

TENDÊNCIAS DE NDVI NOS NÚCLEOS DE DESERTIFICAÇÃO DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO NO PERÍODO 2000-2018

Pedro Rodrigues Mutti⁽¹⁾ e Bergson Guedes Bezerra⁽¹⁾

¹Grupo de Estudos Observacionais e de Modelagem da Interação Biosfera-Atmosfera (GEOMA), Programa de Pós-Graduação em Ciências Climáticas, Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN), Natal-RN, Brasil. pedromutti@gmail.com e bergson.bezerra@gmail.com

Resumo: A degradação de ambientes naturais semiáridos associada à vulnerabilidade climática a que estão sujeitas estas regiões incorre em graves problemas econômicos, sociais e ambientais. No Brasil, os principais núcleos de desertificação estão localizados na região do Semiárido Brasileiro, onde o clima e a ação antrópica têm uma função chave no controle dos processos de desertificação. Neste sentido, técnicas de análise de parâmetros obtidos por sensoriamento remoto, como o Índice de Vegetação por Diferenças Normalizadas (NDVI), são amplamente utilizados com intuito de monitorar e prever o comportamento da superfície vegetada em regiões suscetíveis a desertificação. Portanto, o objetivo deste trabalho foi de verificar tendências em séries temporais de NDVI nos núcleos de desertificação do Semiárido Brasileiro. Uma tendência de decréscimo geral no NDVI foi encontrada nos núcleos, sendo que alguns pontos notáveis foram identificados com tendências de magnitude muito elevada. No núcleo de Gilbués foram identificadas tendências negativas associadas à expansão de áreas agrícolas e no núcleo de Cabrobró observou-se o avanço das obras de transposição do Rio São Francisco e a expansão de distritos irrigados. Em Gilbués também se identificaram tendências positivas de NDVI na região do Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba.

Palavras-chave: Séries temporais. Caatinga. Cerrado. Sensoriamento Remoto. Vulnerabilidade.

Introdução

A desertificação pode ser definida como a degradação ou alteração indesejada em regiões secas (principalmente áridas e semiáridas) seja por ação antrópica ou decorrente da variabilidade climática natural (JIANG; LIAN; QIN, 2014). O processo da desertificação tem uma importância ainda maior em terras secas de regiões socioeconomicamente vulneráveis, onde a combinação da baixa fertilidade típica de solos áridos com a dependência da população dos escassos recursos existentes se manifesta como uma pressão adicional ao já frágil ecossistema e as próprias condições de pobreza local (MARIANO et al., 2018).

Os principais núcleos de desertificação do Brasil estão localizados na região do Semiárido Brasileiro, inserida em sua quase totalidade na região Nordeste do país, onde o clima tem uma função chave no controle dos processos de desertificação. Nessa região, projeções climáticas indicam justamente para uma intensificação da variabilidade interanual de precipitação, causando redução nos volumes precipitados e aumento na aridez (MARENGO; TORRES; ALVES, 2017). Do ponto de vista antrópico, as principais causas responsáveis pela expansão de áreas degradadas no Semiárido Brasileiro são: desmatamento para exploração de depósitos de argila e produção de lenha, condições rudimentares de manejo de solo para agricultura, salinização do solo, pecuária extensiva (TOMASELLA et al., 2018).

Nesse sentido, a utilização de dados de sensoriamento remoto se mostra como uma das principais ferramentas para o acompanhamento da evolução do estado vegetativo em dada região, especialmente aqueles com alta resolução temporal como os provenientes do sensor Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS). Dentre as informações obtidas por sensoriamento remoto para o monitoramento do estado biofísico da superfície, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (Normalized Difference Vegetation Index – NDVI) se destaca nas aplicações voltadas a avaliação da desertificação e da degradação (MARIANO et al., 2018; TOMASELLA et al., 2018). De forma prática, o NDVI representa o verdor e a robustez da cobertura vegetal, sendo um indicativo da saúde da vegetação e da sua capacidade fotossintética (TOMASELLA et al., 2018). O objetivo deste trabalho foi de verificar a significância e a magnitude de tendências em séries temporais de NDVI nos núcleos de desertificação do Semiárido Brasileiro.

