

Paulo Jerônimo Lucena Oliveira

Mestre, Bacharel e Licenciado em Geografia pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN
paulo.labigeo@ceres.ufrn.br

Carlos Roberto Silva Filho

Licenciado em Geografia pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN
carlos.labigeo@ceres.ufrn.br

Diógenes Félix Silva Costa

Professor adjunto III do Departamento de Geografia no Centro do Ensino Superior do Seridó - CERES/UFRN. Geógrafo com Doutorado em Ecologia, Biodiversidade e Gestão de Ecossistemas (Univers. Aveiro - UA)
dfscosta@ceres.ufrn.br

Utilização de índice espectral na distribuição espacial da Caatinga densa do município de Caicó, Rio Grande do Norte-Brasil

Resumo

Este trabalho objetivou avaliar o padrão atual de distribuição de Caatinga densa, identificando onde estão seus maiores fragmentos, através de procedimentos cartográficos e estatísticos no município de Caicó-RN. A partir de NDVI, gerou-se o mapeamento da cobertura vegetal e, em seguida, delimitou-se três intervalos de cotas altimétricas possibilitando-se traçar um perfil gradual. Os fragmentos de Caatinga densa foram submetidos a ANOVA e teste Tukey, estabelecendo uma significância de $p < 0,05$, identificando se há diferença significativa entre os tamanhos desses fragmentos. Foi realizado um levantamento florístico visando a caracterizar as diferentes cotas amostradas. Como resultado, na cota de menor altimetria obteve-se 5.169,54ha, com a cota média, 2.850,20ha, e 1.753,08ha, para a maior altimetria. Em termos proporcionais com relação à área total de cada cota, foi justamente esta última que apresentou maior área ocupada por vegetação densa. Foi identificada diferença significativa entre esta cota e a primeira, mediante os tamanhos dos fragmentos. No tocante à flora, as espécies mais seletivas estão nas cotas superiores, com exceção das áreas de mata ciliar na menor altimetria onde

predominam espécies generalistas. Neste trabalho foi comprovado estatisticamente que a Caatinga densa encontra-se bastante restrita às margens de corpos hídricos e em maciços, apresentando aumento gradual em termos altimétricos.

Palavras-chave: Análise Espacial, Sensoriamento Remoto, Vegetação, Fitogeografia, Florística.

Abstract

USE OF SPECTRAL INDEX IN THE SPATIAL DISTRIBUTION OF DENSE CAATINGA IN THE MUNICIPALITY OF CAICÓ, RIO GRANDE DO NORTE- BRAZIL

This study aimed to evaluate the current distribution pattern of Caatinga dense by identifying where its largest fragments are through cartographic and statistical procedures in the municipality of Caicó-RN. From NDVI, the mapping of the vegetation cover was generated and, then, three intervals of altimetric dimensions were delimited, making it possible to draw a gradual profile. The fragments of Caatinga densa in the different levels were submitted to ANOVA and Tukey test establishing a significance of 5% ($p < 0.05$), aiming to identify if there is a significant difference between the sizes of these fragments. Finally, with the help of specialized bibliography and field trips, a floristic survey was also carried out to characterize the different levels sampled. As a result, at the lowest elevation level, 5,169.54ha was obtained, with the average elevation, 2,850.20ha and 1,753.08ha for the highest altimetry. In proportional terms in relation to the total area of each quota, it was precisely the latter that presented the largest area occupied by dense vegetation. A significant difference was identified between this level and the first one, due to the sizes of the fragments. With regard to flora, the most selective species are in the upper levels, with the exception of areas of riparian forest at the lowest altimetry where generalist species predominate. In this work, it was statistically proven that the dense Caatinga is very restricted to the margins of water bodies and massifs, presenting a gradual increase in altimetric terms.

Key-words: Spatial Analysis, Remote Sensing, Vegetation, Phytogeography, Floristic.

1. Introdução

O semiárido brasileiro, localizado predominantemente na Região Nordeste do país, abrange o Domínio da Caatinga, a qual é considerada a maior Floresta Tropical Sazonalmente Seca (FTSS) contínua da América do Sul (SILVA et al., 2017), por apresentar uma extensão territorial de 912.000 km² (ALBUQUERQUE et al., 2012; QUEIROZ et al., 2017).

Como características das FTSS, a Caatinga dispõe de plantas que, por seu histórico evolutivo, desenvolveram adaptações para se estabelecerem em ambiente de semiaridez. Como exemplos disso, tem-se o estabelecimento de árvores caducifólias de baixo porte, espinhosas e com microfilia, ou até algumas suculentas, além de um extrato herbáceo sazonal que se estabelece durante os meses de maior precipitação pluviométrica (GRAEFF, 2015). Além disso, em relação aos agentes que modelam sua fisionomia, somou-se também as interferências causadas pelo homem (ALVES; ARAÚJO; NASCIMENTO, 2009).

Assim como em outros domínios fitogeográficos encontrados no país, a Caatinga demonstra fortes sinais de interferência antrópica, o que gera um crescente número de estudos dirigidos a esta temática, como visto em Silva e Barbosa (2017). Estes autores ressaltam o fato da região semiárida brasileira, como descrito por Ab´Saber (1974), ser a mais densamente ocupada pelo homem no planeta, o que reforça a ideia de uma perda gradual da biomassa em função da exploração de seus recursos.

Dentro desse contexto, iniciativas e estratégias por meio de avanços tecnológicos são pensadas para garantir a mitigação dos impactos causados à biodiversidade por parte de sua exploração. Numa perspectiva espacial, o uso de geoprocessamento aparece mundialmente disseminado como importante ferramenta de acesso às informações sobre a distribuição e o estado atual de uma determinada área (AHMADI; NUSRATH, 2010; POENARU et al., 2017; PERSSON; LINDBERG; REESE, 2018; VRIELING et al., 2018).

No que diz respeito à segmentação e à definição de diferentes classes de vegetação para o melhor manejo, a Caatinga densa é encontrada onde estão presentes as Áreas de Preservação Permanente - APP, seja em faixas periféricas de corpos hídricos ou em áreas de encostas serranas acima de 45° de declividade (BRASIL, 2012; SILVA et al., 2015; OLIVEIRA et al., 2019). Em termos complementares, é sabido que a Caatinga apresenta aumento em seus parâmetros estruturais conforme há maiores níveis de declividade e altimetria (COSTA et al., 2009; CARVALHO, 2010). Conseqüentemente, são os locais onde estão os maiores níveis de conservação, tratados, assim, como áreas de uso restrito (GUEDES, 2016).

Com base no que foi exposto, a presente pesquisa teve como objetivo avaliar o padrão atual de distribuição da Caatinga densa no município de

Caicó-RN, visando a identificar onde estão os maiores fragmentos através de procedimentos cartográficos e estatísticos. Dessa forma, pretendeu-se obter um panorama generalizado no que tange à vegetação da área, tendo como hipótese científica a de que há maior fragmentação na distribuição vegetal nas áreas com ocorrência de gradientes altitudinais inferiores.

