

MAPEAMENTO DA VEGETAÇÃO DO BIOMA CAATINGA POR MEIO DE SÉRIES TEMPORAIS MODIS NDVI E ALBEDO, NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO PAJEÚ - PE, BR

Ubiratan Joaquim da Silva Junior

Universidade Federal de Pernambuco
Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Recife, PE, Brasil
ubiratan.joaquim@ufpe.br

Rayane Cavalcanti da Fonseca

Universidade Federal de Pernambuco
Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Recife, PE, Brasil
rayanec.fonseca@outlook.com

Juarez Antonio da Silva Júnior

Universidade Federal de Pernambuco
Pós-Graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Recife, PE, Brasil
juarez.silvajunior@ufpe.br

RESUMO

Florestas sazonalmente secas como a Caatinga são influenciadas diretamente por mudanças pluviométricas. Nesse contexto, o objetivo deste estudo foi analisar o comportamento das mudanças sazonais na vegetação do bioma Caatinga, identificando possíveis alterações no cenário, por meio da sensibilidade espectral do NDVI e do Albedo, considerando uma análise espaço temporal (2015-2019), na Bacia Hidrográfica do Rio Pajeú – PE, Brasil. Para isso, foram utilizados os dados: MOD13Q1 (NDVI) e MOD09A1 (bandas espectrais) do sensor MODIS, a bordo dos satélites Aqua e Terra. O NDVI e o Albedo foram avaliados por meio de cartas-imagens nos períodos: chuvoso e seco. Os resultados obtidos apontaram um comportamento inversamente proporcional entre o albedo e vegetação integrados aos dados de precipitação em ambos os momentos climáticos analisados. No período seco os índices apresentaram os melhores relacionamentos com R^2 variando entre -0,5 a -0,6, correspondendo à dinâmica da precipitação na bacia, entretanto o NDVI se mostrou sensível à dinâmica do microclima da bacia e o albedo mais sensível à resposta de áreas não vegetadas. O uso de dados MODIS para a geração de produtos cartográficos em escala multitemporal mostrou-se um indicador da mudança de uso e ocupação do solo, em florestas sazonalmente secas como a Caatinga.

Palavras-chave: MODIS. NDVI. Albedo. Bacia Hidrográfica do Rio Pajeú.

MAPPING OF CAATINGA BIOME VEGETATION THROUGH NDVI MODIS TIME SERIES AND ALBEDO, IN PAJEÚ RIVER BASIN - PE, BR

ABSTRACT

Seasonally dry forests like Caatinga are directly influenced by rainfall changes. In this context, the objective of this study was to analyze the behavior of seasonal changes in the vegetation of Caatinga biome, identifying possible changes in the scenario, through the spectral sensitivity of NDVI and Albedo, considering a space-time analysis (2015-2019), in Pajeú River Watershed - PE, Brazil. For this, the data from MODIS sensor MOD13Q1 (NDVI) and MOD09A1 (spectral bands) were used, on board of Aqua and Terra satellites. NDVI and Albedo were evaluated by means of map-images in the rainy and dry periods. The results showed an inversely proportional behavior between albedo and vegetation integrated with precipitation data in both climatic periods. In the dry period the indices presented the best relationships with R^2 ranging from -0.5 to -0.6, corresponding to the dynamics of precipitation in the basin, however NDVI was sensitive to the dynamics of the microclimate of the basin and albedo was more sensitive to the response of non-vegetated areas. The use of MODIS data for the generation of multitemporal scale cartographic products proved to be an indicator of land use and land cover change in seasonally dry forests such as the Caatinga.

Keywords: MODIS. NDVI. Albedo. Pajeú River watershed.

INTRODUÇÃO

As florestas armazenam uma grande quantidade de carbono terrestre e fornecem habitat naturais para quase dois terços da biodiversidade da Terra (ZHANG et al., 2019; GILLESPIE et al., 2008). Florestas sazonalmente secas como a Caatinga possuem uma vegetação dinâmica e heterogênea, em função de diferentes padrões de precipitação e solo, além do alto grau de resiliência e apesar de sua suscetibilidade natural (RIBEIRO et al., 2016). Nessas áreas a intensidade verde da cobertura vegetal está diretamente associada à incidência pluviométrica anual (HEIN et al., 2011).

Identificar alterações na cobertura terrestre relacionadas a ações antrópicas é um desafio ao analisar dados relacionados a florestas como a Caatinga (CUNHA et al., 2020; YANG et al., 2016; WESSELS et al., 2007), devido à dificuldade em diferenciar áreas presentes e ausentes de cobertura vegetal (MAYES et al., 2015), em especial nos períodos de baixa incidência pluviométrica, em que a perda de folhagem é característica, e as áreas de cobertura da vegetação sofrem redução espacial. Em florestas como a Caatinga, a vegetação seca possui um nível extremamente baixo de material fotossintético (JACQUES et al., 2014), utilizado como indicador de mudanças na cobertura terrestre (ECKERT et al., 2015) que associado a eventos pós-seca extrema muitas vezes proporciona extrações de conclusões sobre o uso do solo, que não se correlacionam com ações humanas (ZHANG et al., 2014), a exemplo do desmatamento.

Segundo Silva e Sampaio (2008), ao logo dos anos a Caatinga vem sofrendo ações de degradação ambiental devido a incêndios e desmatamentos, que proporcionam a substituição da cobertura vegetal nativa por cultivo com fins agrícolas que, por sua vez, causa a degradação vegetal. Portanto, o monitoramento da dinâmica da cobertura vegetal em regiões semiáridas ao longo dos anos ajuda a entender como a vegetação está respondendo às mudanças climáticas e ações antrópicas (BERRA et al., 2019; PARK et al., 2019; KLOSTERMAN et al., 2017).

Nesse aspecto, os dados de uso e ocupação do solo se beneficiam do Sensoriamento Remoto, por assegurar informações precisas e temporais da cobertura terrestre, com base em técnicas e modelagens como os índices de Vegetação (IVs) e o Albedo. Os IVs derivados de imagens de satélite são utilizados no monitoramento das condições e dinâmicas da vegetação em escalas regionais ou globais (ZHANG et al., 2019; ZENG et al., 2020). Entretanto, Zhao et al. (2018) destacam que, embora tenha toda a capacidade de monitoramento vegetal e de cobertura do solo dos IVs, o albedo tem sido utilizado para avaliar o estado do ecossistema em terras áridas, com a presença de florestas a exemplo da Caatinga. Uma vez que é mais sensível a mudanças na biomassa (RODRÍGUEZ-CABALLERO et al., 2015) e a variações fenológicas sazonais (WANG et al., 2017), além de aumentar conforme os solos ficam mais expostos à luz solar (YU et al., 2017), sendo esta uma característica de áreas desmatadas (LIU et al., 2016). Dados precisos de *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) com alta resolução temporal e espacial são utilizados em aplicações como distúrbios florestais (DE BEURS, 2008) e detecção de fenologia da vegetação (NAGAI et al., 2008).

Os dados do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS), abordo dos satélites TERRA e AQUA, fornecem dados diários da cobertura vegetal terrestre, em uma série ao longo de 20 anos de observações globais desde o ano 2000 (ZHENG et al., 2016). Além disso, o sensor fornece dados do índice de vegetação: NDVI processados e imagens multiespectrais, em uma resolução temporal diária, sob uma precisão espacial moderada de até 250 m. Oliveira et al. (2012) identificaram mudanças na cobertura vegetal na Bacia do Rio Tapacurá – PE, Brasil, com uso de séries NDVI e Albedo derivadas de imagens do sensor MODIS. Meroni et al. (2019) e Hansen et al. (2008) integraram dados MODIS e do satélite *Land Remote Sensing Satellite* (LANDSAT) para monitorar a mudança da cobertura florestal na Bacia do Congo. Em escala local, Yang et al. (2021) utilizaram dados NDVI – MODIS para analisar tendências espaço-temporais dos estágios fenológicos das culturas de milho e soja, em um polígono no estado do *Kentucky*, nos Estados Unidos da América.

