

## MAPEAMENTO DA VEGETAÇÃO DE UNIDADES DE CONSERVAÇÃO ESTADUAIS EM CAATINGA, PIAUÍ, BRASIL

### MAPPING FOREST COVER OF UNITS CONSERVATION IN CAATINGA, PIAUI, BRAZIL

**Thaysa Pâmella Vieira de Sousa**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8914-83322>

Universidade Federal do Piauí, Brasil

E-mail: [thaysavieira879@gmail.com](mailto:thaysavieira879@gmail.com)

**Marlete Moreira Mendes Ivanov**

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8537-3871>

Universidade Federal do Piauí, Brasil

E-mail para correspondência: [mendes758@hotmail.com](mailto:mendes758@hotmail.com)

Submetido: 06/06/2023; Aceito: 17/12/2023

#### Resumo

Unidades de conservação (UC) são áreas definidas por lei, com o objetivo de preservar parcela significativa dos recursos naturais. A Caatinga, como os demais biomas brasileiros, encontra-se sob forte pressão antrópica, necessitando de estabelecimento de áreas protegidas. No Piauí existem 10 UC geridas pelo poder público estadual localizadas no domínio da Caatinga e em áreas de transição deste com outros domínios. Todavia, as UC da esfera estadual podem não estar cumprindo o seu efetivo papel de proteger os recursos naturais dentro dos seus limites. Objetivou-se analisar a vegetação de três unidades de Conservação: Parque Estadual da Serra de Santo Antônio, Parque Estadual do Rangel e Estação Ecológica Chapada da Serra Branca. Realizou-se mapeamento das UC, para analisar o NDVI, Uso e Ocupação do Solo, além do levantamento de focos de calor, em um período de cinco anos (2015 a 2020). Quanto ao NDVI, valores máximos entre 0,7 e 0,9 encontrados nos PE da Serra de Santo Antônio e do Rangel apontam para a existência de vegetação de porte florestal bem preservada, mantendo-se verde inclusive no período seco, enquanto na ESEC da Chapada da Serra Branca, valores medianos apontam para a predominância de vegetação aberta, típica de savanas. O Uso e Ocupação do Solo indicou pouca ação antrópica sobre as UC analisadas, sendo que o Parque do Rangel apresentou indícios de desenvolvimento de agricultura e de pastagem em seu interior. Quanto aos focos de calor, nenhuma UC sofreu queimadas nos cinco anos seguidos e as que sofreram em alguns anos apresentaram baixa densidade de focos de calor. Conclui-se que a vegetação nas UC analisadas se encontra bem preservada.

**Palavras-chave:** índice de vegetação, NDVI, focos de calor, áreas protegidas

#### Abstract

Conservation units (CU) are areas defined by law, with the objective of preserving a significant portion of natural resources. The Caatinga, like other Brazilian domains, is under strong human pressure, requiring the establishment of protected areas. In Piauí there are 10 UC managed by the state public authorities located in the Caatinga domain and in transition areas between this and other domains. However, UC at the state level may not be fulfilling their effective role of protecting natural resources. The objective was to analyze the vegetation of three Conservation Units: Serra de Santo Antônio State Park, Rangel State Park and Chapada da Serra Branca Ecological Station. UC mapping was carried out to analyze the NDVI, Land Use and Occupation, in addition to the survey of hot spots, over a period of five years (2015 to 2020). The NDVI maximum values range from 0.7 to 0.9 in the State Parks Serra de Santo Antônio and Rangel, pointing to the existence of well-preserved forest-sized vegetation, remaining green even in the dry station, while in Ecological Station Chapada da Serra Branca, median values point to the predominance of open vegetation typical of savannas. Soil Use and Occupation indicated little anthropic action on the protected areas, with Rangel Park showing signs of agriculture and pasture within its interior. As for hot spots, no UC suffered fires in the five consecutive years and those that did in some years had a low density of hot spots. It is concluded that the vegetation in the protected areas analyzed is well preserved.

**Keywords:** vegetation index, NDVI, hot spots, protected areas

## INTRODUÇÃO

Com o crescente desmatamento que tem ocorrido no Brasil nos últimos anos, que tem gerado forte perda de material biológico, a preservação de áreas com significativa parcela de vegetação torna-se fundamental tanto para a sua proteção, quanto para o desenvolvimento de pesquisas. Neste contexto, inserem-se as unidades de conservação (UC), que são áreas geográficas delimitadas, com finalidade de preservar a natureza, bem como assegurar valores e tradições culturais (SILVA *et al.*, 2013). Por possuírem propriedades específicas, como biodiversidade, qualidade ambiental, paisagem natural e funções ecológicas, caracterizam-se como a principal forma de preservar, proteger e recuperar tais áreas (SCHAEFER *et al.*, 2020). As UC têm sido propostas na tentativa de manter a natureza intacta, ou pelo menos tentar amenizar alterações drásticas, em sentido cultural e ambiental (ANDRADE; IADANZA, 2016).

Para proteger as áreas naturais no Brasil, foi promulgada a Lei nº 9.985, em 18 de julho de 2000, a qual instituiu o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza – SNUC e estabeleceu critérios e normas para a criação, implantação e gestão das unidades de conservação (BRASIL, 2000), dividindo as UC em duas categorias: as de Unidades de Proteção Integral e as Unidades de Uso Sustentável. Essa lei assegura a representatividade de amostras ecologicamente viáveis das diferentes populações, habitats e ecossistemas do território nacional e dos recursos hídricos, preservando o patrimônio biológico existente (LEUZINGER, 2010). Entretanto, a realidade é que muitas Unidades têm sofrido alterações, em especial por incêndios e queimadas, alcançando o máximo de intervenções antrópicas conforme seja gerida pelo poder público estadual (DIAS *et al.*, 2020) e se enquadre na categoria de Uso Sustentável – que visa à compatibilização do uso dos recursos naturais com a preservação, opostamente às de Proteção Integral – que visam proteger integralmente a biota (BRASIL, 2000). Esse tipo de impacto gera alterações que abarcam tanto os fatores abióticos do meio, quanto a biota, podendo ter reflexos sobre a riqueza de espécies e características do solo e da água.

Entre os domínios brasileiros encontra-se a Caatinga, ocupando grande parte da região Nordeste do Brasil e uma pequena porção ao norte do estado de Minas Gerais, com clima predominantemente semiárido, alta incidência de radiação solar, baixa nebulosidade, baixa umidade relativa do ar, alta temperatura média anual e baixa precipitação (PRADO, 2003). Tais características tornam sua vegetação mais suscetível à degradação e também à desertificação (ALVES *et al.*, 2009), o que reforça a necessidade de preservação de significativas parcelas dos ecossistemas que nele ocorrem para que seja assegurada a manutenção das espécies endêmicas. A Caatinga, em 2010, encontrava-se reduzida a 62% da sua cobertura original, com apenas 8,4% do seu território protegido em Unidades de Conservação federais e estaduais (HAUFF, 2010). Para o Piauí, um dos estados abrangidos pela Caatinga, foram contabilizadas 44 UC, considerando as três esferas de governo (federal, estadual e municipal), as quais somam quase três milhões de hectares, correspondendo a 11% da área do Estado (LEITE; IVANOV, 2020). Dentre estas, 21 UC, considerando as três esferas de poder, estão na Caatinga, sendo que 10 destas são de gestão do poder público estadual (SOUZA; IVANOV, 2022). Apesar do número e da abrangência das UC no estado serem relativamente grandes, muitas passam por abandono e alterações em suas características naturais (IVANOV, 2020). O conhecimento empírico mostra que as UC regidas pelo poder público federal estão melhor protegidas que pelo poder público estadual. Nesse sentido, estudos que caracterizem as UC periodicamente podem mostrar a evolução das alterações pelas quais elas estão passando, bem como revelar se encontram efetivamente protegidas. Para tanto, estudos que envolvam geoprocessamento podem ser desejáveis para o alcance dessa finalidade.