2. Materiais e métodos

2.1 Área de estudo

A área de estudo compreende o município de Caicó-RN (figura 1), localizado no estado do Rio Grande do Norte, na Região Intermediária de Caicó, de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017).

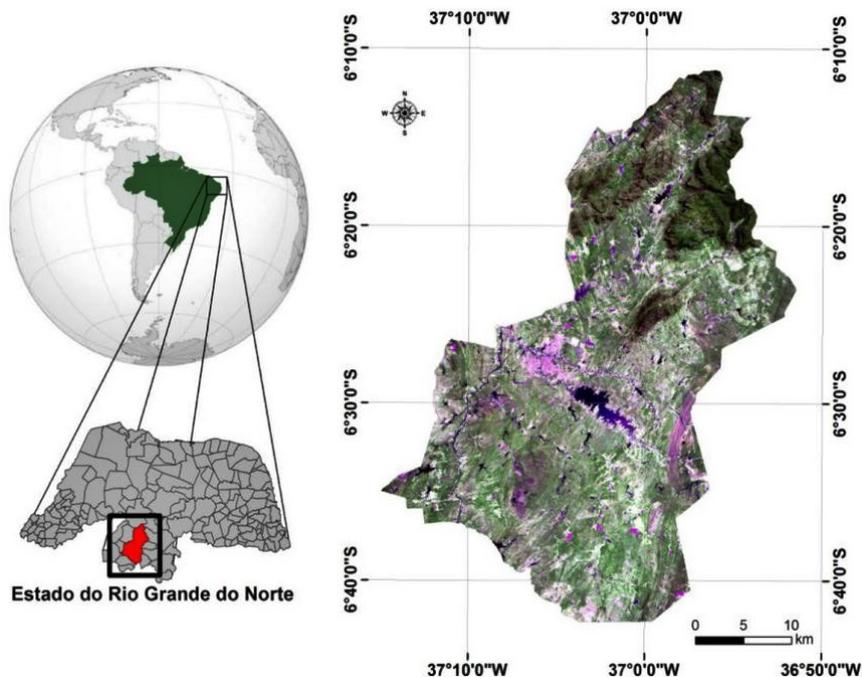
Em termos ecorregionais, de acordo com Velloso et al. (2002) e Silva et al. (2017), seu território reside na Ecorregião da Depressão Sertaneja Setentrional, a qual apresenta, em sua maior parte, cobertura vegetal de Caatinga. Especificamente para a área estudada, este é o único tipo de vegetação presente, variando apenas em sua fisionomia e/ou na presença de espécies exóticas.

De acordo com os dados climáticos da estação climatológica do município, obtidos através do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2010), sua temperatura varia moderadamente com média de 28,3°C ao ano, enquanto sua pluviosidade possui média de 629 mm anuais, concentrada principalmente entre os meses de janeiro a maio. Assim, segundo a classificação de Köppen, o clima para a área é do tipo BswH, ou seja, seco, muito quente e com estação chuvosa no verão.

Em relação à estrutura litológica, sua origem advém de rochas magmáticas e metamórficas do embasamento cristalino pré-cambriano (MAIA; BEZERRA, 2014). Do ponto de vista geomorfológico, essas estruturas estão dispostas por uma extensa área de superfície suave-ondulada denominada de depressão sertaneja (DINIZ et al., 2017). Sua paisagem ainda é composta por relevos de crista e um maciço. Ambas as formações são testemunhas de processos erosivos originados em sua maior parte no período cretáceo da era mesozoica (MAIA; BEZERRA, 2014).

Com isso, do ponto de vista pedológico, esses materiais e processos ao longo do tempo proporcionaram à referida área o estabelecimento de solos jovens e rasos com abundância, principalmente luvisolos crômicos e neossolos litólicos (MARQUES et al., 2014).

Figura 1
MAPA DE LOCALIZAÇÃO DO MUNICÍPIO DE CAICÓ-RN



Fonte: elaborada pelos os autores (2021).

2.2 Metodologia

O mapeamento da cobertura vegetal foi realizado a partir de uma imagem do satélite Sentinel 2B (Sensor: MSI; data: 30/06/2018), com resolução espacial de 10 metros. Através desta, em ambiente SIG (Sistema de Informações Geográficas), com o auxílio do *software* QGIS versão 2.14.1 (Essen/GNU - General Public License®) (QGIS TEAM, 2015), foi aplicado o *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) selecionando a banda 04 (Red - Vermelho) e 08 (NIR - infravermelho próximo), de acordo com a fórmula desenvolvida por Rouse et al. (1973):

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (01)$$

A fim de verificar as assinaturas espectrais do NDVI, foi gerada uma matriz de confusão por meio de pontos coletados em campo que, em seguida, deram origem ao índice Kappa (CONGALTON; GREEN, 1993; PONZONI; SHIMABUKURO; KUPLICH, 2012). Dessa forma, é possível obter uma maior confiabilidade no produto cartográfico gerado, no que tange a eventuais confusões feitas no decorrer de seu processamento. Desse modo, os referidos pontos foram obtidos através de GNSS - *Global Navigation Satellite System* de navegação portátil (Garmim Montana 650).

Posteriormente, os valores do NDVI foram segmentados em 5 classes, as quais passaram por reclassificação, de maneira que a quinta classe, responsável por obter a maior resposta espectral, caracterizou-se como a Caatinga densa para a área. Com isso, evidentemente, esta passou a ser a única classe analisada.

Em seguida, foi preciso buscar informações acerca da altimetria desta área. Assim, foi utilizada uma imagem de radar ALOS/Sensor PALSAR, com resolução espacial de 12,5 metros, imageado em 06/05/2009, com órbita absoluta de 17474, e com Ângulo de 23,1°. Sua obtenção foi realizada gratuitamente através da plataforma Alaska Satellite Facility - ASF DAAC (<https://www.asf.alaska.edu>).

Por meio desta imagem, foram delimitados três intervalos de cotas altimétricas que melhor representassem as seguintes unidades geomorfológicas: depressão (cota 137,0 - 321,0 m), baixas e médias encostas (cota 322,0 - 505,0 m) e altas encostas e topo (cota 506,0 - 689,0 m), possibilitando-se traçar um perfil altimétrico. Dessa maneira, os polígonos correspondentes à classe de Caatinga Densa foram transformados em formato *shapefile*, individualizando seus valores (em hectares-ha) entre as três cotas altimétricas ao serem sobrepostos ainda em ambiente SIG.

Posteriormente, para a execução da análise estatística, foram coletados aleatoriamente 50 fragmentos de Caatinga densa (interpretados como variáveis contínuas) em cada uma das cotas altimétricas (interpretadas como variáveis categóricas) e seus respectivos valores em hectares (ha),

para a elaboração de uma análise de variância (ANOVA), estabelecendo uma significância de 5% ($p < 0,05$) (GOTELLI; ELLISON, 2011).