A Bacia hidrográfica do Rio Pajeú, localizada no semiárido no estado brasileiro de Pernambuco, possui como vegetação característica de Caatinga, é a maior do estado. Ao longo dos anos, sua cobertura vegetal vem cedendo espaço para práticas agrícolas, processos desordenados de urbanização (FRANÇA et al. 2020; RIBEIRO et al., 2016). Nesse contexto, este trabalho objetiva: (i) Identificar, por

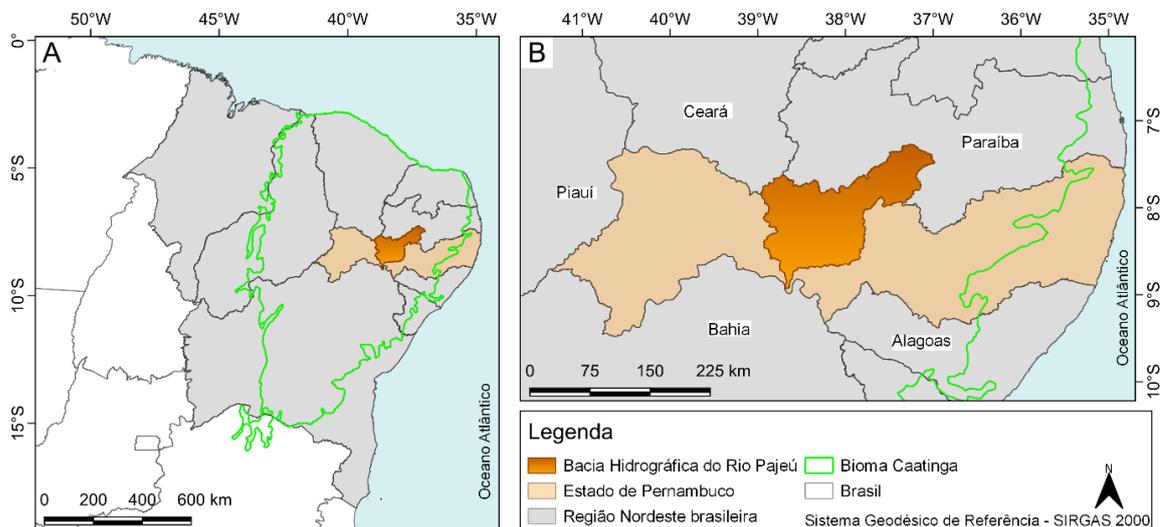
meio de séries temporais NDVI e Albedo (2015-2019) derivadas do sensor MODIS, mudanças na cobertura vegetal da Bacia Hidrográfica do Rio Pajeú – PE, Brasil; (ii) Analisar a relação existente entre a sensibilidade espectral do NDVI e do Albedo com as mudanças sazonais pluviométricas e (iii) Comparar os dados NDVI e Albedo, com verificações realizadas *in situ*.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de Estudo

A Bacia Hidrográfica do Rio Pajeú se localiza no estado de Pernambuco, no nordeste brasileiro, ocupando uma área de aproximadamente 16,97% de solo pernambucano (16.685,63 km²), formada por vinte e sete municípios, entre as coordenadas geográficas: 07° 16' 20" S e 08° 56' 01" S, e 36°59' 00" O e 38°57' 45" O. A Figura 1A apresenta a área de estudo inserida no Bioma Caatinga, bem como a extensão do bioma sobre o Brasil. Na Figura 1B tem-se uma ampliação da área de estudo inserida no Estado de Pernambuco.

Figura 1 - Área de Estudo. (A) – Bacia Hidrográfica do Rio Pajeú inserida no Bioma Caatinga. (B) – Destaque a área de estudo inserida no Estado de Pernambuco.



Fonte - Autores (2021).

O Rio Principal: Pajeú nasce em uma altitude de aproximadamente 800 m, no município de Brejinho, no norte da bacia e percorre até o Rio São Francisco uma distância de 353 km. O relevo varia entre suave, ondulado e íngreme, com declives de 7,5% a 90,7% (FEITOSA; SANTOS; ARAÚJO, 2011). A cobertura vegetal é formada por Caatinga *hiperxerófila*, influenciada por condições climáticas e pedológicas, apresentando três tipos fisionômicos: arbórea, arbóreo-arbustiva e arbustiva (RIBEIRO, 2016; FEITOSA, 2012). O Sertão de Pernambuco é caracterizado pelo clima semiárido, onde os índices pluviométricos anuais são considerados baixos, tanto no lado norte, onde se podem observar maiores altitudes e umidades, como no sul, região mais seca e caracterizada pela planície do rio São Francisco (SALGEIRO e MONTENEGRO, 2008). Na bacia do Pajeú, o clima é predominantemente semiárido com temperatura média mensal de 24°C, apresentando uma evapotranspiração potencial superior a 1.200 mm/ano (RIBEIRO, 2016).

MATERIAL

Dados Orbitais

Neste estudo foram utilizadas séries temporais do produto MOD13Q1 correspondente ao NDVI, e imagens MODIS (MOD09A1), numa resolução espacial (250-500 m) com sete bandas espectrais. O instrumento MODIS a bordo do satélite Terra, com maior resolução espacial em duas bandas relevantes relacionadas à

terra (vermelho visível e infravermelho próximo), foi uma melhoria marcante em relação ao *Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR)* (ZHENG et al., 2020). Para obtenção do cálculo do Albedo da Superfície, adquiridas gratuitamente através do portal eletrônico *The Earth Explore* de domínio da Agência Geológica dos Estados Unidos (USGS), entre 2015 a 2019. A Tabela 1 apresenta as datas de aquisição dos produtos orbitais do sensor MODIS das imagens utilizadas:

Tabela 1 - Datas de aquisição das imagens NDVI-MODIS (MOD13Q1) e MODIS(MOD09a1).

PRODUTO	DATA DE AQUISIÇÃO	PRODUTO	DATA DE AQUISIÇÃO
MOD13Q1	30/04/2015	MOD09A1	30/04/2015
	30/04/2016		30/04/2016
	30/04/2017		30/04/2017
	28/04/2018		28/04/2018
	27/04/2019		27/04/2019
	30/09/2015		30/09/2015
	28/09/2016		28/09/2016
	30/09/2017		30/09/2017
	30/09/2018		30/09/2018
	30/09/2019		30/09/2019

Fonte - USGS (2021).

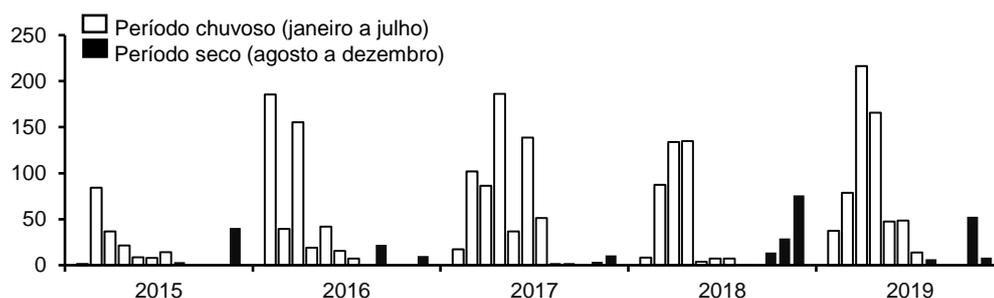
Os dados MODIS têm uma resolução espacial mais baixa do que o Landsat ou o *Système Pour l'Observation de la Terre (SPOT)* e, portanto, são mais apropriados para análises em escala regional. Além disso, os dados MODIS estão disponíveis em uma resolução temporal significativamente maior (~dia), preservando as bandas espectrais disponíveis nos dados Landsat (DE BEURS, 2008). O produto MOD13Q1, gerado em intervalos de 16 dias com resolução espacial de 250 metros, é produzido em unidades retangulares de aproximadamente 1200 por 1200 km, e mapeado em projeção de grade senoidal (BENEDETTI et al., 2013).

A escolha das imagens foi baseada em datas que abrangessem períodos de baixa e alta incidência pluviométrica, nesse aspecto as imagens escolhidas corresponderam aos meses de abril (alta incidência) e setembro (baixa incidência). Além disso, durante a seleção das imagens foram considerados fatores como: ampla cobertura, ausência de nuvens e disponibilidade de compartilhamento dos dados em nuvem.

Dados Hidrológicos

Os dados pluviométricos de média mensal acumulada foram adquiridos a partir da estação de monitoramento de Floresta (397-PCD), fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e extraídos do banco de dados de séries históricas. Esse posto de coleta de dados foi escolhido por ter apresentado uma ausência de falhas na série, compreendendo o período de 2015 até 2019. A Figura 2 apresenta um gráfico com a média pluviométrica mensal na região:

Figura 2 - Dados de precipitação da estação de monitoramento de Floresta (397-PCD).



Fonte - INMET (2021).