Pesquisas feitas por sensoriamento remoto, com uso de imagens de satélites, ganham cada vez mais espaço e os avanços nessa área se dão constantemente. Através do sensoriamento remoto, cenas capturadas por sensores de satélite permitem estudar as mudanças de cobertura vegetal em áreas de diversos tamanhos em escala multitemporal. Para tal análise, o meio comumente utilizado pelos pesquisadores são os índices radiométricos de vegetação. Um índice de vegetação (IV) é uma formulação matemática a partir de bandas espectrais de uma imagem, indicando a presença de vegetação em uma determinada área. Entre eles, o mais utilizado é o índice de vegetação normalizada – NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), proposto inicialmente por Rouse e colaboradores (ROUSE *et al.*, 1973; BERGER *et al.*, 2018; BERGER *et al.*, 2019), que tem a função de avaliar o vigor de uma vegetação, além de indicar a quantidade de biomassa e quantificar a atividade de clorofila, utilizando a forma aritmética de bandas (HUANG *et al.*, 2021).

O NDVI representa a razão entre a diferença das reflectâncias das bandas 4 (infravermelho próximo) e 3 (visível-vermelho) dividido pela soma das reflectâncias das duas bandas (HUANG *et al.*, 2021), sendo calculado pela seguinte fórmula (SHIMABUKURO *et al.*, 1998):

$$NDVI = \frac{(IV - VIS)}{(IV + VIS)}$$

Onde: IV = resposta espectral do pixel na banda do infravermelho próximo (TM 4); e o VIS= resposta espectral do pixel na banda do visível (TM 3). Segundo Kriegler *et al.* (1969), a radiação quase infravermelha, que é a radiação no infravermelho próximo, menos a radiação vermelha dividida pela radiação quase infravermelha mais a radiação vermelha, resultam em uma imagem recém simplificada, o NDVI.

O NDVI tornou-se uma das ferramentas de sensoriamento remoto mais populares utilizadas (PONZONI; SHIMABUKURO, 2010) e que há anos vem auxiliando na análise da condição da vegetação por meio de imagens multiespectrais, simplificando as complexidades existentes nelas. Essa ferramenta tem-se mostrado bastante útil em práticas de manejo e agricultura para fins comerciais, visando o aumento da produtividade em campo, da sustentabilidade e dos lucros. O Índice é um indicador de biomassa fotossinteticamente ativa, ou seja, um indicador da quantidade e condição da vegetação; seus valores variam de -1 a 1, onde valores próximos a -1 são para identificar corpos d'água, aqueles próximos a zero são para rochas, areias, ou superfícies de concreto, e valores positivos, ou seja, próximo a 1, para vegetação, incluindo culturas, arbustos, gramíneas e florestas (JONES; VAUGHAN, 2010).

Na banda do vermelho, os pigmentos de clorofila da folha absorvem a radiação solar produzindo uma baixa reflectância. Já na banda do infravermelho próximo devido ao espalhamento (reflectância e transmitância) da radiação no interior das folhas, produz uma alta reflectância, e em vista disso, quanto maior o contraste, maior é o vigor da vegetação. A reflectância da cobertura vegetal pode variar em diferentes bandas de sensores remotos, pois isso vai depender da quantidade folhas e da arquitetura do dossel, além disso, o comportamento espectral das folhas vai depender da sua estrutura celular e composição química, visto que podem variar entre si (SHIMABUKURO *et al.*, 1998).

As Unidades de Conservação são áreas adequadas para realização de pesquisas e aquelas feitas de forma remota podem gerar informações quando não é possível obter tais informações por via direta, no próprio campo. Assim, esta pesquisa foi desenvolvida visando obter informações sobre o *status* de preservação de três UC situadas em Caatinga, geridas pelo poder público estadual no Piauí, representado pela ocorrência de queimadas, uso e ocupação do solo e cobertura vegetal, entre os anos de 2015 e 2020.

## METODOLOGIA

### Unidades de Conservação selecionadas

Foram selecionadas três UC cuja área não ultrapassa os limites do território piauiense (Figura 1), geridas pelo poder público estadual e sob o domínio da Caatinga: Parque Estadual (PES) do Rangel (municípios de Redenção do Gurgueia e Curimatá), PES da Serra de Santo Antônio (município de Campo Maior) e Estação Ecológica (ESEC) Chapada da Serra Branca (São Braz do Piauí, Brejo do Piauí e São Raimundo Nonato).

### Uso e ocupação do solo

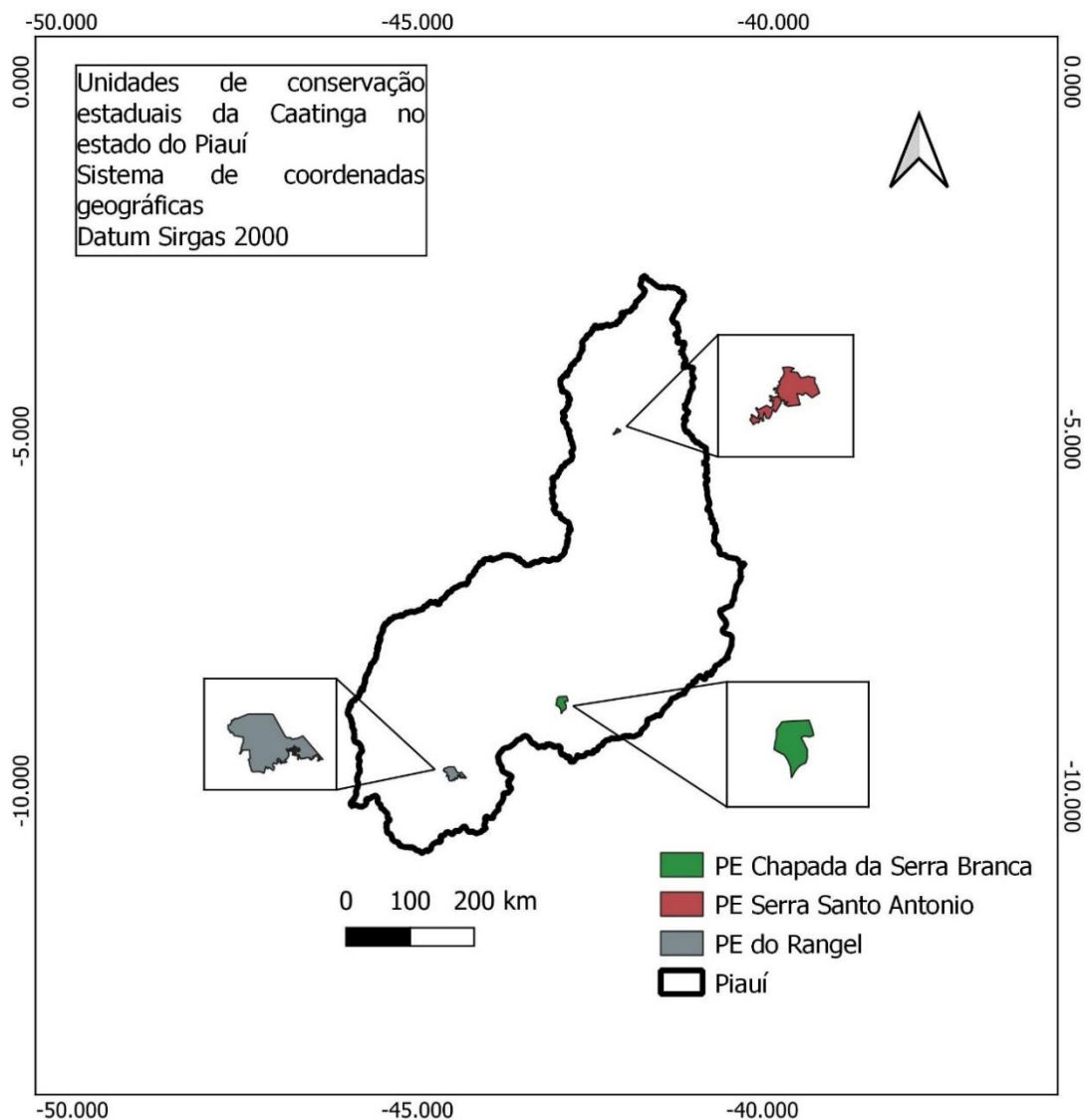
A caracterização do uso e ocupação do solo nas UC selecionadas ocorreu a partir da interpretação de imagens de imagens de satélite organizadas e disponibilizadas pelo projeto MapBiomas Brasil ([www.brasil.mapbiomas.org](http://www.brasil.mapbiomas.org)). No software QGIS, instalou-se o complemento MapBiomas Collection 7, para ter acesso às imagens de uso e ocupação do solo, bem como a interpretação de cada classe, utilizando suas classes, new id e cores. Depois das imagens terem sido processadas, os mapas foram gerados com uma tabela de códigos das classes de cobertura e uso da terra e paleta de cores.