Metodologia

A área estudada comprime os seis núcleos de desertificação definidos pelo Instituto Nacional do Semiárido (INSA) na região Nordeste do Brasil (Figura 1), estando inseridos nos 1.340.863 km² de áreas suscetíveis à desertificação do Brasil. De acordo com o Sistema de Gestão da Informação e do Conhecimento do Semiárido Brasileiro (SIGSAB – sigsab.insa.gov.br), os seis núcleos são: Cabrobró (CAB), no estado do Pernambuco; Seridó (SER), nos estados do Rio Grande do Norte e da Paraíba; Jaguaribe (JAG), Inhamuns (INH) e Irauçuba (IRA), no estado do Ceará; e Gilbués (GIL) no estado do Piauí. Destes, CAB, JAG, SER, INH e IRA encontram-se totalmente inseridas na região do Semiárido Brasileiro, enquanto GIL encontra-se parcialmente inserido nessa delimitação. Destaca-se que todos os núcleos possuem vegetação predominantemente de Caatinga, salvo GIL que compreende uma região de transição entre o Cerrado e a Caatinga. O regime de precipitações na região dos núcleos CAB, JAG, INH, IRA e SER é marcado pela quadra chuvosa durante os meses de fevereiro a maio, com o estação seca estabelecida nos meses de agosto a novembro. Nessa região os totais pluviométricos anuais variam em torno de 650 mm. Na região onde se encontra o núcleo de GIL, os totais anuais são um pouco maiores, podendo chegar até 810 mm, e o regime de precipitações se caracteriza pela estação chuvosa definida durante o verão austral (de novembro a fevereiro), com inverno seco.

Dados de NDVI foram obtidos por meio do produto MOD13A2 (v006) – *Terra Vegetation Indices*, que apresenta valores para o NDVI e para outros índices de vegetação em períodos de 16 dias, a partir da seleção dos melhores valores nesse período conforme condições de céu limpo e do ângulo de imageamento. Os dados são processados a partir dos dados de reflectância de superfície nos canais do infravermelho próximo e vermelho do produto nível 2 MOD09, sendo fornecidos com uma resolução espacial de 1.000 metros. Estes dados estão disponíveis por meio da plataforma Earth Explorer do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS). Foram utilizadas um total de 425 imagens, compreendendo o período de 18/02/2000 até 28/07/2018.

A significância de tendências lineares de NDVI foi determinada, pixel a pixel, pelo teste não paramétrico de Mann-Kendall O método consiste na comparação de cada valor da série temporal com os valores restantes na ordem sequencial, levando em consideração a contagem de vezes em que os termos faltantes são maiores ou menores que o termo analisado. Tem-se que:

$$S = \sum_{j=1}^{n-1} \sum_{i=j+1}^n \text{ sinal}(N_i - N_j) \quad (1)$$

sendo i e j os anos sequenciais e com o sinal sendo definido como:

$$\text{sinal} = \begin{cases} 1, \text{se}(N_i - N_j) > 0 \\ 0, \text{se}(N_i - N_j) = 0 \\ -1, \text{se}(N_i - N_j) < 0 \end{cases} \quad (2)$$

Além disso, sabe-se que para grupos de dados com $n \geq 8$ o valor da estatística S pode ser aproximado por uma distribuição normal com média igual a 0 e cuja variância pode ser expressa por:

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^n t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad (3)$$

sendo t_i o número de valores iguais encontrados até a amostra i , e finalmente o valor da estatística Z do teste de Mann-Kendall é obtida por:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, \text{se } S > 0 \\ 0, \text{se } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{\text{Var}(S)}}, \text{se } S < 0 \end{cases} \quad (4)$$

O estimador de Theil-Sen, por sua vez, foi calculado como a mediana de todas as inclinações das retas que podem ser ajustadas entre cada par de pontos do grupo de dados de estudo, e representa a magnitude da tendência encontrada em cada pixel.

Resultados e Discussão

A Figura 1 mostra os pixels que apresentaram tendências lineares significativas do NDVI durante o período de 2000 a 2018. Observa-se uma preponderância notável das significâncias ao nível de 1% em todos os núcleos de desertificação. O núcleo de CAB e JAG apresentam praticamente todas as suas áreas com tendências significativas de NDVI. No SER há uma concentração de tendência na porção leste do núcleo, próximo à região do Planalto da Borborema. Em INH as principais tendências se concentram na porção norte da região e em IRA na porção central. Em GIL as tendências apresentam-se de forma mais distribuída por toda a área de estudo.

A Figura 2, por sua vez, identifica as tendências de acordo com a magnitude e o sinal das mesmas. Nos núcleos de IRA, INH e SER os padrões de tendência negativa encontrados podem estar associados principalmente à variabilidade climática natural, principalmente por conta do período de seca extrema recente (2012-2016) que assolou a região Nordeste do Brasil. Naturalmente, com o período de seca no final da série temporal, a vegetação apresentou um comportamento mais próximo do observado na estação seca, com folhagem menos robusta e um menor verdor ao longo do ano, o que contribuiu para uma tendência negativa geral no NDVI de todos os núcleos da ordem de -0,15. Na porção leste de SER e na porção norte de INH as tendências tiveram magnitude mais preponderante da ordem de -0,30, o que provavelmente indica que são regiões mais fragilizadas e mais suscetíveis ao processo de desertificação.