Aplicou-se ainda o teste de Tukey (GOTELLI; ELLISON, 2011) a fim de checar uma eventual diferença significativa entre a classe Caatinga Densa nas diferentes cotas altimétricas analisadas. Neste caso, em ambas as etapas da análise estatística, contou-se com o auxílio do *software* R (R CORE TEAM, 2017).

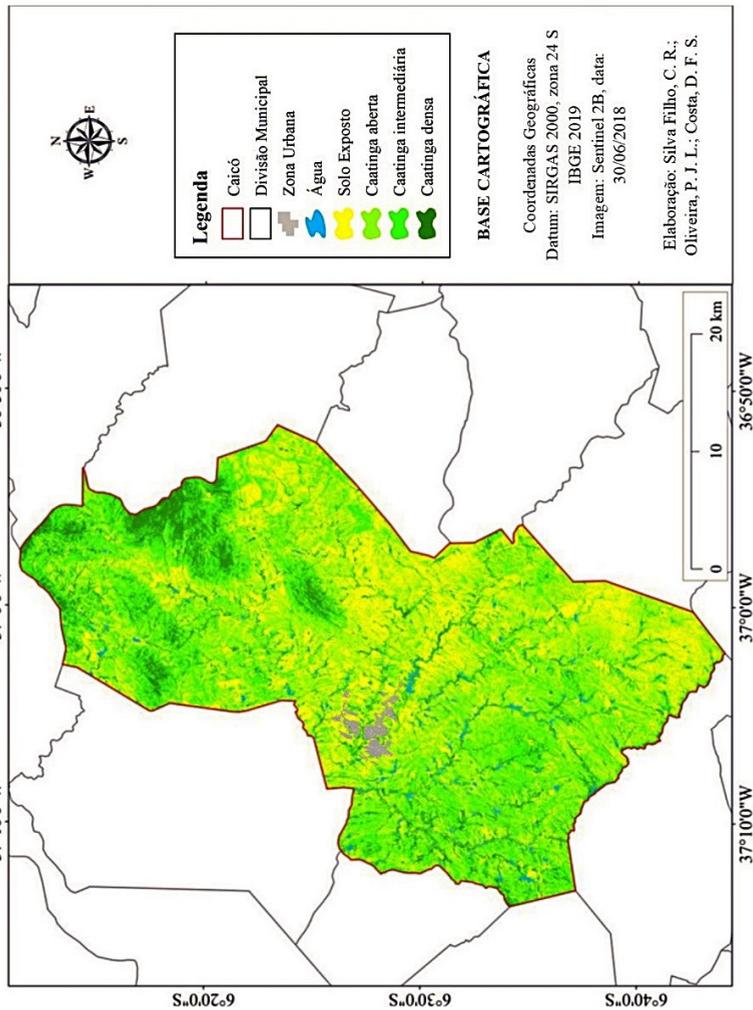
Para a identificação e caracterização fitogeográfica, foi realizada uma Avaliação Ecológica Rápida, direcionada para as espécies e tipos vegetacionais presentes em cada geofácie (SAYRE et al., 2003). A identificação das espécies botânicas se deu a partir do sistema APG II, com auxílio de bibliografia especializada (SOUZA; LORENZI, 2005). De maneira complementar, também foram realizadas consultas aos sistemas Trópicos® (<https://www.tropicos.org/home.aspx?langid=66>), os quais contêm dados e amostras botânicas do Missouri Botanical Garden, assim como ao Flora do Brasil 2020 - INCT Herbário Virtual da Flora e dos Fungos (<http://reflora.jbrj.gov.br/reflora>). Os exemplares botânicos foram arquivados no Acervo de Amostras Botânicas do Laboratório de Biogeografia (UFRN/CERES – Campus de Caicó).

3. Resultados e discussão

3.1 Mapeamento da cobertura da terra e acurácia

De acordo com o mapeamento da cobertura da terra elaborado a partir do NDVI (figura 2), obteve-se uma variação entre os valores de -0,55 e 0,87 (tabela 1). Os respectivos valores foram segmentados nas classes de cobertura da terra, são elas: água, solo exposto (e zona urbana), Caatinga aberta, Caatinga intermediária, até chegar à distribuição dos fragmentos de Caatinga densa, definida a partir da classe com a maior resposta espectral, correspondente à variação entre 0,47 e 0,87.

Figura 2
 MAPA DE USO E COBERTURA DA TERRA DO MUNICÍPIO DE CAICÓ/RN A PARTIR DO NDVI



Fonte: elaborada pelos os autores (2021).

No tocante à precisão das classes mapeadas em geral, através da matriz de confusão, dos 89 pontos observados em campo, verificou-se que 76 foram classificados corretamente (tabela 2), com maiores equívocos entre classes de Caatinga Aberta, interpretada como Solo exposto, e Caatinga intermediária. Contudo, o mapeamento alcançou um grau de concordância “Excelente” (81%), de acordo com o índice de Kappa. Por sua vez, Guedes (2016) apresentou um resultado bastante próximo, no qual o índice também mostrou acurácia em nível excelente, com 81,29% de precisão.

Tabela 1
SEGMENTAÇÃO DOS VALORES EM HECTARES (HA) DO NDVI PARA O MUNICÍPIO DE CAICÓ/RN

Classes de Cobertura	Hectares (ha)	Valores de NDVI	Representação visual
Água	1.747,90	-0,551 a -0,002	
Zona urbana	1.197,30	-0,002 a 0,239	
Solo exposto	27.194,02		
Caatinga aberta	46.331,65	0,239 a 0,345	
Caatinga intermediária	28.405,15	0,345 a 0,474	
Caatinga densa	9.772,83	0,474 a 0,878	
Total	113.451,55	-	-

Fonte: elaborada pelos os autores (2021).

Tabela 2
MATRIZ DE CONFUSÃO GERADA A PARTIR DOS PONTOS COLETADOS EM CAMPO E DAS CLASSES GERADAS NO MAPEAMENTO

CLASSES	Água	Solo exposto	Aberta	Intermediária	Densa	Total
Água	6	0	0	0	0	6
Solo exposto	0	8	2	1	0	11
Aberta	0	2	18	3	0	23
Intermediária	0	0	1	19	2	22
Densa	0	0	0	2	25	27
Total	6	10	21	25	27	89

Fonte: elaborada pelos os autores (2021).

Nesse contexto, dando ênfase individualmente à classe de Caatinga densa, observou-se uma precisão de 92%, tendo em vista que 27 pontos foram catalogados com apenas 2 destes não correspondendo a sua resposta espectral. Em vista disso, a utilização do satélite Sentinel 2B mostrou-se confiável para este tipo de vegetação, como enfatizado por Frampton et al. (2013).

