecem o agravamento do processo de desertificação. Assim, a partir da Fig. 5c verifica-se o aumento de, aproximadamente, 8 °C entre os períodos de JJA a SON, em que o valor máximo registrado mudou de 34,7 para 42,6 °C, e o médio de 30,0 para 40,6 °C.

De modo geral, o ambiente da CP apresenta um padrão de equilíbrio ambiental, possivelmente pela manutenção e homogeneidade das espécies vegetais. Nesse contexto, Lopes *et al.* (2011) destacam que os valores do

NDVI para vegetação de Caatinga preservada variam em função da área foliar. Logo, podemos inferir que na CR o aumento expressivo na densidade de plantas acontece de forma sazonal com maior heterogeneidade de espécies vegetais, o que explica os maiores valores de NDVI (Fig. 5b).

### 3.2. Modelos de regressão entre as variáveis biofísicas

Os espectros do NDVI correlacionados com a PCP obtidos demonstraram valor de correlação significativo ( $R > 0,8$ ) para a CP. A reta apresenta uma relação diretamente proporcional entre NDVI e a PCP (Fig. 6a), ou seja, as localidades que apresentam maiores valores do índice de vegetação também apresentam maiores acumulados de precipitação pluvial. Cada tipo de cobertura do solo mostra-se agrupado em determinados setores das retas de regressão linear. Desta forma, foi observado diferenciação dos conjuntos dos dados, evidenciando uma estratificação, onde a Caatinga possui os maiores valores de NDVI e maior PCP. As relações entre o NDVI e a PCP apresentaram os menores valores na CD ( $R = 0,5$ ) e um valor intermediário na CR ( $R = 0,67$ ). Para todas as configurações de Caatinga, as relações foram significativas ao nível de 5% ( $p < 0,05$ ). Esses resultados concordam com estudos reali-



**Figura 6** - Relações entre o NDVI e a PCP (A), entre a TST e PCP (B) e entre a TST e o NDVI (C) para o período de abril de 2000 a junho de 2017. R = coeficiente de correlação; p = nível de significância.

zadas com NDVI em diferentes regiões de semiárido brasileiro (Hess *et al.*, 1996; Liu e Juarez, 2001; e Al-Bakri e Suleiman, 2004).

As relações entre os dados de TST e PCP (Fig. 6b) mostraram-se satisfatórias pela significância de seus parâmetros estatísticos ( $p < 0,05$ ). De forma geral, pôde-se identificar que todas as fisionomias vegetais (CD, CR e CP) apresentaram relações inversas entre as variáveis, ou seja, os valores mais altos de TST estão associados aos menores valores de PCP. Na CD, foi encontrado o menor coeficiente de correlação ( $R = -0,68$ ), possivelmente pela grande variabilidade dos acumulados de PCP (Fig. 5a) e maior facilidade de aquecimento das superfícies da área degradada, devido à ausência ou baixa cobertura vegetal. Desta forma, o NDVI pode ser utilizado como parâmetro indicador da dinâmica espaço-temporal de superfícies heterogêneas, ou seja, distintos usos e ocupações do solo, em virtude da sua elevada sensibilidade de detecção envolver radiação visível e infravermelho em superfície (Bezerra *et al.*, 2011).

As séries temporais do NDVI para as áreas de Caatinga (CD, CR e CP) apresentaram comportamentos inerentes aos fatores ambientais, principalmente a TST e a PCP, que, de acordo com Cao *et al.* (2015), estão associados diretamente ao controle do crescimento da vegetação em condições naturais. Os ciclos sazonais são bem mais definidos na TST e resultam em uma influência menos direta, porém mais significativa estatisticamente sobre o NDVI. A variabilidade inerente da PCP sobre o NEB afeta diretamente o crescimento de cultivos e da vegetação natural do semiárido.

#### 4. Considerações Finais

A disponibilidade de dados de satélites com altas resoluções temporais oferece muitas oportunidades para composição de séries temporais de índices biofísicos. A partir das aplicações de teste não-paramétricos as séries temporais de NDVI verificou-se comportamento estacionário no ambiente de Caatinga degradada, e quebras estruturais nas áreas de Caatinga em recuperação e preservada após 2011, possivelmente, pelo padrão de seca (redução dos acumulados médios de precipitação) configurado no período de 2010-2016 sobre o NEB.