Durante a série, a precipitação na bacia apresentou um comportamento coerente com relação ao microclima característico para a região. No período chuvoso, entre os meses de março e abril de 2016 a 2019, tem-se uma precipitação acima dos 90 mm. No período seco, os dados de precipitação se mostraram em sua totalidade abaixo dos 20 mm ao longo da série. Este cenário, compromete diretamente no desenvolvimento sadio da vegetação nesta época do ano. Entretanto, em 2018 e 2019, houve um comportamento diferente em relação aos outros anos, com precipitação acima de 50 mm neste período, valor acima da média registrada para o período de estiagem no semiárido pernambucano. Segundo Soppa et al. (2011), essas anomalias, isto é, a variabilidade anual, podem ser explicadas do ponto de vista da climatologia como estando associados à influência dos eventos *El Niño* e *La Niña*, que influenciam no gradiente inter-hemisférico de anomalias de temperatura da superfície do mar no Oceano Atlântico Tropical, sendo fatores importantes que modulam a precipitação na região Nordeste.

MÉTODOS

Processamento dos dados

Os dados dos produtos MOD13Q1 e MOD09a, derivados do sensor MODIS, a bordo dos satélites Terra (MOD) e Aqua (MYD), foram inicialmente convertidos ao formato *TIFF*, em que foi realizado um recorte para a área de estudo, e, em seguida, georreferenciados ao Sistema Geodésico de Referência SIRGAS 2000. Por fim, o albedo foi processado através do *plug-in i.albedo* do conjunto de dados do complemento *GRASS* pertencente ao *software* de livre acesso *QGIS 3.6.1*. Destaque-se que todo o desenvolvimento metodológico que compreendeu o processamento digital das imagens foi realizado dentro do citado *software*.

NDVI

O NDVI proposto por (ROUSE, 1974) é usado para quantificar o verde da vegetação e é útil para entender a densidade da vegetação e avaliar as mudanças na saúde das plantas. O NDVI é calculado como uma razão (diferença normalizada) entre os valores do vermelho (*red*) e infravermelho próximo (*nir*) da maneira tradicional, como apresentado na Equação 1:

$$NDVI = \frac{\rho_{\lambda_{NIR}} - \rho_{\lambda_{RED}}}{\rho_{\lambda_{NIR}} + \rho_{\lambda_{RED}}} \quad (1)$$

Em que, $\rho_{\lambda_{NIR}}$ representa os valores de reflectância do infravermelho-próximo e $\rho_{\lambda_{RED}}$ os valores de reflectância na região do vermelho. Os valores de NDVI variam de -1 a 1 onde valores próximos a 1 representam vasta presença de vegetação sadia bem como valores próximos ou abaixo de 0 representam coberturas de baixa atividade fotossintética ou não vegetadas.

Albedo

O albedo da superfície de um alvo terrestre é definido como a razão entre os fluxos de radiação solar refletido pelo alvo e o fluxo de radiação solar incidente (OLIVEIRA et al., 2012). Em geral consideram-se no seu cômputo os comprimentos de onda eletromagnética na faixa de 0,3 a 3,0 μm (visível e infravermelho próximo e médio). O albedo varia em função da posição do Sol, estágio de desenvolvimento da vegetação, grau de cobertura do solo, umidade do solo e do ar e grau de cobertura de nuvens (LEITE; BEZERRA; OLIVEIRA, 2019). Constitui um parâmetro importante no estudo de mudanças climáticas, desertificação, queimadas, impactos ambientais e coberturas hídrica e vegetal (JACOB e OLIOSO, 2005; SILVA et al., 2005; Silva et al., 2016). Para a determinação do albedo da superfície (α) (Eq.2), corrigido pelos efeitos atmosféricos, utilizou-se a equação proposta por Tasumi et al. (2008):

$$\alpha_{\text{toa}} = 0,300p_2 + 0,276 p_3 + 0,233p_4 + 0,143p_5 + 0,035p_6 + 0,012p_7 \quad (2)$$

Em que p_1 , p_2 , p_3 , p_4 , p_5 e p_7 são os albedos planetários referentes às faixas espectrais disponíveis do sensor MODIS, correspondente à banda 2 e à banda 7, cobrindo do visível ao infravermelho médio. A

transmissividade atmosférica é definida por Allen et al. (2007) e considerada em dias de céu claro. É ressaltado que o albedo da superfície foi calculado a partir da equação 2, sendo os valores obtidos em função do albedo planetário e da transmissividade atmosférica, os quais podem variar de acordo com as características físico-químicas das superfícies estudadas e com o ângulo zenital, assim como as atividades antrópicas existentes no local.

Os valores da resposta do NDVI e Albedo foram analisados através de representação por carta imagem, identificando mudanças no cenário da paisagem através da variação da distribuição de pixels de NDVI e Albedo na área de estudo ao longo dos anos nos intervalos de alta e baixa incidência pluviométrica.

Validação cartográfica

Um dos fenômenos mais espetaculares da Caatinga é a perda da folhagem da maioria das espécies no período de estiagem e sua exuberante recuperação no período das chuvas (GUIMARÃES, 2009). Esse fenômeno ocorre devido à sensibilidade da vegetação da Caatinga diante da precipitação (BARBOSA et al., 2019). Neste aspecto, foi realizada coleta de dados *in situ*, no município de Carnaubeira da Penha, pertencente à Bacia do Pajeú. As fotografias foram coletadas dia 19/03/2019 (período chuvoso) e 20/11/2019 (período seco) proporcionando uma melhor compreensão dos resultados obtidos através da resposta do NDVI e do Albedo.

Análise estatística

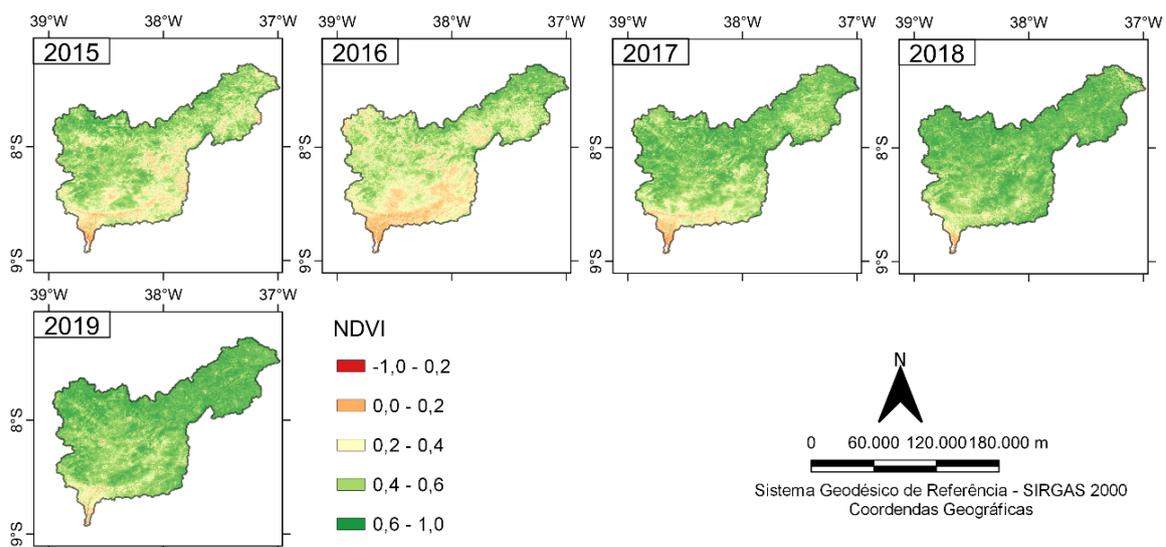
Os resultados derivados da resposta espectral do NDVI e Albedo foram comparados estatisticamente através de gráficos *boxplots* analisando a mediana, intervalo interquartil (IQR), desvio padrão, e por meio da variação do coeficiente de determinação R^2 .

RESULTADOS E DISCUSSÃO

NDVI

Através do uso de imagens MOD13, foi possível o mapeamento da série NDVI temporal nos anos de 2015 e 2019, para o mês no período chuvoso (abril) e período de estiagem (setembro), na Bacia do Rio Pajeú. A Figura 3 apresenta as cartas imagens com a distribuição espacial do NDVI na área de estudo, no período chuvoso.

Figura 3 - Cartas imagens da distribuição espacial do NDVI no período chuvoso.