Dessa forma, a resposta espectral do NDVI para a Caatinga densa foi satisfatória e o intervalo em relação a outros trabalhos desenvolvidos anteriormente no semiárido mostrou-se alto. Barbosa, Carvalho e Camacho (2017), em estudo na Região Serrana de Martins e Portalegre, identificaram o intervalo com maior resposta espectral entre 0,29 e 0,69. Por sua vez, Sá et al. (2010) no Araripe pernambucano quantificaram 0,80 de valor máximo. Estes valores possivelmente estão associados ao período seco quando as cenas foram obtidas. Como já colocado, na presente pesquisa, as cenas foram obtidas em período no final da estação das chuvas na região semiárida do Brasil (30/06/2018).

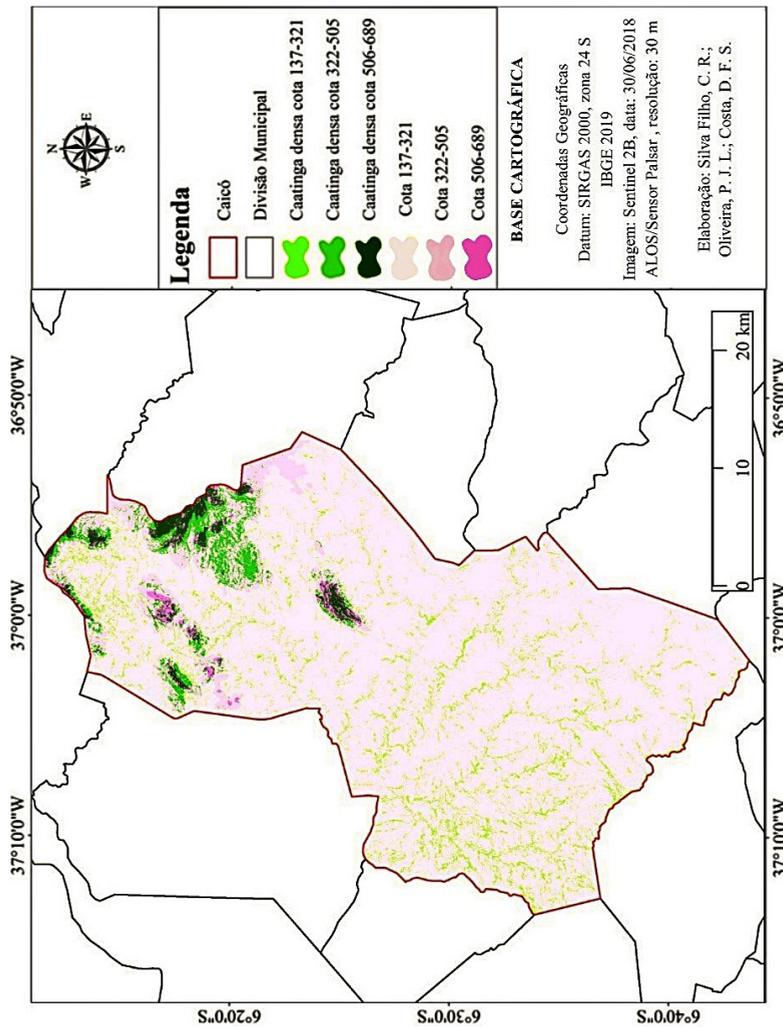
De acordo com Silva e Galvêncio (2012), em períodos secos o NDVI pode subestimar a vegetação de Caatinga. Lima et al. (2019), que também utilizaram imagem Sentinel, realizaram um mapeamento no estado de Pernambuco e obtiveram como maior resposta espectral valores entre 0,45 e 0,88, os quais são bastante próximos dos identificados nesta pesquisa para a segmentação dos polígonos de Caatinga densa (0,47 a 0,87).

3.2 *Distribuição da Caatinga densa*

Em relação ao que foi quantificado em área, no geral, obteve-se uma extensão de 9.772,83 ha que, em valores percentuais, abrangem apenas 8,6% de todo o território do município de Caicó (figura 3). Ou seja, sem levar em consideração as classes de água, solo exposto, Caatinga aberta e Caatinga intermediária. Coelho et al. (2014), em estudo elaborado no semiárido paraibano, concluíram que a classe de Caatinga densa apresenta declínio em função da degradação, fazendo com que esta converta-se em classes menos densas, o que possivelmente pode ter sido a explicação para a área de estudo do presente trabalho.

No tocante à distribuição dos fragmentos apenas da Caatinga densa, entre as cotas altimétricas tidas como baixa (entre 137,0 e 321,0 m), média (entre 322,0 e 505,0 m) e alta (entre 506,0 e 689,0 m), obteve-se os valores de 5.169,54 ha, 2.850,20 ha e 1.753,08, respectivamente (tabela 3). Em relação ao percentual de área ocupada por esta fitofisionomia, sua maior incidência está na cota mais alta, por recobrir 60% da área total, seguida pelo percentual de 35% observado para a cota média, e, por fim, apenas 5% de área total da cota mais baixa apresenta cobertura vegetal de Caatinga densa.

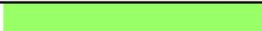
Figura 3
MAPA COM FRAGMENTOS DE CAATINGA DENSA E SUAS RESPECTIVAS COTAS



Fonte: elaborada pelos autores (2021).

Tabela 3

VALORES EM HECTARES (HA) DA CAATINGA DENSA EM SUAS COTAS ALTIMÉTRICAS NO MUNICÍPIO DE CAICÓ/RN

Cota altimétrica	Área (ha)	Caatinga densa (ha)	Representação visual
Cota 137,0 - 321,0 m	102.662,39	5.169,54	
Cota 322,0 - 505,0 m	8.136,15	2.850,20	
Cota 506 - 689,0 m	2.646,48	1.753,08	
Total	113.445,01	9.772,83	-

Fonte: elaborada pelos os autores (2021).

3.3 Análise estatística

Na análise estatística, por meio da ANOVA, foi visto que os valores se mostraram significativos ($SQ = 2$ $F = 5,96$ $p < 0,003$) (tabela 4). Do mesmo modo, no teste de Tukey novamente obteve-se valores significativos entre as costas baixa e alta ($p < 0,002$), e também entre a média e a alta ($p < 0,05$). Nesse caso, é chamada a atenção para a alta diferença entre os tamanhos dos fragmentos da menor cota (menores fragmentos) a mais alta (maiores fragmentos), o que incide em maiores níveis de Caatinga densa por área, conforme se distancia das áreas dominadas pelo relevo tipo depressão sertaneja, o que corrobora com o estudo de Chaves et al. (2013), no qual foi identificado um padrão bastante semelhante.