Os resultados destacam que os maiores valores médios mensais de NDVI estão presente na Caatinga em recuperação (0,39), provavelmente, pelas características fisionômicas do ambiente e, por estar em recuperação, existir mais árvores em crescimento. Entretanto no sítio da área preservada, são verificados os maiores acumulados anuais de precipitação. Nesse ambiente os efeitos sazonais da precipitação sobre a vegetação são mais presentes, o que pode justificar os maiores registros médios da TST. Na Caatinga degradada, foram verificados os maiores valores da TST, com máximo de 44,8 °C.

Os resultados dos modelos de regressão mostraram relações negativas entre TST e PCP e entre TST e NDVI, com maiores correspondências para áreas recuperada (-0,73) e preservada (-0,86), respectivamente. No entanto, foi obtida relação positiva entre NDVI e PCP em todos os ambientes, com destaque para a área preservada (0,84).

Baseado nos resultados encontrados, podemos evidenciar que os produtos de sensoriamento remoto do sensor MODIS são importantes para o entendimento dos impactos antrópicos e climáticos na dinâmica da vegetação de Caatinga.

#### Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa concedida à primeira autora e pelo financiamento do Projeto de Pesquisa intitulado “Análise e Previsão dos Fenômenos Hidrometeorológicos Intensos do Leste do Nordeste Brasileiro” - Edital Pró-Alertas n° 24/2014 (Processo n°. 88887.091737/2014-01). Os autores agradecem, ainda, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento dos Projetos de Pesquisa sob números 446172/2015-4 e 409499/2018-8, como também a Bolsa de Produtividade em Pesquisa (Processo n°. 304493/2019-8).

#### Referências

- AL-BAKRI, J.T.; SULEIMAN, A.S. NDVI response to rainfall in different ecological zones in Jordan. **International Journal of Remote Sensing**, v. 25, n. 19, p. 3897-3912, 2004.
- ALTHOFF, T.D.; MENEZES, R.S.C.; CARVALHO, A.L.; PINTO, A.S.; SANTIAGO, G.A.C. F.; OMETTO, J.P.H.B.; VON RANDOW, C.; SAMPAIO, E.V.S.B. Climate change impacts on the sustainability of the firewood harvest and vegetation and soil carbon stocks in a tropical forest in Santa Teresinha Municipality, Northeast Brazil. **For. Ecol. Manag.**, v. 360, p. 367-375, 2016.
- ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONCALVES, J.L.M.; SPAROVEK, G. Koppen's climate classification map for Brazil. **Meteorol. Z.**, v. 22, n. 6, p. 711-728, 2014.
- ARAÚJO, A.L.; SILVA, M.T.; SILVA, B.B.; SANTOS, C.A.C.; AMORIM, M.R.B. Modelagem Simplificada Para Estimativa do Balanço de Energia à Superfície em Escala Regional (R-SSEB). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 32, n. 3, p. 433-446, 2017.
- ARAÚJO, A.L.; SILVA, M.T.; SILVA, B.B.; SANTOS, C.A.C.; DANTAS, M.P. Análise das mudanças de parâmetros biofísicos sobre o Nordeste Brasileiro de 2002 a 2011 com dados modis. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, n. 4, p. 589-599, 2018.