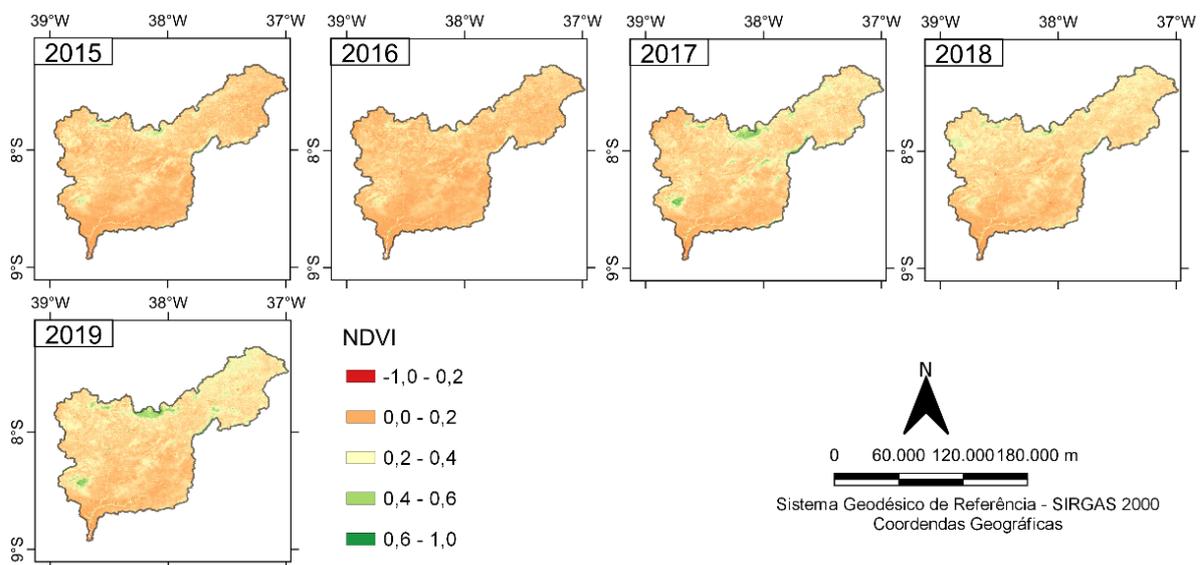


Fonte - Autores (2021).

É observado através das cartas-imagem (Figura 3) que grande parte da área da bacia é coberta por valores de NDVI acima de 0,6, mostrando, assim, boa atividade fotossintética da vegetação no período chuvoso.

Entre 2017 e 2019 houve uma precipitação mensal média superior a 134,8 mm no mês de abril resultando em um aumento de cobertura vegetal na área. A variabilidade climática tem uma forte influência no NDVI em florestas sazonalmente secas, ampliando sua sensibilidade espectral na detecção da cobertura vegetal, afirmam Guan et al. (2015), Walker et al. (2015) e Cunha et al. (2019). Entretanto, entre os anos de 2015 e 2016, houve uma significativa presença de NDVI entre as classes de 0,2 a 0,6, tais valores sendo justificados devido a variações no microclima da bacia ou *pixels* com ruído causado pelas nuvens e sombras. Em alguns trabalhos, Van (1999) utilizou métodos de interpolação para diminuição de perturbações causadas por nuvens em imagens NDVI - MODIS, reduzindo possíveis efeitos de saturação aos resultados. De acordo com Liesenberg; Ponzoni; Galvão (2007), o efeito de maior vigor vegetativo tende a ser maior para formações estépicas florestadas devido ao fluxo mais acelerado de crescimento que ocorre com as espécies da Caatinga. A Figura 4 apresenta as cartas-imagens com a distribuição espacial do NDVI na área de estudo no período seco:

Figura 4 - Cartas imagem da distribuição espacial do NDVI no período seco.



Fonte - Autores (2021).

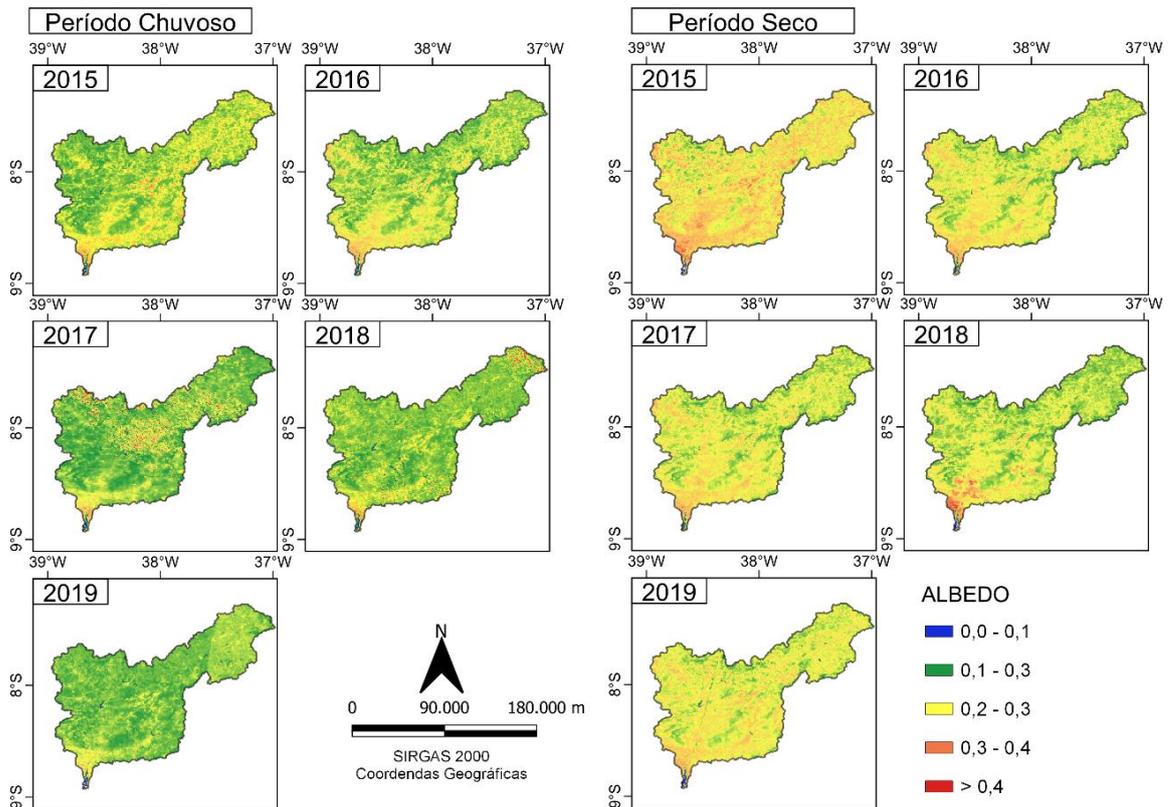
No período seco (Figura 4) os mapas mostram predominância de valores de NDVI abaixo de 0,4, principalmente na parte sul da bacia e pequenas feições de classes acima de 0,6. Neste período, a precipitação média na bacia para o mês de setembro foi inferior a 22,2 mm. Em 2017 e 2019, tem-se uma significativa variação nos valores de NDVI com a presença de *pixels* acima de 0,4. A variabilidade de valores de NDVI no setor sul da bacia no período seco pode estar relacionada, segundo Salgueiro e Montenegro (2008), à precipitação na área uma vez que os valores anuais são inferiores a 500 mm, sendo que, em todo Sertão do São Francisco, os valores médios chegam apenas a 400 mm/ano.

Esses resultados estão de acordo com os encontrados por Ribeiro et al. (2015) que estimaram e detectaram mudanças na vegetação de Caatinga com uso de geotecnologias no Município de Sumé-PB. E também corroboram com Silva Junior et al. (2021), que encontraram valores de NDVI inferiores a 0,37 para a cobertura vegetal do bioma Caatinga na mata ciliar do Reservatório de Serrinha II, localizado na parte central da bacia do Pajeú, no município de Serra Talhada - PE. Segundo os autores, esses valores estavam associados à redução de precipitação na região. Entretanto, os padrões morfológicos da vegetação dependem das condições edafoclimáticas locais, podendo apresentar-se com um porte arbóreo e denso, até um subarbustivo aberto. Com frequência, em áreas mais impactadas, a densidade de plantas lenhosas diminui, predominando gramíneas e cactáceas (CHAVES et al., 2013).

Albedo

Por meio do processamento das imagens MOD09A1, foi possível obter como resultado a resposta da vegetação ao albedo. A Figura 5 apresenta as cartas-imagens com a distribuição espacial de *pixels* de Albedo na área:

Figura 5 - Cartas-imagem da distribuição espacial do Albedo, no período chuvoso e seco.



Fonte - Autores (2021).

Analisando as cartas-imagem presentes na Figura 5, tem-se que os valores obtidos para o albedo da superfície, referente ao período chuvoso, estão concentrados entre os valores de 0,11 e 0,21, indicando a presença de vegetação com boa capacidade fotossintética e área úmida na região, corroborando com a resposta do NDVI para esse período. Esse resultado é decorrente de processos hidrológicos nos meses anteriores à data de aquisição das imagens, que tiveram quadra chuvosa relativamente alta, como consta na Figura 2. Entre fevereiro e março as médias pluviométricas mensais foram superiores a 70 mm, com maior valor da série em março de 2019 (216,4 mm), resultando em uma maior cobertura vegetal e resposta do albedo.