## NDVI

Para cálculo do NDVI e construção dos mapas foram baixadas imagens de satélite da Missão Copernicus Sentinel-2, a qual objetiva monitorar as condições na superfície terrestre, com dois satélites sob condições livres de nebulosidade e registros a partir do ano 2014. O Programa Copernicus é desenvolvido pela European Union's Space (<https://sentinels.copernicus.eu>). Para seleção das imagens foram selecionados os dados L1C e L2A do Sentinel-2, com nebulosidade máxima de 20%. O recorte temporal delineado para a pesquisa foi o período seco (julho e agosto) dos anos de 2015 a 2020, quando se espera menor nebulosidade; todavia, não houve imagens viáveis no ano de 2015 para o Parque Estadual do Rangel e para a Estação Ecológica Chapada da Serra Branca. As imagens disponíveis pelo satélite têm resolução de 10m, 20m ou 60m. Sempre que disponível, optou-se pela resolução de 10m.

Utilizando-se o software livre Qgis v.3.22, foram selecionadas as imagens das bandas 4, 3 e 8 (RGN – vermelho, verde e infravermelho, respectivamente), as quais foram combinadas em uma única imagem utilizando-se a ferramenta LF Tools, usada também para o cálculo do NDVI  $[(b3 - b1) / (b3 + b1)]$ . A última etapa foi recortar a imagem raster pela camada de máscara da unidade de conservação e alterar a simbologia para que as cores pudessem ser diferenciadas.

**Figura 1.** Mapa de localização das Unidades de Conservação analisadas nesta pesquisa.



Fonte: IVANOV, M.M.M.

## Focos de calor

Para avaliar a presença ou ausência de padrão espacial ao longo do tempo, foi considerado o número de focos de calor por ano, entre 2015 e 2020. A base de dados para levantamento dos focos de calor é o site do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE; BDQueimadas), o qual disponibiliza as coordenadas de todos os pontos com focos de calor; apesar de haver dados de diversos satélites disponíveis, foram utilizadas somente as informações do satélite de referência (AQUA M-T), para não haver repetição. A localização de todos os focos de incêndios no ano foi identificada em um ambiente SIG. Em seguida a ferramenta *Density Kernel* (KDE) do QGIS versão 3.24 (Tysler) foi utilizada para gerar os mapas de calor. Foi construído um mapa para cada ano, denotando-se a intensidade de calor dos pontos por meio da representação de cores, sendo o vermelho referente a densidades altas, o amarelo a densidades médias e o azul a baixas densidades. Não foram produzidos mapas das UC que não apresentaram focos em seu interior ao longo de um ano. Para melhor visualização dos focos no mapa de densidade, utilizou-se um raio de 2.000m e o pixel de 50m.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Entre as UC analisadas, quanto ao uso e ocupação do solo, a Estação Ecológica Chapada da Serra Branca é a que possui maior área com formação florestal, ocupando a porção norte da UC (Figuras 2 e 3). Foram observados pontos com mosaico de agricultura e pastagem nos limites ao sul e a nordeste da ESEC da Serra Branca. A ESEC da Serra Branca foi decretada como UC em 2008 (PIAUÍ, 2008) e nos dois anos analisados, as imagens mostraram-se semelhantes quanto à cobertura do solo, revelando uma área majoritariamente preservada, a não ser por alguns poucos pontos situados nos limites da UC (Figura 2); tal fato remete à necessidade de não apenas se proteger o interior da UC, mas também de se estipular uma Zona de Amortecimento, que seria uma área contígua à da UC com restrições peculiares e com o objetivo de mitigar impactos negativos sobre a UC (BRASIL, 2000).

No PE da Serra de Santo Antônio foram encontrados registros de pequenas áreas com mosaico de agricultura e de pastagem em meio a uma matriz vegetacional predominantemente campestre e savânica (Figuras 2 e 3). Em 2015 foram encontrados vários pontos com indícios de agricultura e até de pastagem no PES da Serra de Santo Antônio (Figura 2), já apresentando indícios de que seria necessário investir na preservação da área, o que foi feito em 2019, via decreto, quando a área foi oficialmente protegida, sendo transformada em Parque Estadual (PIAUÍ, 2019). No ano de 2020 a área ainda apresentava tais indícios (Figura 3), indicando que o período de um ano ainda não foi suficiente para a recuperação da vegetação.

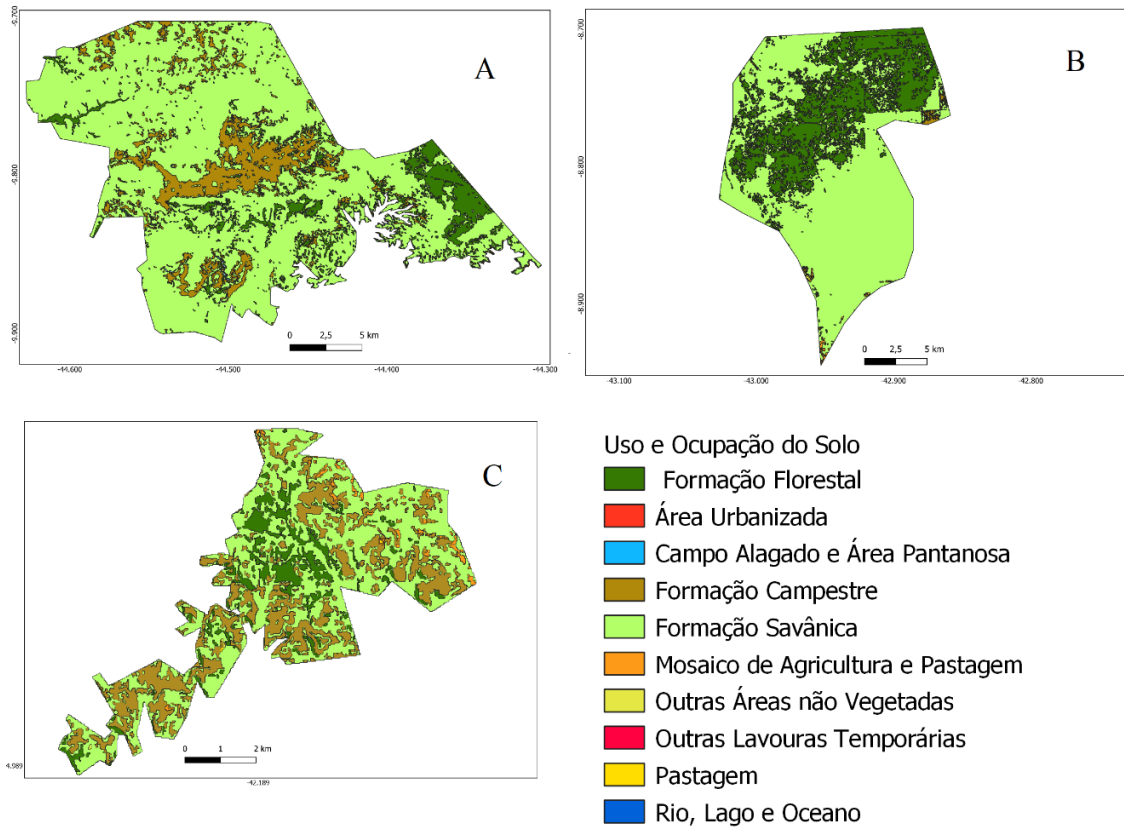
A UC do Rangel foi criada em 1998 como Área de Proteção Ambiental (APA) e abrangia uma menor extensão geográfica (27.458,0 ha). Em 2017, a UC deixou de ser uma Unidade de Uso Sustentável para se tornar uma Unidade de Proteção Integral (Parque) e sua área foi aumentada, passando a ter 38.567,0ha (PIAUÍ, 2017). O que se observa é que a área estava preservada antes da expansão dos seus limites, em 2015 (Figura 2), não sendo encontrados indícios de agricultura ou pecuária, e assim permaneceu até 2020 (Figura 3).