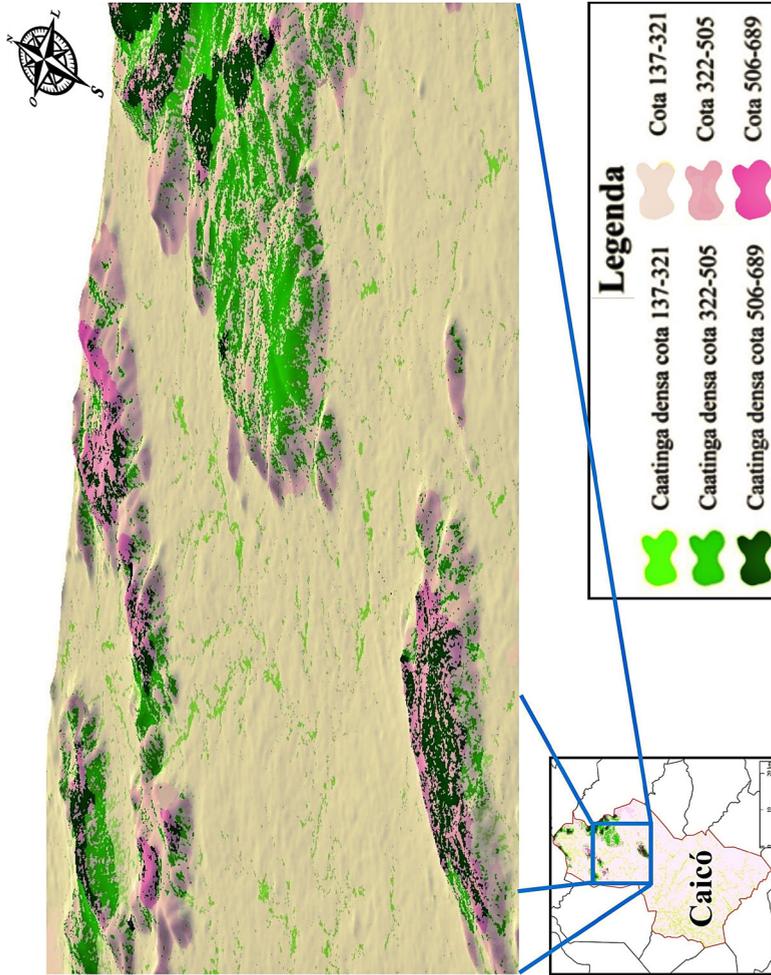
Tabela 4

ANÁLISE DE VARIÂNCIA A PARTIR DOS TAMANHOS DOS FRAGMENTOS DE CAATINGA DENSA NO MUNICÍPIO DE CAICÓ-RN

ANOVA	Graus de liberdade (gl)	Soma dos quadrados (SQ)	Quadrado Médio (QM)	Razão-F	Valor de P
Entre grupos	778,35	2	389,17	5,96	0,003
Dentro de grupos	9.595,28	147	65,27		
Total	10.373,60	149	-	-	-

Fonte: elaborada pelos os autores (2021).

Figura 4
 ESQUEMA 3D DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DOS FRAGMENTOS DE CAATINGA DENSA EM DIFERENTES COTAS NO MUNICÍPIO DE CAICÓ-RN



Fonte: elaborada pelos os autores (2021).

Já em relação às cotas média e alta, vale frisar que mesmo obtendo diferença significativa entre estas, muitos destes fragmentos são interligados, pois esta significância certamente é derivada de uma maior diminuição conforme se aproxima da cota mais baixa. Neste caso, de acordo com o mapeamento, esta fragmentação segue um perfil gradual em relação à altimetria como pode ser visto na figura 4.

3.4 *Flora*

A partir da análise visual e quantitativa dos produtos cartográficos e *in situ*, foi constatado que nas áreas da menor cota os maiores fragmentos estão majoritariamente nas bordas dos canais fluviais e corpos hídricos (rios e seus barramentos). Portanto, é importante atentar-se também para as espécies presentes em cada ambiente, visto que nessa cota está a maior concentração da drenagem local e, prontamente, uma flora relativamente distinta. Em vista disso, a flora da menor cota foi subdividida entre a de mata ciliar e uma mais generalista

Observou-se que, do ponto de vista da ocorrência de espécies vegetais, existe o fator positivo baseado na ocorrência das plantas perenifólias de mata ciliar da Caatinga. Entretanto, de maneira negativa, isto se dá de forma setorial, possivelmente em detrimento da retirada dessa vegetação para a prática de culturas agrícolas nos solos férteis dos terraços fluviais. Consequentemente, também há uma forte incidência de indivíduos da espécie exótica chamada algaroba/*Prosopis juliflora* (Sw.) DC/Fabaceae (figura 5), igualmente observado no estudo de Trovão, Freire e Melo (2010) em uma área de clima semiárido na Paraíba, quando esta espécie aparece mais abundante do que as próprias espécies nativas, inclusive mais ainda do que as pioneiras.

Como postulado, mesmo com os impactos ambientais descritos, este ambiente ainda possui espécies perenifólias características da mata ciliar de Caatinga. Dessa forma, a tabela 5 contém as que possuem ocorrência no município de Caicó. Destaca-se que o município de Caicó carece de pesquisas acerca de sua composição florística em termos de depressão sertaneja. No entanto, seu território compreende boa parte da zona de amortecimento da Estação Ecológica do Seridó (ESEC-Seridó), a qual possui

vastas informações no que diz respeito à flora regional, sendo esta considerada uma região natural floristicamente própria (RIZZINI, 1979; 1997; VARELA-FREIRE, 2002; QUEIROZ et al., 2017).

Figura 5

MATA CILIAR DE CAATINGA COM PRESENÇA DE INDIVÍDUOS DE *P. JULIFLORA* E *TABEBUIA AUREA* NO MUNICÍPIO DE CAICÓ-RN NA COTA ALTIMÉTRICA ENTRE 137,0 A 321,0 METROS



Fonte: acervo dos autores (2021).

Com isso e a fim de apontar características para esta unidade geomorfológica/cota altimétrica, constatou-se em Amorim, Sampaio e Araújo (2005) que seus resultados apontaram baixa diversidade e simultaneamente alta frequência de espécies consideradas generalistas ou pioneiras (CARVALHO, 2010). Assim, as mais características em questão e que possuem ocorrência na área estão listadas na tabela 6.

Todavia, é importante frisar que estas espécies também são as mesmas presentes em ambientes de Caatinga degradada (COSTA et al., 2009). No tocante ao território de Caicó, observou-se que os pequenos fragmentos de Caatinga densa identificados no NDVI são formados também por assembleias dessas espécies quando não há sinais de interferências antrópicas mais recentes e/ou bruscas (figura 6).

Já em relação ao maciço residual, correspondente às duas maiores cotas altimétricas, os dados fitogeográficos coletados *in situ* (tabela 7) corroboraram com o estudo de Neto e Silva (2012).