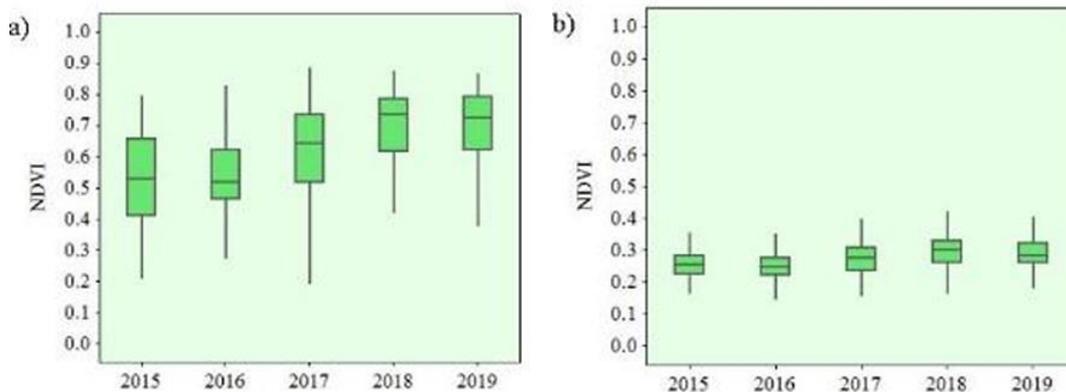
Esses valores associam-se com os resultados encontrados por Cunha et al. (2020) em que o albedo variou em média entre 0,12 e 0,21 em períodos de alta incidência pluviométrica. Em seus estudos em bacias hidrográficas no semiárido, Silva et al. (2005) identificaram que valores de albedo entre 0,09 a 0,12, indicam a presença de áreas irrigadas com fruteiras, sendo designadas as áreas intermediárias aos reservatórios, rios e corpos hídricos como os existentes na área estudada e valores entre 0,11 a 0,16, indicam solos úmidos, também presentes na região.

No período seco, os valores de albedo da superfície concentraram-se em média acima de 0,21, principalmente para o ano de 2015, decorrente da redução da precipitação (0 mm em setembro de 2015), acarretando áreas com pouca vegetação e aumento de solo exposto na bacia. Esses valores correspondem aos resultados descritos por Cunha et al. (2020) em estudos na região semiárida do estado da Paraíba, em que foram encontrados valores de albedo próximos a 0,24, em áreas com pouca vegetação entre 0,33 e 0,39, na presença de solo exposto. Segundo Santos et al. (2012), a ausência de disponibilidade de água em regiões semiáridas influencia diretamente para a formação e manutenção da biomassa foliar. Além disso, Cunha et al. (2012) afirmam em seus resultados que as mudanças no albedo, no período seco na Caatinga, ocorrem devido às diferenças nas propriedades ópticas da folha entre a vegetação natural da caatinga, a agropecuária e a caatinga degradada. Ou seja, os valores mais altos do albedo são decorrentes da conversão da caatinga natural para caatinga degradada, que estão associados à maior área de solo exposto, como é visto nos resultados obtidos pelo NDVI (Figura 4), em que houve uma redução da cobertura vegetal nesse período.

Análises estatísticas

Com a finalidade de compreender a distribuição espacial dos dados de NDVI e Albedo ao longo da área de estudo, foram escolhidos um grupo de 30 amostras de forma aleatória, e, em seguida, foram gerados os gráficos do tipo *boxplot*, em que foi analisada a variação dos valores de mediana para o NDVI e o Albedo nos períodos chuvoso e seco. A Figura 6 apresenta a variação da mediana para o NDVI:

Figura 6 - Gráficos do tipo *boxplot* dos dados do NDVI/MODIS, nos períodos a) chuvoso e b) Seco.



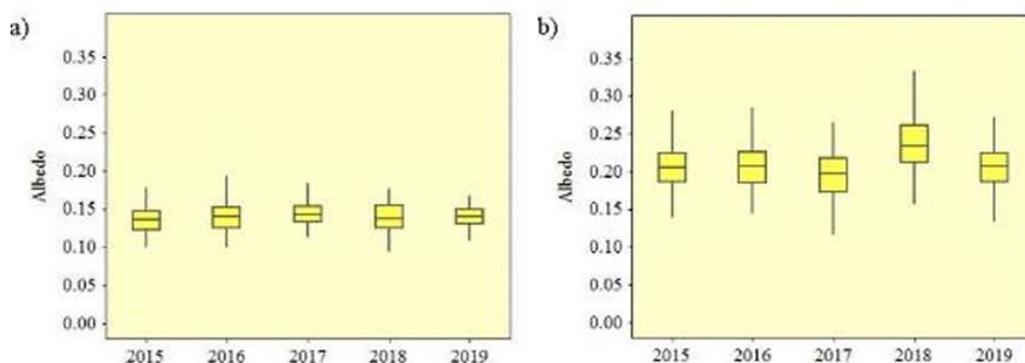
Fonte - Autores (2021).

Para o período chuvoso (Figura 6A) têm-se valores de mediana variando em todos os anos entre 0,53 - 0,73, indicando bom estado da vegetação nessa época do ano, com destaque para os anos de 2018 e 2019, ambos com mediana de 0,73. Entretanto, apresentaram altos valores de desvio padrão (0,13 - 0,15). Em antítese, os anos de 2015 e 2016 apresentaram os menores valores de mediana com 0,53 e 0,52, respectivamente, mesmo com a diminuição da precipitação seguida de meses com chuvas acima dos 100 mm. Os valores significativos de IQR e desvio padrão no produto MOD13 estão relacionados a *pixels* isolados com valores próximos a zero, o que pode ser correspondido a feições referentes aos ruídos e aos recursos hídricos dos reservatórios presentes na bacia.

Para o período seco (Figura 6B) tem-se uma redução nos valores de IQR (0,06 - 0,1) e desvio padrão (0,04 - 0,08). O maior valor da mediana na série foi em 2018 (0,3), devido à presença expressiva de *pixels* com valores superiores a 0,4, resultando em um maior desvio padrão (0,08) e IQR (0,1) da série, apesar de ter baixa incidência de precipitação (7 mm). Os anos de 2015 e 2016, apresentaram o menor valor de mediana (0,25) e IQR (0,06) da série, mostrando, assim, baixo vigor da vegetação sem variações significativas em toda bacia, sendo justificado pela ausência de precipitação registrada para esses anos com volumes de chuvas registrados em 0 mm e 14 mm, respectivamente.

A Figura 7 apresenta a distribuição espacial dos *pixels* de Albedo em representação gráfica por *boxplot*.

Figura 7 - Gráficos do tipo *boxplot* dos dados do Albedo, nos períodos a) chuvoso e b) Seco.

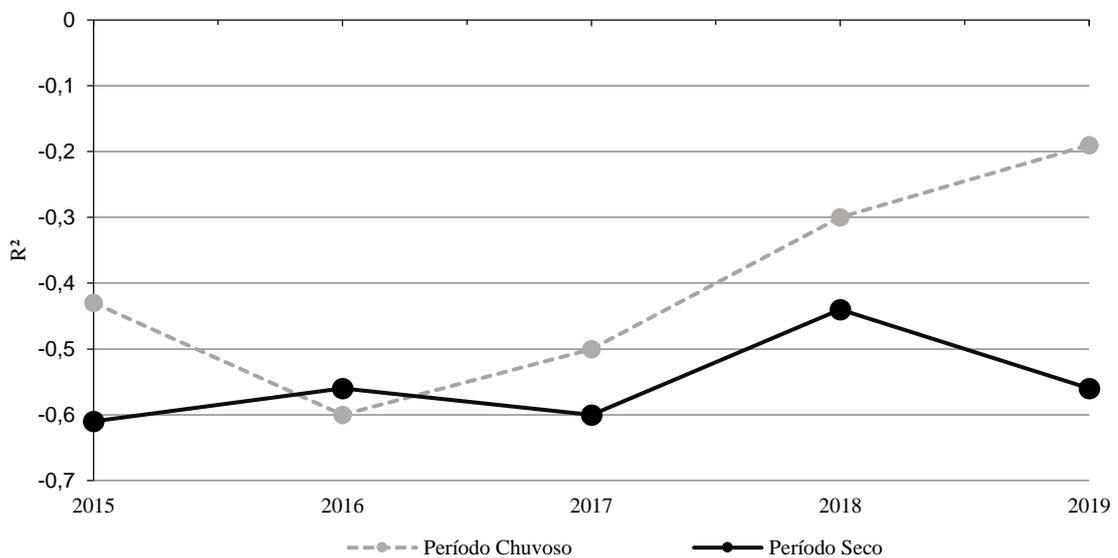


Fonte - Autores (2021).