Analisando os valores de NDVI encontrados nesta pesquisa, o Parque Estadual do Rangel apresentou valores máximos variando de 0,77 a 0,80, este último registrado no ano de 2018 (Figura 4). Os valores máximos aparecem sobretudo nas margens de cursos d'água, indicando a manutenção da mata ciliar, mesmo no período seco. Por ser uma UC em Caatinga e devido as imagens selecionadas para análise do Índice ser do período seco, boa parte da UC encontra-se sob baixos valores de NDVI. O ano de 2019 foi o que apresentou maior distribuição de menores valores, o que representa baixo vigor da vegetação, compatível com o período de estiagem. Valores de NDVI próximos a 1 indicam florestas, tanto temperadas quanto tropicais, mas também pode indicar uma área cultivada - uma limitação do método, que pode ser minimizada pela seleção das imagens do satélite adequadas e pela delimitação adequada da escala espacial (MARTINEZ; LABIB, 2023). Atividades humanas também influenciam os valores de NDVI, bem como sua interpretação (ESSAADIA *et al.*, 2022): o desmatamento, por exemplo, reduz os valores, os quais podem ser semelhantes ao encontrados quando existem rochas descobertas. Nesse sentido, é preciso conhecimento de campo para confirmar o que realmente indica o



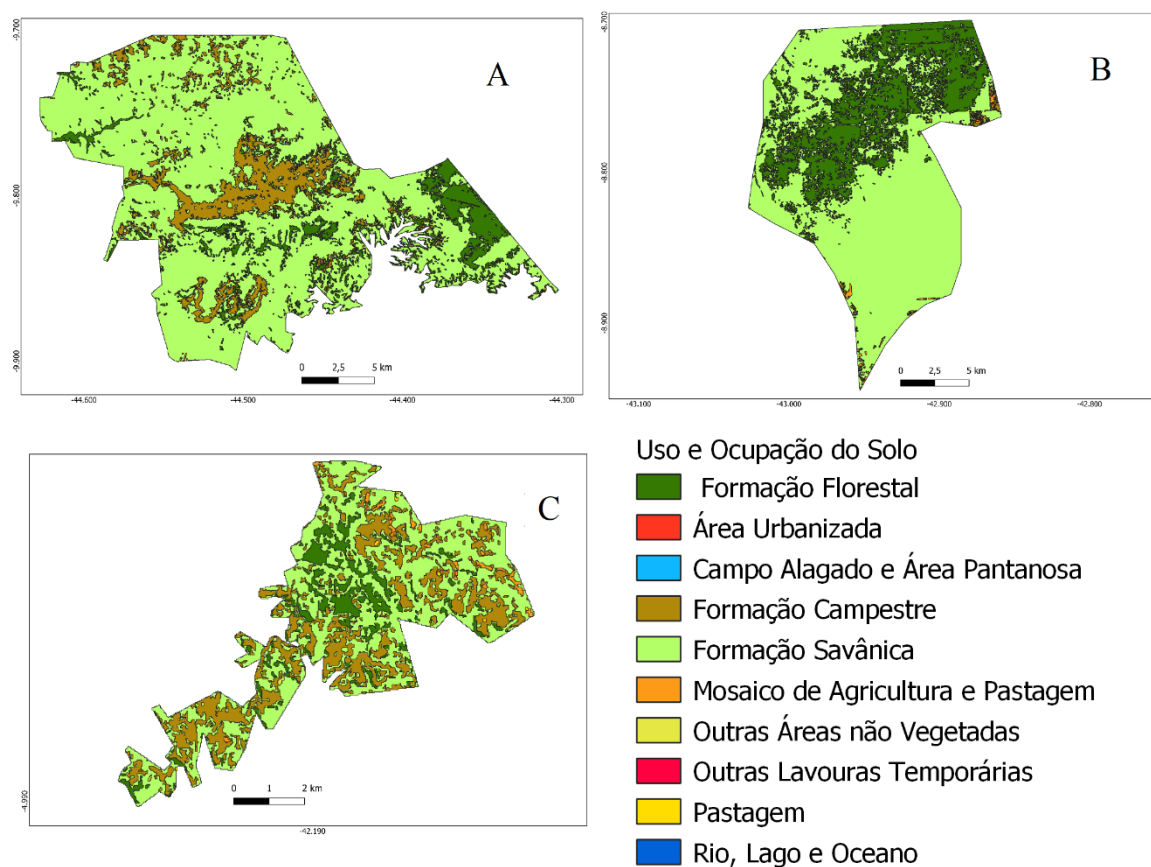
Índice, não sendo, portanto, possível precisar a existência de áreas desmatadas, o que, por outro lado, pode ser feito por meio da análise do uso e ocupação do solo.

**Figura 2.** Uso e ocupação do solo do Parque Estadual do Rangel (A), da Estação Ecológica Chapada da Serra Branca (B) e do Parque Estadual da Serra de Santo Antônio (C) para o ano de 2015.



Fonte: SOUSA, T.P.V.

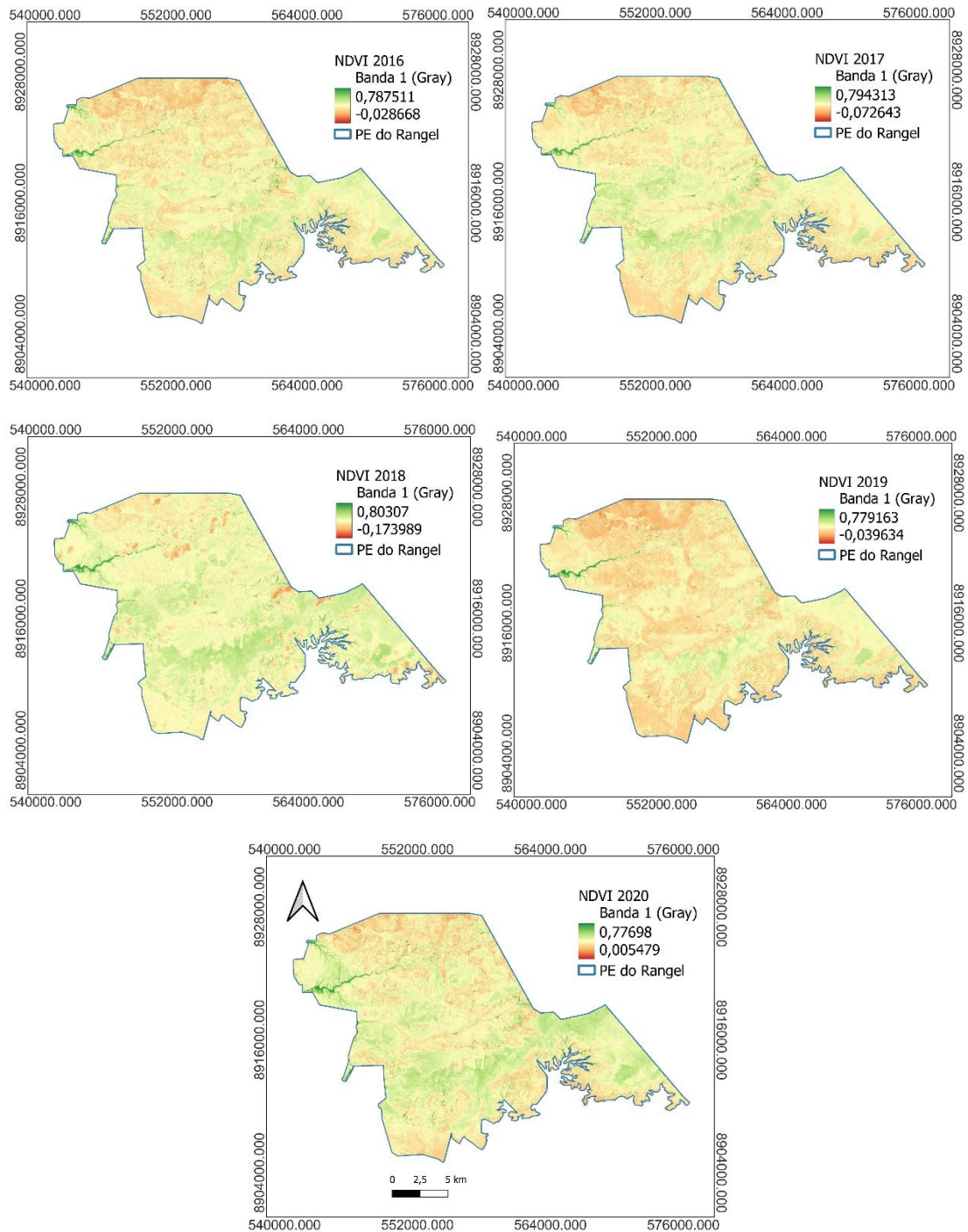
**Figura 3.** Uso e ocupação do solo do Parque Estadual do Rangel (A), da Estação Ecológica Chapada da Serra Branca (B) e do Parque Estadual da Serra de Santo Antônio (C) para o ano de 2020.