- ATAIDE, G.M.; CASTRO, R.V.O.; CORREIA, C.G.; CASTRO, A.F.M.N.; SANTANA, R.C. Cobertura retrátil no crescimento de mudas clonais de eucalipto. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 3, p. 750-757, 2011.
- BEZERRA, J.M.; MOURA, G.B.D.A.; SILVA, B.B.; LOPES, P.M.; SILVA, Ê.F.D.F. Parâmetros biofísicos obtidos por sensoriamento remoto em região semiárida do estado do Rio Grande do Norte, Brasil. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 1, p. 73-84, 2014.
- CAO, R.; CHEN, J.; SHEND, M.; TANGA, Y. Um método logístico aprimorado para detectar a fenologia da vegetação de primavera em pastagens a partir de dados de séries temporais do MODIS EVI. **Meteorologia Agrícola e Florestal**, v. 200, p. 9-20, 2015.
- CUNHA, A.P.M.; ALVALÁ, R.C.; NOBRE, C.A.; CARVALHO, M.A. Monitoring Vegetative Drought Dynamics in The Brazilian Semiarid Region. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 214-215, p. 494-505, 2015.
- DELGADO, R.C.; SEDIYAMA, G.C.; COSTA, M.H.; SOARES, V.P.; ANDRADE, R.G. Classificação espectral de área plantada com a cultura da cana-de-açúcar por meio da árvore de decisão. **Revista de Engenharia Agrícola**, v. 32, n. 2, p. 369-380, 2012.
- DUBREUIL, V.; FANTE, K.P.; PLANCHON, O.; SANT'ANNA NETO, J.L. Climate change evidence in Brazil from Köppen's climate annual types frequency. **International Journal of Climatology**, v. 39, n. 3, p. 1446-1456, 2019.
- FERREIRA, T.R.; DI PACE, F.T.; DA SILVA, B.B.; DELGADO, J.R. Identification of desertification-sensitive areas in the Brazilian Northeast through vegetation indices. **Engineering Agriculturae Jaboaticabal**, v. 37, n. 6, p. 1190-1202, 2017.
- FOLEY, J.A. Global consequences of land use. **Science**, v. 309, p. 570-574, 2005.
- FRANCISCO, P.R.M.; MEDEIROS, R.M.; SANTOS, D.; MATOS, R.M. Classificação climática de Köppen e Thornthwaite para o estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, n. 4, p. 1006-1016, 2015.
- HESS, T.; STEPHENS, W.; THOMAS, G. Modelling NDVI from decadal rainfall data in the North East arid zone of Nigeria. **Journal of Environmental Management**, v. 48, n. 3, p. 249-261, 1996.
- HUANG, J.; MINGXIA, J.; XIE, Y.; WANG, S.; YONGLI, H.; RAN, J. Global Semi-Arid Climate Change Over Last 60 Years. **Climate Dynamics**, v. 46, n. 3-4, p. 1131-1150, 2016.
- HUFFMAN, G.J.; ADLER, R.F.; BOLVIN, D.T.; GU, G.; NELKIN, E.J.; BOWMAN, K. The TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis (TMPA): Quasi-global, multi-year, combined-sensor precipitation estimates at fine scales. **J. Hydrometeorol**, v. 8, n. 1, p. 38-55, 2007.
- KENDALL, M. **Rank Correlation Measures**. Charles Griffin: London, p. 220, 1975.
- LIU, W.T.; JUAREZ, R.N. ENSO drought Prediction of Northeast Brazil using NDVI. **International Journal of Remote Sensing**, v. 22, n. 17, p. 3483-3501, 2001.
- LIU, WILLIAM TSE HORNG. **Aplicações de Sensoriamento Remoto**. 2 edição. São Paulo: Oficina de Textos, 2015.