No gráfico *boxplot* (Figura 7A), para o período chuvoso analisado, é visto uma estabilização de valores de albedo com valor de mediana em 0,14 e intervalo interquartil variando entre 0,02 a 0,03. Entretanto, no ano de 2016, foi encontrada uma mediana de 0,2, justificada pela alta precipitação registrada nos meses anteriores ao mês de abril. No período seco (Figura 7B) houve variações de mediana entre 0,2 a 0,23, com maior valor registrado em 2018, corroborando com a baixa precipitação registrada nesse mês (0 mm). Os anos de 2016, 2017 e 2015 apresentaram valores mais instáveis, com intervalo interquartil de 0,05. Segundo Ideão (2009), a redução da cobertura vegetal também aumenta o valor do albedo sobre circunstâncias específicas. Desse modo, o aumento do albedo indica redução da precipitação local e/ou processos de degradação ambiental, e aumento do uso e ocupação do solo na região.

Com a finalidade de compreender o relacionamento entre o índice NDVI e o Albedo, foi calculado o R^2 para cada ano em análise. A Figura 8 apresenta a representação gráfica do perfil de variação do R^2 para o NDVI e Albedo nos períodos chuvoso e seco:

Figura 8 - Perfil de valores do Coeficiente de Determinação (R^2) entre o NDVI e Albedo.



Fonte - Autores (2021).

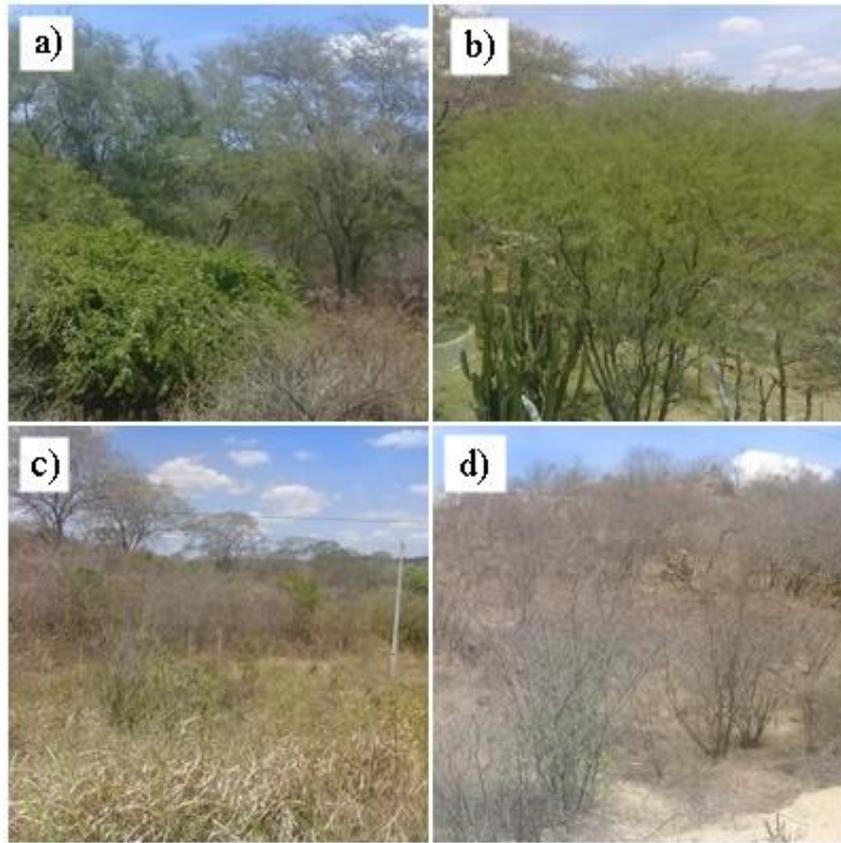
Através da Figura 8, é observado que valores de R^2 foram negativos em todos os anos, mostrando um comportamento inversamente proporcional entre o NDVI e o Albedo. Nesse sentido, no período de estiagem, os maiores valores de Albedo, a exemplo dos anos de 2015 e 2017, correspondente aos menores de volume de chuvas de toda a série 0 mm e 2,2 mm, respectivamente, têm-se os menores de valores de R^2 . A partir de 2016, houve um aumento nos valores de R^2 para o período chuvoso, passando de -0,6, em 2016, para -0,19, em 2019. Porém, em 2015 houve um comportamento singular em relação aos outros anos, com R^2 de -0,43. Esse comportamento retorna a discussão sobre o baixo relacionamento entre o NDVI e o albedo em meio a diferentes índices pluviométricos.

Validação cartográfica

No campo, os alvos foram identificados e a descrição das unidades de observação foram feitas de acordo com a metodologia proposta por Chaves et al. (2013), também utilizada por Oliveira et al. (2012), Guimarães (2009) e Francisco (2012).

A Figura 9 apresenta as imagens obtidas *in situ* do comportamento da vegetação da Caatinga nos períodos chuvoso e seco:

Figura 9 - Registro *in situ* das fitofisionomias e do bioma caatinga: (a e b) Período chuvoso, (c e d) seco.



Fonte - Autores (2021).

Através da Figura 9 é visto que, com a ausência de precipitação no período de baixa incidência pluviométrica na Caatinga, têm-se uma perda de folhagem da vegetação e o surgimento de áreas de solo exposto e que, em contrapartida, no período chuvoso, a vegetação apresenta-se com elevado potencial de fotossíntese, o que amplia a cor verde e há um crescimento de folhagem na vegetação. Essas imagens registradas *in situ* corroboram com a resposta espectral apresentada pelo NDVI (Figura 3 e Figura 4) e Albedo (Figura 5), em que, com o aumento da precipitação na área, houve um crescimento vegetal (NDVI entre 0,6 a 1,0) e, com a redução, um aumento de áreas de solo exposto. Entretanto, é importante ressaltar que o aumento do solo exposto na Bacia também foi ocasionado pelo avanço da agropecuária e dos processos de urbanização no semiárido.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O comportamento da vegetação do Bioma Caatinga na Bacia Hidrográfica do Rio Pajeú, na região semiárida de Pernambuco-BR, por meio de séries temporais de NDVI e Albedo derivadas do sensor MODIS, entre os anos de 2015 a 2019, nos períodos de alta e baixa incidência pluviométrica, foi analisado neste estudo. Os dados foram avaliados a partir da resposta da distribuição dos *pixels* de NDVI e Albedo em Cartas-imagem e estatísticas, em representações gráficas do coeficiente de determinação R^2 . Em que foram extraídas as seguintes conclusões:

Os produtos derivados das imagens MODIS: NDVI e Albedo se mostram eficientes para a caracterização da evolução temporal da biomassa verde da vegetação nativa na bacia do Rio Pajeú, que refletiram adequadamente as interações entre clima/bioma, além de identificar anomalias. Ou seja, áreas com alta densidade de vegetação características da alta precipitação foram identificadas durante a série com uma variação média de *pixels* de NDVI de 0,6. E, para o período de baixa incidência de chuvas, esse valor cai para *pixels* inferiores a 0,2 (valor característico de áreas com baixa cobertura vegetal), não apresentando variações significativas. O albedo, no período seco, apresentou valores superiores a 0,21, devendo a um

possível cenário de mudança das áreas de Caatinga natural para Caatinga degradada, resultado do avanço agrícola na região, corroborando com os resultados apresentados pelo NDVI.

Nesse contexto, a precipitação foi considerada o principal fator determinante na variabilidade do NDVI na Caatinga, com correlação de 57%, na época chuvosa e 54%, na seca. Em que o decréscimo da incidência pluviométrica proporcionou o surgimento de áreas de solo exposto, reduzindo as áreas de vegetação. Esses valores foram validados com os registros *in situ*, em que é visível uma redução de folhagens, em novembro de 2019, e um aumento da atividade fotossintética, em março de 2019, em que a precipitação média mensal foi de 216,4 mm (maior valor da série para o período chuvoso).

Contudo, é possível afirmar com os resultados que, apesar da presença de ações antrópicas como o avanço agrícola no semiárido, que podem proporcionar mudanças nas rotinas climáticas, em decorrência da perda de cobertura vegetal, a resposta da vegetação à precipitação é um fator atenuante para estudos de uso e cobertura do solo nessas áreas, e índices como o NDVI e o Albedo obtidos através de sensores como o MODIS proporcionam uma identificação dessas mudanças, garantindo informações confiáveis e gratuitas em escala temporal, tendo em vista que o levantamento em campo possui restrições para grandes áreas e, muitas vezes, demandam tempo e recursos financeiros elevados.