Tabela 5

ESPÉCIES DA MATA CILIAR DE CAATINGA NO MUNICÍPIO DE CAICÓ-RN NA COTA ALTIMÉTRICA ENTRE 137,0 A 321,0 METROS

Família/Nome científico	Nome popular
Areaceae	
<i>Copernicia prunifera</i> (Miller) H.E. Moore	Carnaúba
Bignoniaceae	
<i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos	Pau D'arco
<i>Tabebuia aurea</i> Benth. & Hook. f. ex S. Moore.	Caibreira
Capparaceae	
<i>Crataeva tapia</i> L.	Trapiá
<i>Cynophalla flexuosa</i> (L.)	Feijão bravo
Chrysobalanaceae	
<i>Licania rigida</i> Benth	Oiticica
Combretaceae	
<i>Combretum leprosum</i> Mart.	Mofumbo
Fabaceae	
<i>Erythrina velutina</i> Willd.	Mulungú
<i>Geoffra spinosa</i>	Umarí
<i>Pithecellobium diversifolium</i> Benth.	Espinheiro
Rhamnaceae	
<i>Ziziphus joazeiro</i> Marth.	Juazeiro
Verbenaceae	
<i>Vitex gardneriana</i> Schauer.	Jaramataia

Fonte: elaborada pelos os autores (2021).

Tabela 6

ESPÉCIES CARACTERÍSTICAS DA CAATINGA Densa NO MUNICÍPIO DE CAICÓ/RN NA COTA ALTIMÉTRICA ENTRE 137,0 A 321,0 METROS

Família/Nome científico	Nome popular
Apocynaceae	
<i>Aspidosperma pyrifolium</i> Mart.	Pereiro
Bignoniaceae	
<i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos	Pau D'arco
Burseraceae	
<i>Commiphora leptophloeos</i> (Mart.) J.B. Gillett.	Imburana
Cactaceae	
<i>Cereus jamacaru</i> Mill.	Cardeiro
Caparaceae	
<i>Cynophalla flexuosa</i> (L.) J.Presl	Feijão Bravo
Combretaceae	
<i>Combretum leprosum</i> Mart.	Mofumbo
Euphorbiaceae	
<i>Jatropha mollissima</i> (Pohl.) Baill	Pinhão bravo
<i>Croton jacobinensis</i> Baill	Marmeleiro
<i>Cnidocolus quercifolius</i> Pohl	Faveleira
Fabaceae	
<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan	Angico vermelho
<i>Mimosa tenuiflora</i> (Willd.) Poiret.	Jurema preta
<i>Poincianella pyramidalis</i> (Tul.) L. P. Queiroz var	Catingueira
<i>Bauhinia forficata</i> (Bong.) Steud.	Mororó branco
<i>Bauhinia cheilantha</i> (Bong.) Steud.	Mororó preto
<i>Piptadenia stipulacea</i> (Benth.) Ducke	Jurema branca

Fonte: adaptada de Amorim, Sampaio e Araújo (2005).

Tabela 7

ESPÉCIES CARACTERÍSTICAS DA CAATINGA Densa NO MUNICÍPIO DE CAICÓ/RN NAS COTAS ALTIMÉTRICAS ENTRE 322-505M E 506-689M

Família/Nome científico	Nome popular
Anacardiaceae	
<i>Myracrodruon urundeuva</i> Allemão	Aroeira
<i>Spondias tuberosa</i> Arruda	Umbuzeiro
Bignoniaceae	
<i>Handroanthus impetiginosus</i> (Mart. ex DC.) Mattos	Pau D'arco
<i>Tabebuia aurea</i> (Silva Manso) Benth. & Hook.f. ex S.Moore	Caibreira
Bombacaceae	
<i>Pseudobombax marginatum</i> (A. St.-Hil.) A. Robyns	Embiratanha
Boraginaceae	
<i>Cordia globosa</i> (Jacq.) Humb., Bompl. & Kunth.	Maria-preta
<i>Cordia insignis</i> Cham.	Loro
Burseraceae	
<i>Commiphora leptophloeos</i> (Mart.) J.B. Gillett	Imburana
Capparaceae	
<i>Cynophalla flexuosa</i> (L.)	Feijão bravo
Euphorbiaceae	
<i>Jatropha mollissima</i> (Pohl) Baill.	Pião Bravo
<i>Croton jacobinensis</i> Baill.	Marmeleiro
<i>Manihot pseudoglaziovii</i> Pax & K. Hoffm.	Maniçoba
Papilionideae	
<i>Luetzelburgia auriculata</i> (Allemao) Ducke	Pau-mocó
Olacaceae	
<i>Ximenia americana</i> L.	Ameixa
Fabaceae	
<i>Anadenanthera colubrina</i> (Vell.) Brenan	Angico vermelho
<i>Amburana cearensis</i> (Fr. All.) A.C. Smith	Cumarú
<i>Myroxylon peruiferum</i> L.f.	Brejuí
Rhamnaceae	
<i>Ziziphus joazeiro</i> Mart.	Juazeiro
Sapotaceae	
<i>Sideroxylon obtusifolium</i> [Humb. ex Roem. & Schult.] T.D. Penn.	Quixabeira

Org.: adaptada de Neto e Silva (2012).

Figura 6

FRAGMENTO DE VEGETAÇÃO DE CAATINGA DENSA NO MUNICÍPIO DE CAICÓ-RN IDENTIFICADO ATRAVÉS DO NDVI NA COTA ALTIMÉTRICA ENTRE 137,0 A 321,0 METROS



Fonte: acervo dos autores (2021).

Figura 7

VEGETAÇÃO DE CAATINGA ARBÓREA DENSA NO MUNICÍPIO DE CAICÓ-RN IDENTIFICADA ATRAVÉS DO NDVI NAS COTAS ALTIMÉTRICAS ENTRE 322 -505M E 506-689M



Fonte: USGS/2019; IJSN/2018. Elaborada pelos autores/2020.

Viu-se que a área não só dispõe dos maiores fragmentos quantificados em toda a sua extensão, como também apresenta grande relevância para a biodiversidade, visto que, no estudo dos referidos autores, foram catalogadas espécies de sucessão tardia ou, em tese, espécies mais próximas de um ambiente em clímax (RICKEFS, 2003; TOWNSEND; BEGON; HARPER, 2006) (figura 7).

Todavia, é importante deixar claro que só foi possível estabelecer uma distinção plausível entre as diferentes cotas altimétricas, sem maiores interferências de outras variáveis, por tratar-se de uma área inteiramente sem a presença de formações sedimentares.

Em Silveira et al. (2018) pode ser visto como os condicionantes edáficos, gerando diferentes solos de origem sedimentar, podem ser significativos na identificação de fitofisionomias distintas por meio de sensoriamento remoto. Oliveira (2019), ao desenvolver um zoneamento fitoecológico em um maciço no semiárido, observou a presença de espécies vegetais não normalmente alocadas à florística da Caatinga conforme havia a ocorrência de solos profundos de origem sedimentar, caracterizando essas áreas como unidades fitoecológicas distintas das demais.