Fonte: SOUSA, T.P.V.

A ESEC Chapada da Serra Branca apresentou baixos valores máximos de NDVI, em torno de 0,60, sendo o menor valor máximo registrado para o ano de 2019 (0,46), quando foram registrados valores muito baixos, próximos a zero, ao sul da UC, indicando solo descoberto, muito possivelmente por desmatamento (Figura 5). Na porção centro-norte da UC predominam os maiores valores do Índice, apontando para áreas com cobertura vegetal, mas, com predominância de vegetação aberta, arbustos e/ou árvores caducifólios. É comum as espécies arbóreas da Caatinga apresentarem menores taxas de fotossíntese ( $2$  a  $7 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ) do que, por exemplo, do Cerrado ( $7$  a  $15 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ ), mesmo no período chuvoso (ROJAS, 2002; MARIANO *et al.*, 2009). Assim, naturalmente, é esperado que a vegetação sob esse domínio apresente baixos NDVI, comparado a outros com maior precipitação ou mesmo entre anos dentro de uma mesma área, uma vez que as variações no vigor da vegetação estão diretamente correlacionadas com a severidade da seca ou com a quantidade de chuvas (BARBOSA *et al.*, 2019; FERNANDES *et al.*, 2023). Em 2019 os baixos valores máximos de NDVI nessa UC podem indicar que nesse ano choveu menos que nos demais anos analisados. O NDVI é influenciado também pelo tipo de fitofisionomia presente na região. Assim, tendo em vista que a Caatinga apresenta diferentes fitofisionomias, isso será refletido na distribuição espacial dos valores. Ribeiro *et al.* (2014) atribuíram valores em torno de 0,1 para Caatinga subarbustiva muito rala e maiores que 0,3 para Caatinga arbórea densa, os quais coincidem com os encontrados em boa parte desta unidade.

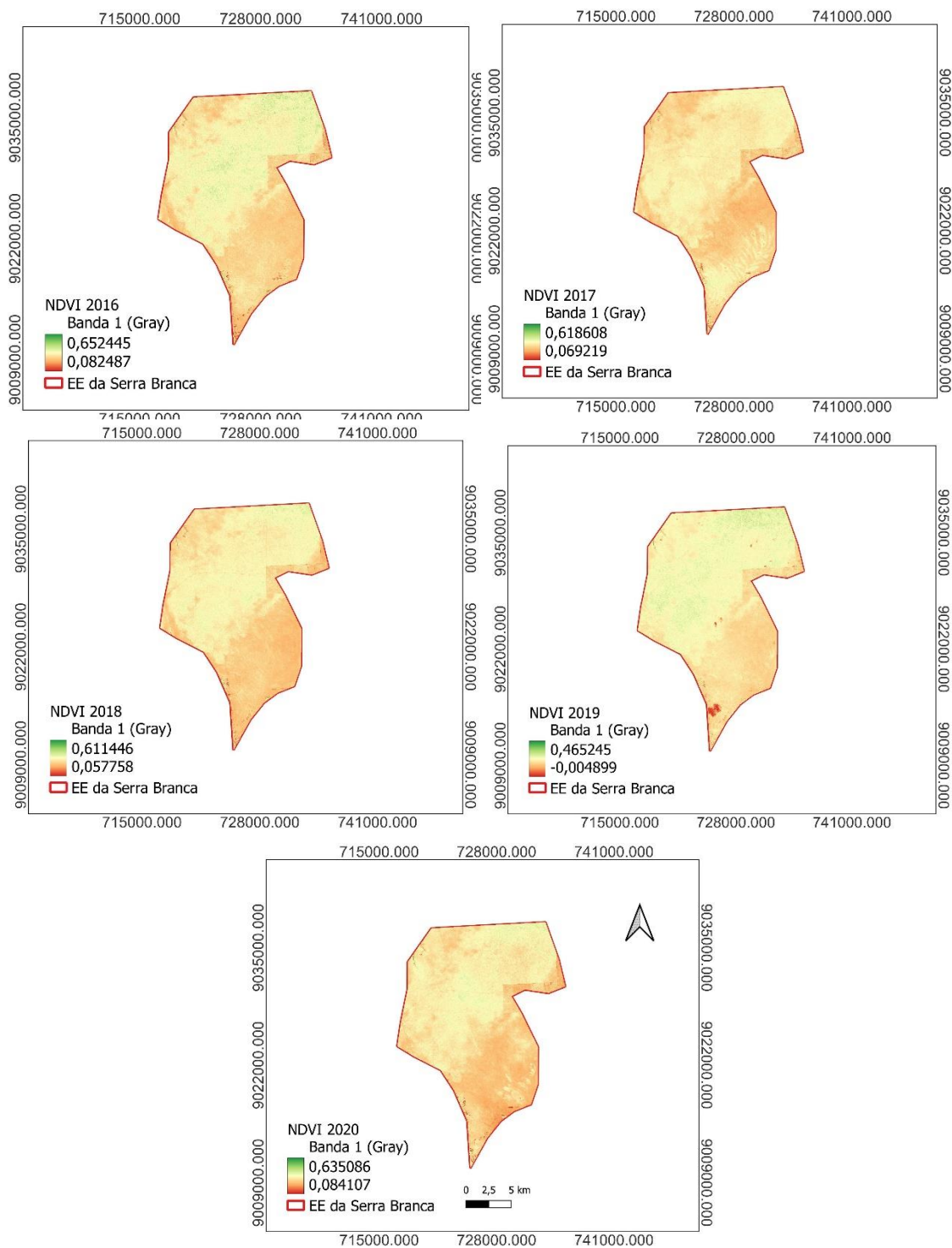
Figura 4. Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) para o Parque Estadual do Rangel de 2016 a 2020.



Fonte: IVANOV, M.M.M.



**Figura 5.** Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) para Estação Ecológica Chapada da Serra Branca, dos anos de 2016 a 2020.



Fonte: IVANOV, M.M.M.