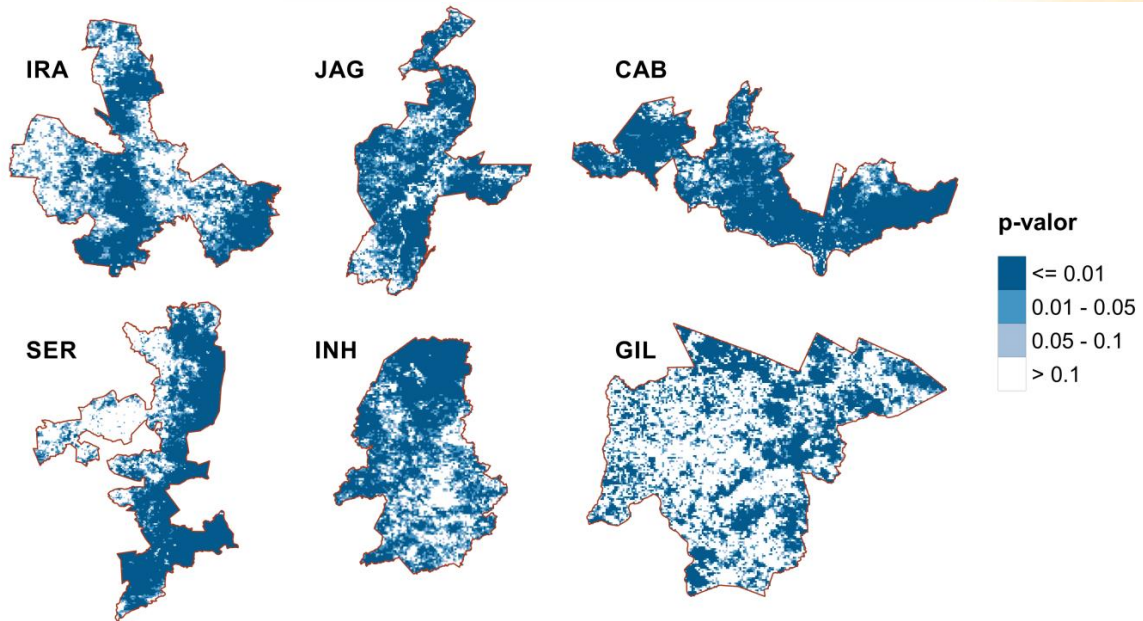


Figura 1. Distribuição da significância das tendências encontradas pelo teste de Mann-Kendall em cada núcleo de desertificação.

No núcleo de JAG existe um ponto notável na região central com uma tendência positiva de NDVI com magnitude superior a 0,30. Essa pequena região que abrange poucos pixels se refere à região dos distritos irrigados de Mandacaru e Xique-Xique, que foram modernizados e reinaugurados respectivamente no período de 2011 a 2013. Com isso, a agricultura irrigada manteve áreas cultivadas durante todo o ano o que permitiu um aumento expressivo no NDVI nessas pequenas parcelas de terra. Em CAB efeito similar pode ser visto na porção sul ao longo da margem do Rio São Francisco, com a expansão de distritos irrigados e de áreas inundadas. Além disso, pode-se observar em CAB alguns trechos das obras de transposição do Rio São Francisco, que incorrem na supressão da vegetação para construção dos canais e consequentemente redução nos níveis médios do NDVI.