4. Conclusões

Com base nos resultados obtidos, assume-se que as cenas do sensor MSI originadas através do satélite Sentinel 2B apresentaram uma resposta satisfatória no que tange ao mapeamento da Caatinga por meio do NDVI, com confiabilidade comprovada.

Entende-se que a área analisada apresenta sinais de fragmentação desta vegetação que, possivelmente, está ligada à exploração de seus recursos florestais em áreas de fácil acesso as quais, no caso, seriam as áreas de relevos mais suaves e com baixos valores altimétricos. Em contraste, as áreas que apresentam relevos ondulados e com altos valores altimétricos possuem a maior parte da Caatinga densa, o que foi comprovado estatisticamente.

Em termos fitogeográficos, observou-se que a cota mais baixa apresenta diferenciações florísticas de Caatinga densa entre dois ambientes: áreas de depressão sertaneja típica e as de mata ciliar. Enquanto isso, as

cotas média e maior diferiram da menor, tendo em vista o aparecimento de espécies raras e de sucessão tardia. Entretanto, estas duas últimas não apresentaram diferenças entre si. Assim, verificou-se que os ambientes serranos analisados apresentam fortes particularidades neste sentido.

Dessa forma, é importante frisar a importância do auxílio de trabalhos florísticos na discussão do referido trabalho, pois suas informações complementam o que é observado para a resposta espectral do índice. Assim, é possível falar sobre o potencial biológico/biogeográfico não só em termos de biomassa, como também no que tange ao nível florístico específico, o que é de suma relevância para a conservação.

Por fim, conclui-se que a distribuição espacial da Caatinga densa no município de Caicó-RN enquanto cotas altimétricas mais baixas, encontra-se quase que restrita aos entornos dos corpos hídricos e rios, sendo necessárias estratégias para se pensar na recuperação dessas áreas. Enquanto isso, os relevos residuais (inselbergs e maciços) abrigam uma considerável quantidade desta fitofisionomia. Portanto, assume-se que essas áreas detêm grande importância para a conservação da biodiversidade local.

Referências

- AB'SABER, A. N. **O domínio morfoclimático semiárido das caatingas brasileiras**. São Paulo: Instituto de Geografia-USP, 1974. 39 p.
- AHMADI, H.; NUSRATH, A. Vegetation change detection of Neka River in Iran by using remote-sensing and GIS. **Journal of Geography and Geology**, v. 2, n. 1, p. 58-67, 2010.
- ALBUQUERQUE, U. P. et al. Caatinga revisited: ecology and conservation of an important seasonal dry forest. **The Scientific World Journal**, v. 2012, p. 01-18, 2012.
- ALVES, J. J. A.; ARAÚJO, M. A. de; NASCIMENTO, S. S. do. Degradação da Caatinga: uma investigação ecogeográfica. **Revista Caatinga**, Mossoró-RN, v. 22, n. 3, p. 126-135, 2009.
- AMORIM, I. L.; SAMPAIO, E. V. S. B.; ARAÚJO, E. de L. Flora e estrutura da vegetação arbustivo-arbórea de uma área de caatinga do Seridó, RN, Brasil. **Acta Botânica Brasílica**, v. 19, n. 3, p. 615-623, 2005.

BARBOSA, A. H. S.; CARVALHO, R. G.; CAMACHO, R. G. V. Aplicação do NDVI para a análise da distribuição espacial da cobertura vegetal na Região Serrana de Martins e Portalegre – Estado do Rio Grande do Norte. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 33, p. 128-143, 2017.

BRASIL. LEI N. 12.651 de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre parâmetros, definições e limites de Áreas de Preservação Permanente. **Diário Oficial da União, Brasília**, 25 mai. 2012. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2012/Lei/L12651.htm>. Acesso em: 15 set. 2020.

CARVALHO, E. C. D. **Estrutura e estágios de sucessão ecológica da vegetação de caatinga em ambiente serrano no cariri paraibano**. 2010. 83 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande/PB, 2010.

CHAVES, I. de B. et al. Índices espectrais, diagnóstico da vegetação e degradação da Caatinga da bacia do rio Taperoá-PB. In: SILVA, B. B. (Org). **Aplicações ambientais brasileiras com geoprocessamento e sensoriamento remoto**. Campina Grande: EDUFCCG, 2013. p. 23-47.

COELHO, V. H. R. et al. Dinâmica do uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica do semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 1, p. 64-72, 2014.

CONGALTON, R. G.; GREEN, K. A practical look at source of confusion in error matrix generation. **Photogrammetry Engin. and Remote Sensing**, v. 59, n. 5, p. 641-644, 1993.

COSTA, T. C. C.; OLIVEIRA, M. A. J.; ACCIOLY, L. J. O.; SILVA, F. H. B. B. Análise da degradação da caatinga no núcleo de desertificação do Seridó (RN/PB). **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, p. 961-974, 2009.

COSTA, D. F. S.; GUEDES, J. C. F.; ROCHA, R, M. Estratégia de zoneamento ambiental aplicada à gestão das margens de reservatórios. **Geosul**, v. 29, n. 58, p. 145-159, 2014.

DINIZ, M. T. M.; OLIVEIRA, G. P.; MAIA, R. P.; FERREIRA, B. Mapeamento Geomorfológico do estado do Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 18, n. 4, p. 689-701, 2017.

FRAMPTON, W. J. et al. Evaluating the capabilities of Sentinel-2 for quantitative estimation of biophysical variables in vegetation. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 82, p. 83-92, 2013.

GOTELLI, N. J.; ELLISON, A. M. **Princípios de estatística em Ecologia**. Tradução: Fabrício Beggiano Baccaro. Porto Alegre: Artmed, 2011. 683 p.

GRAEFF, O. **Fitogeografia do Brasil**: uma atualização de bases e conceitos. Rio de Janeiro: Nau ed., 2015. 552 p.

GUEDES, J. C. F. **Comparação de índices de vegetação no mapeamento da cobertura da terra no semiárido**: estudo de caso no Município de Martins/RN. 2016. 87 p. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes. Natal-RN: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2016.

IBGE-Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **As regiões intermediárias brasileiras**. Rio de Janeiro: IBGE, 2017.

INMET-Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais Climatológicas do Brasil de 1981 a 2010**. Estação Climatológica de Caicó (Seridó). Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/normais>>. Acesso em 25 out. 2019.

LIMA, N. A. S.; XAVIER, M. L. P.; SILVA JUNIOR, U. J.; NASCIMENTO, E. F.; OLIVEIRA, L. M. M. Spectral indices for remote sensing with the LANDSAT-5 and Sentinel-2 satellites around the Poço Cruz reservoir-PE. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, v. 9, p. 299-309, 2019.