REFERÊNCIAS

- BARBOSA, H. A.; LAKSHMI KUMAR, T. V.; PAREDES, F.; ELLIOTT, S.; AYUGA, J. G. Assessment of Caatinga response to drought using Meteosat-SEVIRI Normalized Difference Vegetation Index (2008–2016). **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 148, n. January, p. 235–252, 2019. <http://dx.doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2018.12.014>
- BERRA, E. F.; GAULTON, R.; BARR, S. Assessing spring phenology of a temperate woodland: a multiscale comparison of ground, unmanned aerial vehicle and landsat satellite observations. **Remote Sensing Of Environment**, [S.L.], v. 223, p. 229-242, 2019. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2019.01.010>.
- CHAVES, I. DE B.; FRANCISCO, P. R. M.; LIMA, E. R. V. DE; SILVA, B. B. DA; BRANDAO, Z. N.; CHAVES, L. H. G. **Índices espectrais, diagnóstico da vegetação e da degradação da Caatinga da Bacia do Rio Taperoá-PB**. Embrapa Algodão. 2013. Disponível em < <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/977328/indices-espectrais-diagnostico-da-vegetacao-e-da-degradacao-da-caatinga-da-bacia-do-rio-taperoa-pb> >. Acesso em: 05 de maio de 2021.
- CUNHA, J.; NÓBREGA, R. L.B.; RUFINO, I.; ERASMI, S.; GALVÃO, C.; VALENTE, F. Surface albedo as a proxy for land-cover clearing in seasonally dry forests: evidence from the brazilian caatinga. **Remote Sensing Of Environment**, [S.L.], v. 238, p. 111250-111350, mar. 2020. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2019.111250>.
- CUNHA, A. M. P. A.; ALVALÁ, S. C. R.; OLIVEIRA, S. G.; Impactos das mudanças de cobertura vegetal nos processos de superfície na região semiárida do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.28, n.2, 139 - 152, 2013. <https://doi.org/10.1590/S0102-77862013000200003>
- CUNHA, A. P. M.; ALVALÁ, R. C.; NOBRE, C. A.; CARVALHO, M. A. Monitoring vegetative drought dynamics in the Brazilian semi-arid region. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 214–215, p. 494–505, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2015.09.010>
- CUNHA, J.; NÓBREGA, R. L.B.; RUFINO, I.; ERASMI, S.; GALVÃO, C.; VALENTE, F. Surface albedo as a proxy for land-cover clearing in seasonally dry forests: evidence from the brazilian caatinga. **Remote Sensing Of Environment**, [S.L.], v. 238, p. 111250, 2020. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2019.111250>.
- DEBEURS, K; TOWNSEND, P. Estimating the effect of gypsy moth defoliation using MODIS. **Remote Sensing Of Environment**, [S.L.], v. 112, n. 10, p. 3983-3990, 15 out. 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2008.07.008>.
- ECKERT, S.; HÜSLER, F.; LINIGER, H.; HODEL, E. Trend analysis of MODIS NDVI time series for detecting land degradation and regeneration in Mongolia. **Journal Of Arid Environments**, [S.L.], v. 113, p. 16-28, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaridenv.2014.09.001>.
- FEITOSA, A.; Zoneamento de pequenas Bacias Hidrográficas e caracterização de varzeas na Bacia do Rio Pajeú, Pernambuco. **Tese**. (Doutorado em Geografia) – Recife: UFPE, 2012.
- FEITOSA, A.; SANTOS, B. O.; ARAÚJO, M. S. B. de. Caracterização Morfométrica e identificação de Áreas Suscetíveis a Erosão na Bacia do Rio Pajeú, PE: o estudo de caso da bacia do rio pajeú/pe

(morphometric characterization and identification of areas susceptible to erosion on the Pajeú river watershed).

Revista Brasileira de Geografia Física, [S.L.], v. 4, n. 4, p. 820, 2012.

<http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v4i4.232740>.

FRANCISCO, P.R.M.; CHAVES, I.B.; LIMA, V.E.R.; BANDEIRA, M.M.; SILVA, B.B. Mapeamento da Caatinga com uso de geotecnologia e análise da umidade antecedente em bacia hidrográfica, **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 5, p. 676-693, 2012.

<https://doi.org/10.26848/rbgf.v5i3.232864>

GUIMARÃES, A. P. Dinâmica da resposta espectral da vegetação de caatinga na bacia hidrográfica do açude Soledade, utilizando técnicas de sensoriamento remoto. **Dissertação** (Mestrado).- Areia: Universidade Federal da Paraíba. 2009.

GUAN, K.; PAN, M.; LI, H.; WOLF, A.; WU, J.; MEDVIGY, D.; CAYLOR, K. K.; SHEFFIELD, J.; WOOD, E. F.; MALHI, Y. Photosynthetic seasonality of global tropical forests constrained by hydroclimate. **Nature Geoscience**, [S.L.], v. 8, n. 4, p. 284-289, 2015.

<https://doi.org/10.1038/ngeo2382>

HEIN, L.; RIDDER, N. de; HIERNAUX, P.; LEEMANS, R.; WIT, A. de; SCHAEPMAN, M.. Desertification in the Sahel: towards better accounting for ecosystem dynamics in the interpretation of remote sensing images. **Journal Of Arid Environments**, [S.L.], v. 75, n. 11, p. 1164-1172, 2011.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.jaridenv.2011.05.002>.

IDEIÃO, S. M. A. Imagens multiespectrais e aplicações em recursos hídricos: temperatura da superfície e balanços de radiação e energia. 2009. 156 f. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Civil) Campina Grande – Universidade Federal de Campina Grande, 2009.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de Dados meteorológicos**. 2021. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/servicos/bdmep-dados-hist%C3%B3ricos>, Acesso em: 05 de maio de 2021.

JACQUES, D. C.; KERGOAT, L.; HIERNAUX, P.; MOUGIN, E.; DEFOURNY, P. Monitoring dry vegetation masses in semi-arid areas with MODIS SWIR bands. **Remote Sensing Of Environment**, [S.L.], v. 153, p. 40-49, 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2014.07.027>.

KLOSTERMAN, S.; RICHARDSON, A. Observing Spring and Fall Phenology in a Deciduous Forest with Aerial Drone Imagery. **Sensors**, [S.L.], v. 17, n. 12, p. 2852, 2017. <http://dx.doi.org/10.3390/s17122852>.

LEITE, S. C. A.; BEZERRA, A. U.; OLIVEIRA, M. M. L. Comportamento do Albedo e NDVI no Núcleo de Desertificação de Gilbués – Piauí (Brasil), usando imagens do Satélite Landsat. **Revista Brasileira de Meio Ambiente**, v.7, n.2. p.019-028, 201.

LIESENBERG, V.; PONZONI, F. J.; GALVAO, L. S. Análise da dinâmica sazonal e separabilidade espectral de algumas fitofisionomias do cerrado com índices de vegetação dos sensores MODIS/TERRA e AQUA. **Rev. Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 2, p. 295-305, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622007000200012>

LIU, J.; SHAO, Q.; YAN, X.; FAN, J.; ZHAN, J.; DENG, X.; KUANG, W.; HUANG, L. The climatic impacts of land use and land cover change compared among countries. **Journal Of Geographical Sciences**, [S.L.], v. 26, n. 7, p. 889-903, 2016. <http://dx.doi.org/10.1007/s11442-016-1305-0>.

MAYES, M. T.; MUSTARD, J. F.; MELILLO, J. M.. Forest cover change in Miombo Woodlands: modeling land cover of african dry tropical forests with linear spectral mixture analysis. **Remote Sensing Of Environment**, [S.L.], v. 165, p. 203-215, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2015.05.006>.

MERONI, M.; FASBENDER, D.; REMBOLD, F.; ATZBERGER, C.; KLISCH, A. Near real-time vegetation anomaly detection with MODIS NDVI: timeliness vs. accuracy and effect of anomaly computation options. **Remote Sensing Of Environment**, [S.L.], v. 221, p. 508-521, 2019. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2018.11.041>.