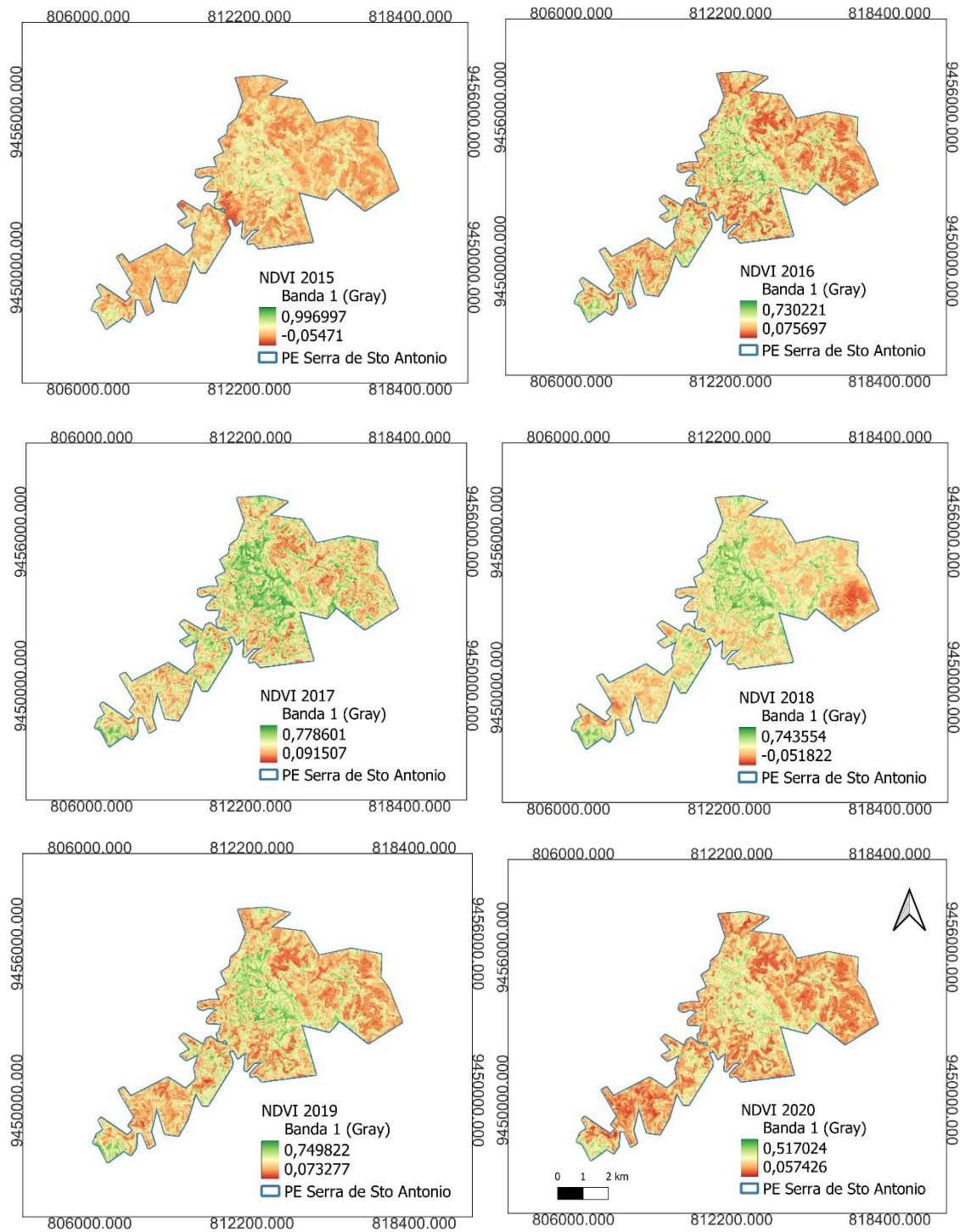
O NDVI para o PE da Serra de Santo Antônio apresentou valores máximos variando de 0,99 (em 2015) a 0,51 (2020), mas na faixa de 0,7 para a maioria dos anos, indicando vegetação com alto vigor, compatível com porte florestal, em especial na porção central da unidade. Todavia, a maior parte da área encontra-se com baixos valores de NDVI (Figura 6), especialmente nos anos de 2015 e 2020. O Parque, apesar de estar sob o domínio da Caatinga, de acordo com o mapa de biomas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2004),

apresenta predominância de Neossolos litólicos com vegetação de campo rupestre e campo cerrado (BARROS, 2012), o que levou, dentre outros fatores, o IBGE a reavaliar os limites do Cerrado e a propor uma nova distribuição, abrangendo, agora, o município de Campo Maior (IBGE, 2019). Tais confusões devem ao fato de que Campo Maior situa-se em uma zona de transição entre Caatinga hiperxerófila, Cerrado sub-caducifólio, Floresta sub-caducifólia e Carrasco – o chamado Complexo de Campo Maior - ora com predominância de espécies típicas da Caatinga, ora com as de Cerrado (SOUSA *et al.*, 2009; FARIAS; CASTRO, 2004), dependendo da localidade de estudo. A ausência de uma vegetação florestal bem distribuída por toda a área (BARROS; CASTRO, 2006) expõe mais o solo rochoso, o que se refletiu nos valores de NDVI, com maior distribuição dos baixos valores do índice, apesar de que, das três UC, esta foi a que apresentou os maiores valores máximos, alcançando próximo a +1 (o limite máximo para o índice), o que aponta para áreas florestais bem conservadas.

Incêndios florestais e queimadas afetam o vigor da vegetação e, portanto, o NDVI. Nessa linha de entendimento, Santos *et al.* (2018) analisaram as mudanças da cobertura vegetal do Cerrado nos anos 2000 a 2014 através da utilização do NDVI, quantificando e espacializando as queimadas obtidas através de produtos MYD14 e MOD14, estimados pelo sensor MODIS, e seus dados de queimadas foram comparados com os dados obtidos do NDVI, onde foi possível verificar a interferência das queimadas na composição biofísica e na mudança da vegetação ao longo dos anos. Assim, é possível que outro fator que esteja afetando os valores registrados entre os anos nas áreas selecionadas para este estudo seja as queimadas. Por isso, a fim de saber se incêndios florestais tiveram algum efeito sobre as diferenças no NDVI ao longo dos anos nas UC piauienses, foi feito o levantamento dos focos de calor para o mesmo período (2015 a 2020).