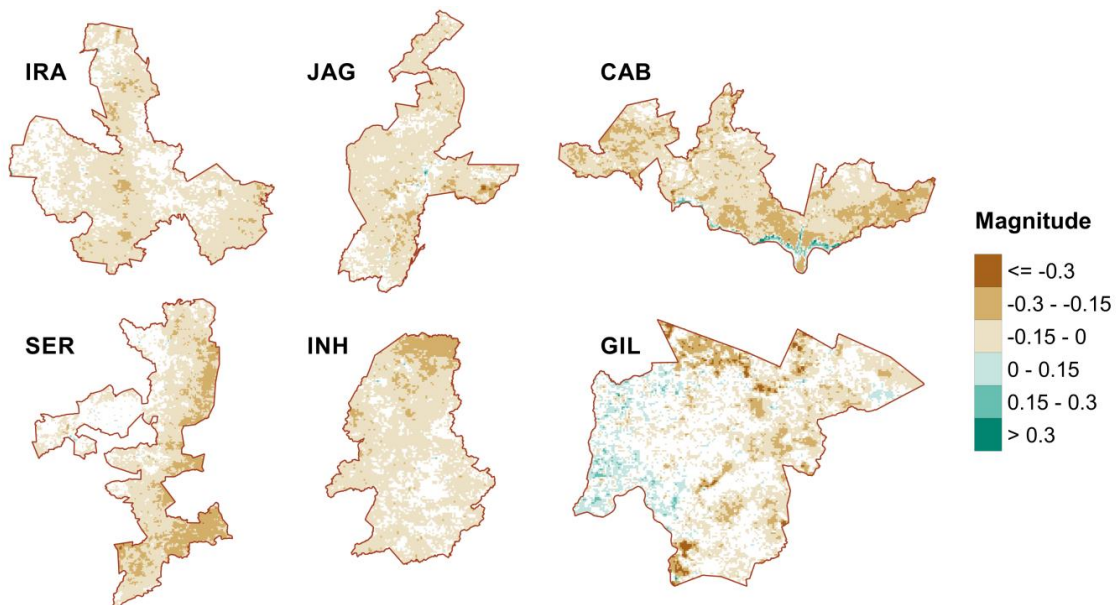


Figura 2. Distribuição da magnitude das tendências encontradas pelo estimador de Theil-Sen em cada núcleo de desertificação.

Em GIL existem dois padrões típicos que podem ser identificados e estão fortemente associados às dinâmicas locais desse núcleo de desertificação. Primeiramente deve-se notar que esse núcleo se encontra no extremo oeste do Semiárido brasileiro, região em que o regime de precipitações não é tão limitante quanto nos interiores dos principais estados da região semiárida. Consequentemente, a maior parte das tendências encontradas não se associa de forma tão marcante com a variabilidade climática interanual. Dessa forma, as principais tendências encontradas podem ser melhores explicadas pela ação e interferência antrópica. Existem tendências de NDVI com magnitudes inferiores a -0,30 na porção norte e sul deste núcleo. Essas são áreas que sabidamente vem sendo degradadas para a expansão de áreas cultiváveis e pastagem. Porém, de forma mais notável existe uma grande dispersão de áreas com tendências positivas na porção oeste de GIL. Essas tendências podem ser explicadas pela criação do Parque Nacional das Nascentes do Rio Parnaíba, em 2005. A análise das tendências de NDVI nessa região permitiu identificar que a demarcação de áreas protegidas contribuiu para a preservação da vegetação local, observando-se um acréscimo no verdor e na robustez da vegetação de acordo com os valores de NDVI analisados.

Conclusões

A análise de séries temporais de dados de NDVI obtidos por sensoriamento remoto mostra-se como uma ferramenta prática e útil para a detecção de mudanças de padrões de uso do solo e do avanço da degradação da vegetação em áreas vulneráveis. Os resultados encontrados mostram a resposta da superfície vegetal do Semiárido às condições climáticas observadas nas últimas décadas, e mostram os possíveis efeitos nos núcleos de desertificação por conta de projeções que indicam para uma intensificação da variabilidade interanual de precipitação, causando redução nos volumes precipitados e aumento na aridez. A análise das tendências em escala espacial também permitiu a identificação de alterações bruscas na paisagem, como o avanço das obras de transposição do Rio São Francisco e o estabelecimento de distritos irrigados. Além disso, pôde-se verificar que medidas de preservação e proteção ambiental, mesmo em regiões com elevado risco de desertificação, podem contribuir para a manutenção da cobertura vegetal e dos ecossistemas.

Referências Bibliográficas

JIANG, Zhongcheng; LIAN, Yanqing; QIN, Xiaoqun. Rocky desertification in Southwest China: Impacts, causes, and restoration. **Earth-Science Reviews**, [s. l.], v. 132, p. 1–12, 2014. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.earscirev.2014.01.005>>. Acesso em: 20 set. 2018.

MARENCO, Jose; TORRES, Roger Rodrigues; ALVES, Lincoln Muniz. Drought in Northeast Brazil—past, present, and future. **Theoretical and Applied Climatology**, [s. l.], v. 129, n. 3–4, p. 1189–1200, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s00704-016-1840-8>>

MARIANO, Denis A. et al. Use of remote sensing indicators to assess effects of drought and human-induced land degradation on ecosystem health in Northeastern Brazil. **Remote Sensing of Environment**, [s. l.], v. 213, n. May, p. 129–143, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.04.048>>

TOMASELLA, Javier et al. Desertification trends in the Northeast of Brazil over the period 2000–2016. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, [s. l.], v. 73, n. August 2017, p. 197–206, 2018. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S030324341830607X>>