MORTON, D. C.; DEFRIES, R. S.; SHIMABUKURO, Y. E.; ANDERSON, L. O.; ESPÍRITO-SANTO, F. D. B.; HANSEN, M. & CARROLL, M. Rapid Assessment of Annual Deforestation in the Brazilian Amazon Using MODIS Data. **Earth Interactions**, v.9, n.8, p.1-23, 2005. <https://doi.org/10.1175/EI139.1>

NAGAI, S.; SAITOH, T. M.; SUZUKI, Rikie; NASAHARA, K. N.; LEE, W.; SON, Y.; MURAOKA, H. The necessity and availability of noise-free daily satellite-observed NDVI during rapid phenological

- changes in terrestrial ecosystems in East Asia. **Forest Science And Technology**, [S.L.], v. 7, n. 4, p. 174-183, 2011. <http://dx.doi.org/10.1080/21580103.2011.643388>.
- OLIVEIRA, L. M. M. de; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ANTONINO, A. C. D.; SILVA, B. B.; MACHADO, C. C. C.; GALVÍNCIO, J. D. Análise quantitativa de parâmetros biofísicos de bacia hidrográfica obtidos por sensoriamento remoto. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 47, n. 9, p.1209-1217, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2012000900005>
- PARK, J. Y.; MULLER-LANDAU, H. C.; LICHSTEIN, J. W.; RIFAI, S. W.; DANDOIS, J. P.; BOHLMAN, S. A..Quantifying Leaf Phenology of Individual Trees and Species in a Tropical Forest Using Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Images. **Remote Sensing**, [S.L.], v. 11, n. 13, p. 1534, 2019. <http://dx.doi.org/10.3390/rs11131534>.
- RIBEIRO, G.N.; FRANCISCO, P.R.M.; MORAES, J.M. Detecção de mudança de vegetação de Caatinga através de geotecnologias. **Revista Verde**, v. 9, n. 5, p. 84-94, 2015.
- RIBEIRO, P. E.; NÓBREGA, S. R.; MOTA FILHO, O. F.; MOREIRA, B. E. Estimativa dos índices de vegetação na detecção de mudanças ambientais na bacia hidrográfica do rio Pajeú. **GeoSul**, v.31, n.62, p.1-34, 2016. DOI. 10.5007/2177-5230.2016v31n62p59.
- RODRÍGUEZ-CABALLERO, E.; KNERR, T.; WEBER, B. Importance of biocrusts in dryland monitoring using spectral indices. **Remote Sensing Of Environment**, [S.L.], v. 170, p. 32-39, 2015. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2015.08.034>.
- ROUSE, J.W, HAAS, R.H., SCHEEL, J.A., AND DEERING, D.W. 'Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS.' **Anais...** In: Proceedings, 3rd Earth Resource Technology Satellite (ERTS) Symposium, vol. 1, p. 48-62, 1974.
- SALGUEIRO, J, H, P, B; MONTENEGRO, S, M, G, L. Análise da distribuição espacial da precipitação na bacia do rio Pajeú em Pernambuco segundo método geoestatístico, **Rev. Tecnol. Fortaleza**, v. 29, n. 2, p.1. SILVA, B. B. da; LOPES, G. M.; AZEVEDO, P.V. de. "Determinação do albedo de áreas irrigadas com base em imagens", *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 13, n. 2, p. 11-21, 2005. 74-185, 2008.
- SILVA, B. B. da; LOPES, G. M.; AZEVEDO, P.V. de. "Determinação do albedo de áreas irrigadas com base em imagens", **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 13, n. 2, p. 11-21, 2005.
- SILVA, G. C.; SAMPAIO, E. V. B. Biomassas de partes aéreas em plantas da caatinga. **Revista Árvore**, [S.L.], v. 32, n. 3, p. 567-575,. 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-67622008000300017>.
- SOPPA, M. A.; SOUZA, R. B.; PEZZI, L. P. Variabilidade das anomalias de temperatura da superfície do mar no oceano atlântico sudoeste e sua relação com o fenômeno El Niño-Oscilação Sul. **Revista Brasileira de Meteorologia**, [S.L.], v. 26, n. 3, p. 375-391, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/s0102-77862011000300005>.
- SILVA JUNIOR, U. J. DA; GONÇALVES, R. M.; OLIVEIRA, L. M. M. DE; SILVA JÚNIOR, J. A. DA. Sensibilidade Espectral dos Índices de Vegetação: GNDVI, NDVI e EVI na Mata Ciliar do Reservatório de Serrinha II – PE, Brasil. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 73, n. 1, p. 17-35, 19 fev. 2021. <https://doi.org/10.14393/rbcv73n1-55252>
- USGS - United States Geological Survey. **The Earth Explorer**. 2021. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 05 de maio de 2021.
- VAN LEEUWEN, W. J. HUETE, A. R., & LAING, T. W. MODIS Vegetation Index Compositing Approach. **Remote Sensing of Environment**, v. 69, n.3, p.264–280, 1999. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(99\)00022-X](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(99)00022-X)
- WALKER, J.; BEURS, K.; WYNNE, R. Phenological Response of an Arizona Dryland Forest to Short-Term Climatic Extremes. **Remote Sensing**, [S.L.], v. 7, n. 8, p. 10832-10855, 2015. <http://dx.doi.org/10.3390/rs70810832>.
- WANG, Z.; ERB, A. M.; SCHAAF, C. B.; SUN, Q.; LIU, Y.; YANG, Y.; SHUAI, Y.; CASEY, K. A.; ROMÁN, M. O.. Early spring post-fire snow albedo dynamics in high latitude boreal forests using Landsat-8 OLI data. **Remote Sensing Of Environment**, [S.L.], v. 185, p. 71-83, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2016.02.059>.

- WESSELS, K.J.; PRINCE, S.D.; MALHERBE, J.; SMALL, J.; FROST, P.e.; VANZYL, D.. Can human-induced land degradation be distinguished from the effects of rainfall variability? A case study in South Africa. **Journal Of Arid Environments**, [S.L.], v. 68, n. 2, p. 271-297, 2007. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaridenv.2006.05.015>.
- YANG, Y.; WANG, Z.; LI, J.; GANG, C.; ZHANG, Y.; ZHANG, Y.; ODEH, I.; QI, Ji. Comparative assessment of grassland degradation dynamics in response to climate variation and human activities in China, Mongolia, Pakistan and Uzbekistan from 2000 to 2013. **Journal Of Arid Environments**, [S.L.], v. 135, p. 164-172, 2016. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaridenv.2016.09.004>.
- YANG, Y.; TAO, B.; LIANG, L.; HUANG, Y.; MATOCHA, C.; LEE, C. D.; SAMA, M.; MASRI, B. E.; REN, W. Detecting Recent Crop Phenology Dynamics in Corn and Soybean Cropping Systems of Kentucky. **Remote Sensing**, [S.L.], v. 13, n. 9, p. 1615, 2021. <http://dx.doi.org/10.3390/rs13091615>.
- YU, Y.; NOTARO, M.; WANG, F.; MAO, J.; SHI, X.; WEI, Y. Observed positive vegetation-rainfall feedbacks in the Sahel dominated by a moisture recycling mechanism. **Nature Communications**, [S.L.], v. 8, n. 1, p. 214-227, 2017. <http://dx.doi.org/10.1038/s41467-017-02021-1>.
- ZENG, L.; WARDLOW, B. D.; XIANG, D.; HU, Shun; LI, D. A review of vegetation phenological metrics extraction using time-series, multispectral satellite data. **Remote Sensing Of Environment**, [S.L.], v. 237, p. 111511-1115602020. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2019.111511>.
- ZHANG, J.; NIU, J.; BAO, T.; BUYANTUYEV, A.; ZHANG, Q.; DONG, J.; ZHANG, X. Human induced dryland degradation in Ordos Plateau, China, revealed by multilevel statistical modeling of normalized difference vegetation index and rainfall time-series. **Journal Of Arid Land**, [S.L.], v. 6, n. 2, p. 219-229, 6 2013. <http://dx.doi.org/10.1007/s40333-013-0203-x>.
- ZHANG, Y.; LING, F.; FOODY, G. M.; GE, Y.; BOYD, D. S.; LI, X.; DU, Y.; ATKINSON, P. M.. Mapping annual forest cover by fusing PALSAR/PALSAR-2 and MODIS NDVI during 2007–2016. **Remote Sensing Of Environment**, [S.L.], v. 224, p. 74-91, 2019. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2019.01.038>.
- ZHAO, Y.; WANG, X.; NOVILLO, C. J.; ARROGANTE-FUNES, P.; VÁZQUEZ-JIMÉNEZ, R.; MAESTRE, F. T..Albedo estimated from remote sensing correlates with ecosystem multifunctionality in global drylands. **Journal Of Arid Environments**, [S.L.], v. 157, p. 116-123, 2018. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jaridenv.2018.05.010>.

Recebido em: 05/05/2021

Aceito para publicação em: 10/11/2021