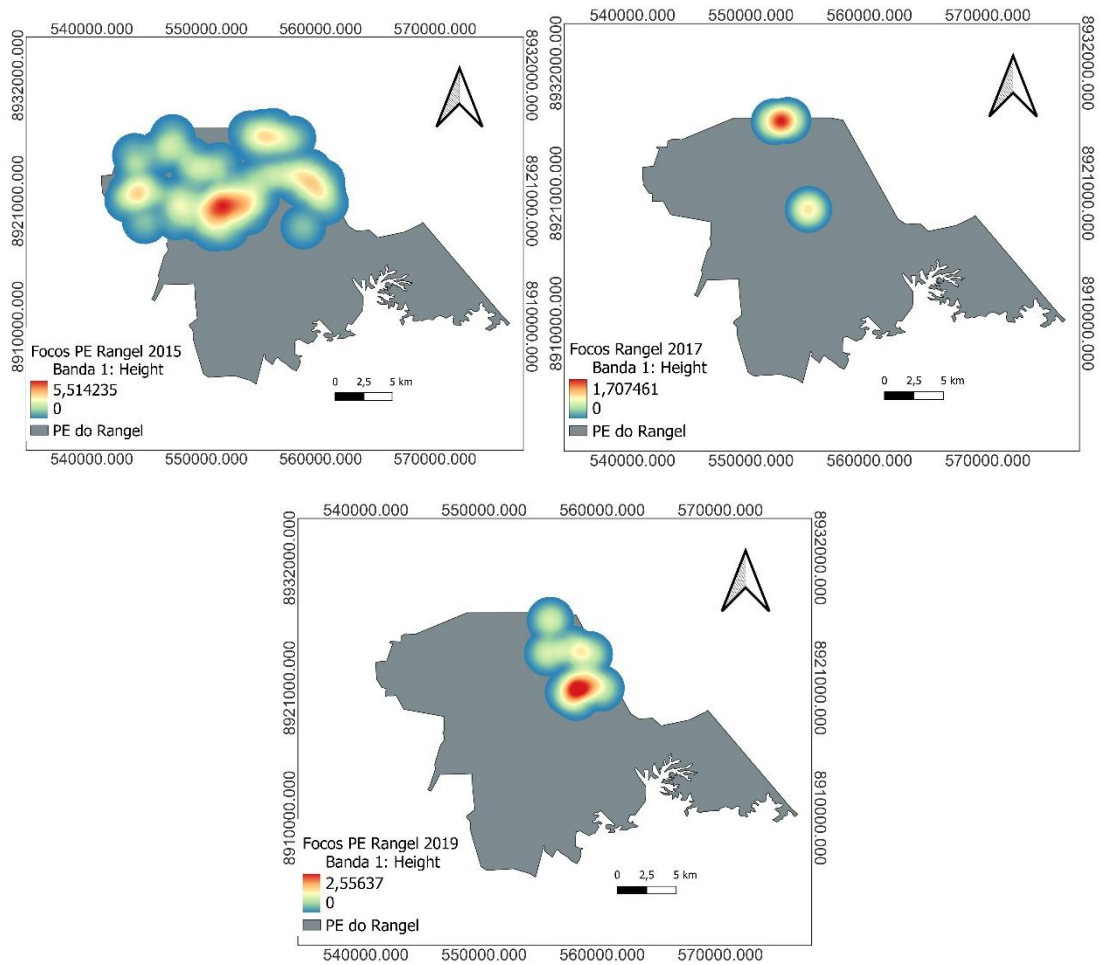
Para o PES do Rangel, observou-se que houve ocorrência de focos de calor para os anos de 2015, 2017 e 2019, com o ano de 2015 apresentando a maior densidade (5,51) (Figura 7). Todavia, os focos de calor apareceram concentrados na porção norte do Parque, o que coincide com a região da UC onde os menores valores de NDVI aparecem com maior frequência. A ESEC Chapada da Serra Branca apresentou registros apenas nos anos de 2016 e 2018, com densidade máxima de 7,17 (Figura 8). Nos anos de 2017 a 2019, valores muito baixos de NDVI foram registrados primordialmente na porção sul do Parque (Figura 5), muito provavelmente como resultado das queimadas que aconteceram nos anos em que houve focos detectados (Figura 8). O PES da Serra de Santo Antônio foi o que apresentou menos indícios de queimadas, com apenas três focos em sua área sendo registrados para o ano de 2016 (Figura 9). Devido à variação interanual presente nos valores de NDVI, e a ausência de registros significativos de focos de calor nos anos analisados, entende-se que este não foi um fator que afetou o vigor da vegetação nas áreas estudadas entre anos. Nota-se que incêndios florestais não foram um problema no Parque Estadual da Serra de Santo Antônio nos anos avaliados.

**Figura 6.** Índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) para o Parque Estadual da Serra de Santo Antônio, dos anos de 2015 a 2020.



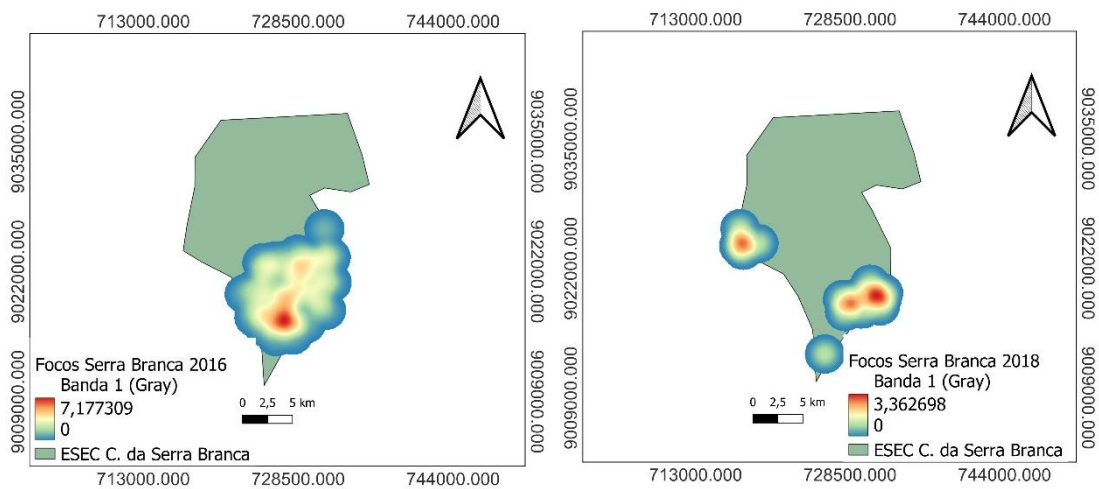
Fonte: IVANOV, M.M.M.

Figura 7: Densidade de Kernel (focos de calor) para o Parque Estadual do Rangel.



Fonte: IVANOV, M.M.M.

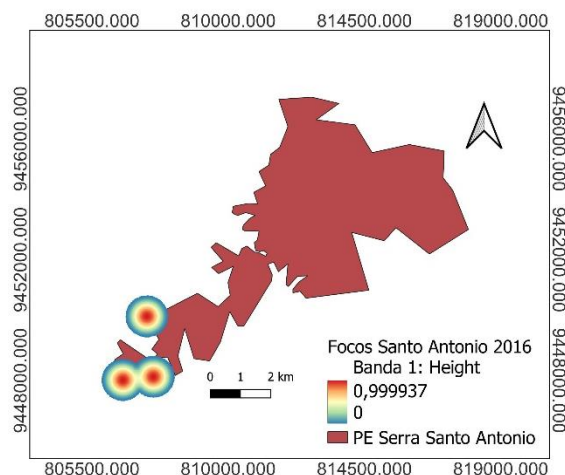
Figura 8: Densidade de Kernel (focos de calor) para a Estação Ecológica Chapada da Serra Branca.



Fonte: IVANOV, M.M.M.



**Figura 9:** Densidade de Kernel (focos de calor) para o Parque Estadual da Serra de Santo Antônio.



Fonte: IVANOV, M.M.M.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A predominância de formações savânicas e campestres em detrimento das florestais nas três UC analisadas explica os baixos valores de NDVI distribuídos pelas áreas, não estando os baixos índices associados necessariamente a desmatamentos, de forma que os parâmetros avaliados neste trabalho apontam para áreas de vegetação protegidas e bem preservadas. A densidade de focos de calor ao longo do ano e entre anos foi baixa nas UC estudadas e, assim, praticamente não houve influência de queimadas entre os anos sobre o vigor da vegetação (com reflexo sobre o NDVI). Apesar de poucos pontos com agricultura ou pecuária terem sido registrados nas UC, é preciso enfatizar que se tratam de Unidades de Proteção Integral e que, portanto, não deve haver uso e ocupação do solo nessas classes.

**Agradecimentos.** As autoras agradecem ao Programa de Iniciação Científica Voluntária da Universidade Federal do Piauí, que incentivou a realização desta pesquisa.

**Contribuição dos autores.** Thaysa Pâmella Vieira de Sousa: responsável pela elaboração dos mapas e redação do artigo. Marlete Moreira Mendes Ivanov: definição do tema, elaboração do projeto, orientação da pesquisa, revisão do texto do manuscrito, elaboração de mapa, revisão das normas de acordo com o estabelecido pela Revista.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, J.J.A.; ARAUJO, M.A.; NASCIMENTO, S.S. Degradação da Caatinga: Uma investigação ecogeográfica. **Revista Caatinga**, v.22, n.3, p.126-135, 2009.
- ANDRADE, M. P.; IADANZA, E. E. S. Unidades de Conservação no Brasil: algumas considerações e desafios. **Revista de Extensão e Estudos Rurais**, v. 5, n. 1, P.81-96, 2016.
- BARBOSA, H.A.; KUMAR, T.V.L.; PAREDES, F.; ELLIOT, 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, p.235-252, 2019.
- BARROS, J.S. Associação entre solos e vegetação nas áreas de transição cerrado-caatinga-floresta na bacia do Parnaíba – sub-bacia do Rio Longá-PI. **Tese** (Doutorado em Ecologia). Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2012.
- BARROS, J.S.; CASTRO, A.A.J.F. Compartimentação geoambiental no complexo de Campo Maior, PI: uma área de tensão ecológica. **Interações: Revista Internacional de Desenvolvimento Local**, v.8, n.13, p.119-130, 2006.
- BERGER, A.; ETTLIN, G.; QUINCKE, C.; RODRIGUEZ-BOCCA, P. Predicting the normalized difference vegetation index (NDVI) by training a crop growth model with historical data. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.161, 2018.