- LIU, Y.; SHINTARO, G.; ZHUANG, D.; KUANG, W. Urban surface heat fluxes infrared remote sensing inversion and their relationship with land use types. **Journal of Geographical Sciences**, v. 22, n. 4, p. 699-715, 2012.
- LOPES, H.L.; ACCIOLY, L.J.O.; DA SILVA, F.H.B.B.; SOBRAL, M.C.M.; ARAÚJO FILHO, J.C.; CANDEIAS, A.L.B. Espacialização da umidade do solo por meio da temperatura da superfície e índice de vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 9, p. 973-980, 2011.
- MANN H. Nonparametric tests against trend. **Econometrica**, v. 13, n. 3, p. 245-259, 1945.
- MARENGO, J.A.; TORRES, R.R.; ALVES, L.M. Drought in Northeast Brazil-past, present, and future. **Theor. and Appl. Climatol.**, v. 129, n. 3-4, p. 1189-1200, 2017.
- MARENGO, J.A.; ALVES, L.M.; ALVALÁ, R.C.S.; CUNHA, A.P.; BRITO, S.; MORAES, O.L.L. Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region. **An. Acad. Bras. Cienc.**, v. 90, n. 2, p. 1973-1985, 2018.
- MARENGO, J.A.; BERNASCONI, M. Regional differences in aridity / drought conditions over Northeast Brazil: present state and future projections. **Clim. Chang.**, v. 129, n. 1-1, p. 103-115, 2015.
- MARIANO, D.A.; SANTOS, C.A.C.; WARDLOW, B.D.; ANDERSON, M.C.; SCHILTMAYER, A.V.; TADESSE, T.; SVOBODA, M.D. Use of remote sensing indicators to assess effects of drought and human-induced land degradation on ecosystem health in Northeastern Brazil. **Remote Sens. Environ.**, v. 213, p. 129-143, 2018.
- MENDES, K.R.; GRANJA, J.A.A.; OMETTO, J.P.; ANTONINO, A.C.D.; MENEZES, R.S.C.; PEREIRA, E.C.; POMPELLI, M.F. Croton blanchetianus modulates its morphophysiological responses to tolerate drought in a tropical dry forest. **Funct. Plant Biol.**, v. 44, n. 10, p. 1039-1051, 2017.
- MENEZES, S.J.M.C.; SEIYAMA, G.C.; SOARES, V.P.; GLERIANI, J.M.; ANDRADE, R.G. Estimativa dos componentes do balanço de energia e da evapotranspiração em plantios de eucalipto utilizando o algoritmo sebal e imagem landsat 5 - TM. **Árvore**, v. 35, n. 3, p.649-657, 2011.
- MILITINO, A.F.; UGARTE, M.D.; UNAI, P.G. Stochastic Spatio-Temporal Models for Analysing NDVI Distribution of GIMMS NDVI3g Images. **Remote Sensing**, v. 9, n. 76, p. 1-17, 2017.
- MOHAN, M. Climate change: evaluation of ecological restoration of delhi ridge using remote sensing and GIS technologies. **International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 33, p. 886-894, 2000.
- MOURA, F.B.P.; MENDES MALHADO, A.C.; LADLE, R.J. Nursing the caatinga back to health. **Journal Arid Environment**, v. 90, p. 67-68, 2013.
- MUNIZ, R.A.; VETTORAZZI, C.A.; MARTORANO, L.G.; DIAS, C.T.S.; LISBOA, L.S.S. Dinâmica espaço-temporal da temperatura de superfície, extraída do TM/Landsat, na bacia do Corumbataí, SP. **Energia na Agricultura**, v. 31, n. 2, p. 169-177, 2016.
- MUTTI, P.R.; SILVA, L.L.; MEDEIROS, S.D.S.; DUBREUIL, V.; MENDES, K.R.; MARQUES, T.V.; LÚCIO, P.S.;