MAIA, R. P.; BEZERRA, F. H. R. **Tópicos de geomorfologia estrutural**: Nordeste brasileiro. Fortaleza: Edições UFC, 2014. 124 p.

MARQUES, F. A.; NASCIMENTO, A. F. do; ARAUJO FILHO, J. C. de; SILVA, A. B. da. **Solos do Nordeste**. Recife: EMBRAPA, v. 1, 2014. 16 p.

NETO, M. C. P.; SILVA, N. M. Relevos residuais (maciços, inselbergues e cristas) como refúgios da biodiversidade no Seridó potiguar. **Revista Geonorte**, v. 3, n. 4, p. 262-273, 2012.

OLIVEIRA, P. J. L.; MONTEIRO JÚNIOR, I. R.; OLIVEIRA, A. M.; COSTA, D. F. S. Análise da cobertura vegetal da Reserva Particular do Patrimônio Natural Stoessel de Brito, Jucurutu-RN (NE, Brasil). **Revista Equador**, v. 8, n. 2, p. 387-398, 2019.

OLIVEIRA, A. M. **Serviços ecossistêmicos prestados pela cobertura vegetal na Serra de João do Vale (RN/PB)**. 2019. 150 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Centro de Ciências Humanas, Letras e Artes. Natal-RN: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2019.

PERSSON, M.; LINDBERG, E.; REESE, H. Tree species classification with multi-temporal Sentinel-2 Data. **Remote Sensing**, v. 10, n. 11, p. 1794-1811, 2018.

POENARU, V.; BADEA, A.; NEGULA, I. D.; MOISE, C. Monitoring vegetation phenology in the Braila Plain using Sentinel 2 data. **Scientific Papers-series e-Land Reclamation Earth Observation & Surveying Environmental Engineering**, v. 6, p. 175-180, 2017.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. **Sensoriamento remoto da vegetação**. São José dos Campos-SP: Oficina de Textos. 2012.

QGIS TEAM, Q. D. **QGIS Geographic Information System: Free Software Foundation**. 2015. Disponível em: <https://www.qgis.org/pt_BR/site/forusers/download.html>>. Acesso em: 25 out. 2019.

QUEIROZ, L. P. **Leguminosas da Caatinga**. Feira de Santana: Editora Universitária da UEFES, 2009. 443 p.

QUEIROZ, L. P.; CARDOSO, D.; FERNANDES, M. F.; MORO M. F. Diversity and evolution of flowering plants of the Caatinga Domain. In: SILVA, J. M. C.; LEAL, I. R.; TABARELLI, M. (Org.). **Caatinga: The largest tropical dry forest region in South America**. Cham/Switzerland: Springer Publishing Internacional, 2017. p. 23-63.

R CORE TEAM. R. **A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical computing, Viena, Áustria. URL: [https:// <www.Rproject.org/>](https://www.Rproject.org/). 2017.

RICKEFS, R. E. **A Economia da Natureza**. 5. ed. Rio de Janeiro: Editora Guanabara Koogan, 2003. 503 p.

RIZZINI, C. T. **Tratado de Fitogeografia do Brasil**. vol.2. São Paulo: Hucitec. 373 p. 1979.

RIZZINI, C. T. **Tratado de Fitogeografia do Brasil: aspectos ecológicos, sociológicos e florísticos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Âmbito Cultural Edições Ltda, 1997. 747 p.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, 3., Washington, 1973. **Proceedings**, Washington: NASA, v. 1, p. 309-317, 1974. Disponível em: <<https://ntrs.nasa.gov/citations/19740022614>> Acesso em: 25 out. 2019.

SÁ, I. I. S.; GALVINCIO, J. D.; MOURA, M. S. B.; SÁ, I. B. Cobertura vegetal e uso da terra na região Araripe pernambucana. **Mercator**, v. 9, n. 19, p. 143-163, 2010.

SAYRE, R. et al. **Natureza em foco: avaliação ecológica rápida**. The Nature Conservancy. Arlington: 2003. 175 p.

SILVA, A. A.; COSTA, D. F. S.; GRIGIO, A. M.; ROCHA, R. M. Análise da paisagem aplicada à caracterização e planejamento ambiental da mata ciliar no trecho urbano do Rio Apodi-Mossoró (Mossoró/RN-Brasil). **Boletim Gaúcho de Geografia**, v. 42, n. 1, p. 25-36, 2015.

SILVA, J. M. C.; BARBOSA, L. C. F.; LEAL, I. R.; TABARELLI, M. The Caatinga: Understanding the challenges. In: SILVA, J. M. C.; LEAL, I. R.; TABARELLI, M. (Org.). **Caatinga: The largest tropical dry forest region in South America**. Cham/Switzerland: Springer Publishing Internacional, 2017. p. 3-22.

SILVA, J. M. C.; BARBOSA, L. C. F. Impact of human activities on the Caatinga. In: SILVA, J. M. C.; LEAL, I. R.; TABARELLI, M. (Org.). **Caatinga: The largest tropical dry forest region in South America**. Cham, Switzerland: Springer Publishing Internacional, 2017. p. 359-368.

SILVA, L. G.; GALVÍNCIO, J. D. Análise comparativa da variação nos índices NDVI e SAVI no sítio PELD-22, em Petrolina-PE, na primeira década do século XXI. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 5, n. 6, p. 1446-1456, 2012.

SILVEIRA, H. L. F. et al. Use of MSI/Sentinel-2 and airborne LiDAR data for mapping vegetation and studying the relationships with soil attributes in the Brazilian semi-arid region. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 73, p. 179-190, 2018.

SOUZA, V. C.; LORENZI, H. **Botânica Sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias de angiospermas da flora brasileira, baseado em AGP II**. Nova Odesa-SP: Instituto Plantarum, 2005. 640 p.

TOWNSEND, C. R.; BEGON, M.; HARPER, J.L. **Fundamentos em Ecologia**. 2. ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 592 p.

TROVÃO, D. M. B. M.; FREIRE, Á. M.; MELO, J. I. M. Florística e fitossociologia do componente lenhoso da mata ciliar do riacho de Bodocongó, semiárido paraibano. **Revista Caatinga**, v. 23, n. 2, p. 78-86, 2010.

VARELA-FREIRE, A. A. **A caatinga hiperxerófila Seridó, a sua caracterização e estratégias para a sua conservação**. São Paulo: Editora ACIESP, 2002. 39 p.

VELLOSO, A. L. et al. **Ecorregiões: Propostas para o Bioma Caatinga**. Recife: Associação Plantas do Nordeste; Instituto de Conservação Ambiental the Nature Conservancy, 2002.

VRIELING, A. et al. Vegetation phenology from Sentinel-2 and field cameras for a Dutch barrier island. **Remote Sensing of Environment**, v. 215, p. 517-529, 2018.

Recebido em: 15/09/2020

Aceito em: 22/02/2021