- BERGER, R.; SILVA, J.A.A.; FERREIRA, R.L.C.; CANDEIAS, A.L.B.; RUBILAR, R. Índices de vegetação para a estimativa do índice de área foliar em plantios clonais de *Eucalyptus saligna* Smith. **Ciência Florestal**, v.29, n.2, p.885-899, 2019.
- BRASIL. Lei nº 9.985 de 18 de julho de 2000. Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza. Brasília: **Diário Oficial da União**, 2000.
- DIAS, M.A.M.; SOUSA, B.M.S.; LIMA, J.S.; FEITOSA, Q.A.; IVANOV, M.M.M. Ocorrência de focos de calor em unidades de conservação estaduais no Estado do Piauí, Brasil. In: IVANOV, M.M.M (Org.) **Unidades de Conservação do Estado do Piauí**. Teresina: EDUFPI, 2020. p.49-64.
- ESSAADIA, A.; ABDELLAH, A.; AHMED, A.; ABDELOUAHED, F.; KAMAL, E. The normalized difference vegetation index (NDVI) of the Zat valley, Marrakech: comparison and dynamics. **Heliyon**, v.8, n.12, e.12204, 2022.
- FARIAS, R.R.S.; CASTRO, A.A.J.F. Fitossociologia de trechos da vegetação do Complexo de Campo Maior, Campo Maior, PI, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v.18, n.4, p.949-963, 2004.
- FERNANDES, G.S.T.; MACHADO, I.L.S.S.; GUEDES, F.R.C.M.; SOUSA, M.K.M.; LIMA, E.A. Gross primary productivity by remote sensing in the Serra das Confusões National Park, Piauí, Brazil. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**, v.29, n.100890, 2023.
- HAUFF, S.N. **Representatividade do Sistema Nacional de Unidades de Conservação na Caatinga**. Brasília: PNUD, 2010.
- HUANG, S.; TANG, L.; HUPY, J. P.; WANG, Y.; SHAO, G. A commentary review on the use of normalized difference vegetation index (NDVI) in the era of popular remote sensing. **Journal of Forestry Research**, v.32, p.1-6, 2021.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Mapa de biomas do Brasil**. 2004. Disponível em: [https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes\\_ambientais/estudos\\_ambientais/biomas/mapas/biomas\\_5000mil.pdf](https://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/estudos_ambientais/biomas/mapas/biomas_5000mil.pdf). Acesso em 05 jun. 2023.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Mapa de biomas do Brasil**. 2019. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/cartas-e-mapas/informacoes-ambientais/15842-biomas.html>. Acesso em: 15 dez. 2022.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. **Landsat**. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/documentacao/satelites/landsat#:~:text=Esse%20programa%20foi%20inicialmente%20denominado,%2D1%20ou%20LANDSAT%2D1>. Acesso em 17 mai. 2022.
- IVANOV, M.M.M. **Unidades de conservação do estado do Piauí**. Teresina: Edufpi, 2020.
- JONES, H.G.; VAUGHAN, R.A. **Remote sensing of vegetation: principles, techniques, and applications**. Oxford: Oxford University Press, 2010.
- KRIEGLER, F.J.; MALILA, W.A.; NALEPKA, R.F.; RICHARDSON, W. Preprocessing transformations and their effect on multispectral recognition. **Proceedings of the 6th International Symposium on Remote Sensing of Environment**. Ann Arbor, MI: University of Michigan, p.97-131, 1969.
- LEITE, R.S.; IVANOV, M.M.M. Caracterização das unidades de conservação do estado do Piauí. In: IVANOV, M.M.M. **Unidades de conservação do estado do Piauí**. Teresina: Edufpi, 2020. p.15-48.
- LEUZINGER, M. D. Uso público em unidades de conservação. In: **Anais do 8 Congresso do Magistério Superior de Direito Ambiental da APRODAB, PUC-Rio de Janeiro**. 2010.
- MARIANO, K.R.S. BARRETO, L.S.; SILVA, A.H.B.; NEIVA, G.K.P.; RIBEIRO, A.J.; AMORIM, S.M.C. Fortossíntese e tolerância protoplasmática foliar em *Myracrodruon urundeuva* FR. ALL. **Revista Floresta**, v.39, n.4, p.853-859, 2009.
- MARTINEZ, A.I.; LABIB, S.M. Demystifying normalized difference vegetation index (NDVI) for greenness exposure assessments and policy interventions in urban greening. **Environmental Research**, v.220, n. 115155, 2023.
- PIAUI. Decreto nº 13.080, de 02 de junho de 2008. Institui a Estação Ecológica da Chapada da Serra Branca. Teresina: **Diário Oficial do Estado**, 2008. n.101.
- PIAUI. Decreto nº 17.428, de 18 de outubro de 2017. Institui o Parque Estadual do Rangel. Teresina: **Diário Oficial do Estado**, 2017. n.196.
- PIAUI. Decreto nº 18.345, de 08 de julho de 2019. Institui o Parque Estadual da Serra de Santo Antônio. Teresina: **Diário Oficial do Estado**, 2019. n.126.
- PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos: Parêntese, 2010. 127 p.
- PRADO, D.E. As caatingas da América do Sul. In: LEAL, I.R.; TABARELLI, M.; SILVA, J.M.C. **Ecologia e Conservação da Caatinga**. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2003. p.3-74.
- RIBEIRO, G.N.; FRANCISCO, P.R.M.; MORAES-NETO, J.M.; ARAGÃO, K.P. Análise temporal da vegetação de Caatinga utilizando NDVI. **Revista Educação Agrícola Superior**, v.29, n.1, p.3-6, 2014.
- ROJAS, M.H.C. Relações hídricas e fotossíntese em espécies lenhosas de um cerrado stricto sensu em São Carlos, SP. **Tese** (Doutorado em Ecologia e Recursos Naturais). Universidade Federal de São Carlos, São Carlos-SP, 2002.
- ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J.A.; DEERING, D.W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium, 3, 1973. Washington. **Proceedings**. Washington: NASA, v.1, p.309-317, 1973.
- SANTOS, P. R. et al. Análise das queimadas no cerrado e sua relação com o NDVI para os anos de 2000 a 2014. **Revista de Geografia**, v.35, n.2, p.134-157, 2018.
- SCHAEFER, C. E. G. R. et al. Serras e pantanais arenosos: solos e geoambientes em unidade de conservação da Amazônia, Brasil. **Neotropical Biology and Conservation**, v. 15, p. 43, 2020.

- SILVA, A. C. C. et al. Aspectos de ecologia da paisagem e ameaças à biodiversidade em uma unidade de conservação na Caatinga, em Sergipe. **Revista Árvore**, v. 37, n. 3, p. 479-490, 2013.
- SHIMABUKURO, Y. E.; NOVO, E. M.; PONZONI, F. J. Índice de vegetação e modelo linear de mistura espectral no monitoramento da região do Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, p. 1729-1737, 1998. Edição especial.
- SOUSA, S.R.; CASTRO, A.A.J.F.; FARIAS, R.R.S.; SOUSA, G.M.; CASTRO, N.M.C.F. Fitoecologia do Complexo de Campo Maior, Piauí, Brasil. **Publicações Avulsas em Conservação de Ecossistemas**, n.22, 2009.
- SOUSA, T.P.V.; IVANOV, M.M.M. Status das unidades de conservação do estado do Piauí. *In*: IVANOV, M.M.M.; LEMOS, J.R. (Orgs.). **Unidades de conservação do estado do Piauí**. V.2. Teresina: Editora do IFPI, 2022. p.9-32.