- SANTOS, C.M.; SILVA, E.; BEZERRA, B.G. Basin Scale Rainfall-Evapotranspiration Dynamics in a Tropical Semi-arid Environment during Dry and Wet Years. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 75, p. 29-43, 2019.
- NIMER, E. Desertificação: Realidade ou mito? **Revista Brasileira de Geografia**, v. 50, n. 1, p. 7-40, 1988.
- OKIN, G.S.; DONG, C.; WILLIS, K.S.; GILLESPIE, T.W.; MACDONALD, G.M. The Impact of Drought on Native Southern California Vegetation: Remote Sensing Analysis Using MODIS-Derived Time Series. **Journal of Geophysical Research: Biogeosciences**, v. 123, n. 6, p. 1927-1939, 2018.
- OLIVEIRA, P.T.; SANTOS E SILVA, C.M.; LIMA, K.C. Climatology and trend analysis of extreme precipitation in sub-regions of Northeast Brazil. **Theor. Appl. Climatol.**, v. 130, n. 1-2, p. 77-90, 2017.
- PAGOTO, M.A.; ROIG, F.A.; RIBEIRO, A.S.; LISI, C.S. Influence of regional rainfall and Atlantic sea surface temperature on tree-ring growth of *Poincianella pyramidalis*, semiarid forest from Brazil. **Dendrochronologia**, v. 35, n. 1, p. 14-23, 2015.
- PETTITT, A.N. A Non-Parametric Approach to the Change-Point Problem. **Applied Statistics**, v. 28, n. 2, p. 126-135, 1979.
- RAMOS, R.R.D.; LOPES, H.L.; MELO JÚNIOR, J.C.F.; CANDEIAS, A.L.B.; SIQUEIRA FILHO, J.A. Aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) na avaliação de áreas degradadas e potenciais para unidades de conservação. In: **Anais III Simpósio de Brasileiro de Ciência Geodésicas e Tecnologias da Informação**. Recife, 2010.
- RODRIGUES, J.O.; ANDRADE, E.; TEIXEIRA, A.S.; SILVA, B.B. Sazonalidade de variáveis biofísicas em regiões semi-áridas pelo emprego do sensoriamento remoto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 29, n. 3, p. 452-465, 2009.
- ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: **Proc. 3rd ERTS Symposium**, p. 309-317, 1973.
- SANTOS, C.A.C.; MARIANO, D.A.; NASCIMENTO, F.C.A.; DANTAS, F.R.C.; OLIVEIRA, G.; SILVA, M.T.; SILVA, L.L.; SILVA, B.B.; BEZERRA, B.G.; SAFA, B.; MEDEIROS, S.S.; NEALE, C.M.U. Spatio-temporal patterns of energy exchange and evapotranspiration during an intense drought for drylands in Brazil. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 85, p. 101982, 2020.
- SHIRATSUCHI, L.S.; BRANDÃO, Z.N.; VICENTE, L.E.; VICTORIA, D.D.C.; DUCATI, J.R.; OLIVEIRA, R.P.; VILELA, M.D.F. Sensoriamento remoto: conceitos básicos e aplicações na agricultura de precisão. In: **Agricultura De Precisão: Um Novo Olhar**. São Carlos: Embrapa Instrumentação, p. 307-313, 2014.
- SILVA, M.T.; SILVA, V.P.R.; SOUZA, E.P.; ARAÚJO, A.L. Aplicação do modelo SWAT na estimativa da vazão na bacia hidrográfica do submédio rio São Francisco. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 8, n. 6, p. 1615-1627, 2015.
- SILVA, M.T.; SILVA, V.P.R.; SILVA, M.M.M.A.; SILVA, H.C.D.; OLIVEIRA, N.F. Space time variability of surface temperature in the semi-arid Pernambuco based image TM / Landsat. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, v. 4, n. 4, p. 111-120, 2014.
- SILVA, V.P.R.; SILVA, M.T.; SOUZA, E.P. Influence of land use change on sediment yield: a case study of the sub-middle of the São Francisco river basin. **Engenharia Agrícola**, v. 36, n. 6, p. 1005-1015, 2016.
- SILVA, V.P.R.; SILVA, M.T.; BRAGA, C.C.; SINGH, V.P.; SOUZA, E.P.; SOUSA, F.A.S.; HOLANDA, R.M.; ALMEIDA, R.S.R. AND BRAGA, A.C.R. Simulation of stream flow and hydrological response to land-cover changes in a tropical river basin. **Catena**, v. 162, p. 166-176, 2018.
- SOUSA, S.B.; FERREIRA JÚNIOR, L.G. Relação entre temperatura de superfície terrestre, índices espectrais e classes de cobertura da terra no município de Goiânia (GO). **Raega - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 26, n. 1, p. 75-99, 2012.
- TAVARES-DAMASCENO, J.P.; SILVEIRA, J.L.G.S.; CAMARA, T.; STEDILE, P.C.; MACARIO, P.; TOLEDO-LIMA, G.S.; PICHORIM, M. Effect of drought on demography of pileated finch (*Coryphospingus pileatus*: Thraupidae) in northeastern Brazil. **J. Arid Environ.**, v. 147, p. 63-70, 2017.
- TOMASELLA, J.; VIEIRA, R.M.S.P.; BARBOSA, A.A.; RODRIGUEZ, D.A.; SANTANA, M.O.; SESTINI, M.F. Desertification trends in the Northeast of Brazil over the period 2000-2016. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 73, p. 197-206, 2018.
- WANG, J.; SUN, T.; ANMIN, F.; HAO, X.; WANG, X. Optimization of the time series NDVI-rainfall relationship using linear mixed-effects modeling for the anti-desertification area in the Beijing and Tianjin sandstorm source region. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 132, p. 1291-1301, 2018.