

ANÁLISE E COMPARAÇÃO DO ÍNDICE DE UMIDADE SUPERFICIAL DO SOLO NA IDENTIFICAÇÃO DE AMBIENTES DEGRADADOS E PRESERVADOS EM UNIDADES DE CONSERVAÇÃO NA REGIÃO DOS CARIRIS VELHOS/PB, SEMIÁRIDO BRASILEIRO

Leandro Félix da Silva

Universidade Federal da Paraíba, Instituto de Geociências, João Pessoa, PB, Brasil
felixhc.le@hotmail.com

Bartolomeu Israel de Souza

Universidade Federal da Paraíba, Instituto de Geociências, João Pessoa, PB, Brasil
bartolomeuisrael@gmail.com

Vitor Matheus Bacani

Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Três Lagoas, MS, Brasil
vitor.bacani@ufms.br

RESUMO

No semiárido brasileiro, o desmatamento histórico cria grandes áreas degradadas, inclusive em Unidades de Conservação (UCs). O objetivo deste trabalho é identificar, analisar e comparar as áreas onde se concentram os maiores e menores níveis de Índice de Umidade Superficial do Solo (IUSS), em áreas degradadas e com cobertura vegetal em duas UCs localizadas nos Cariris Velhos/PB. Utilizou-se um conjunto de pontos obtidos por meio de trabalhos de campo e de imagens de satélite, sendo mensurados os níveis de IUSS a partir da obtenção e combinação de dados sobre a Temperatura de Superfície (TS) e o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN), durante os períodos chuvoso e seco. Os resultados apontaram que, nas duas UCs, os pontos referentes às áreas degradadas apresentaram IUSS baixo, TS elevada e IVDN baixo, enquanto as áreas preservadas apresentaram níveis elevados de IUSS e IVDN, além de valores altos de biomassa.

Palavras-chave: Caatinga. Desertificação. Geotecnologias.

ANALYSIS AND COMPARISON OF THE SOIL SURFACE MOISTURE INDEX IN THE IDENTIFICATION OF DEGRADED AND PRESERVED ENVIRONMENTS IN CONSERVATION UNITS IN THE REGION OF CARIRIS VELHOS/PB BRAZILIAN SEMIARID

ABSTRACT

In the Brazilian semi-arid region, historic deforestation creates large, degraded areas, including in Conservation Units (CUs). The objective of this work was to identify, analyze and compare the areas where the highest and lowest levels of Surface Soil Moisture Index (SSMI) are concentrated, in degraded areas with vegetation cover in two CUs located in Cariris Velhos/PB. A set of points obtained through fieldwork and satellite images were used, with SSMI levels being measured by obtaining and combining data on Land Surface Temperature (LST) and the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), during the rainy and dry periods. The results showed that in both CUs, the points referring to degraded areas presented low SSMI; high LST and low NDVI, while preserved areas had high levels of SSMI and NDVI, in addition to high biomass values.

Keywords: Caatinga. Desertification. Geotechnologies.

INTRODUÇÃO

Em ambientes semiáridos como os que ocorrem na região Nordeste do Brasil, todos os recursos naturais disponíveis (solos, relevo, fauna, clima, vegetação e principalmente a água) são de extrema importância para fixação e o desenvolvimento das populações humanas locais.

Essa relação secular e complexa com estes recursos ocorre mais intensamente mediante o processo de ocupação pelos europeus, com a introdução da agropecuária no século XVII (SOUZA;

SUERTEGARAY; LIMA, 2009; SOUZA; SOUZA, 2016), quando também uma série de diferentes tipos de processo de degradação começam a se desenvolver nesta região com resultados que se estendem até os dias atuais (TRAVASSOS; SOUZA, 2014a; COELHO JUNIOR *et al.*, 2020; LEMOS; SOUZA; DINIZ., 2020).

Os processos de degradação identificados nestes ambientes são os mais variados possíveis, como a erosão, salinização e compactação dos solos, desertificação, diminuição da diversidade vegetal nativa e o comprometimento dos recursos hídricos (GIBBS; SALMON, 2015). Parte dos impactos gerados sobre os recursos naturais, em particular na cobertura vegetal, resulta de ações para atender às necessidades básicas das populações locais, tornando-os suscetíveis principalmente à desertificação, que em última análise atua como facilitador desse processo de degradação devido à exploração direta ou uso excessivo de recursos naturais (ZHOU *et al.*, 2015; BEZERRA *et al.*, 2020).

São estabelecidas, assim, situações extremamente prejudiciais, não só para o equilíbrio e manutenção dos sistemas naturais do semiárido, mas também para sustentação das populações humanas locais, criando também dificuldades nos mais amplos campos socioeconômicos (TRAVASSOS; SOUZA, 2014b). Neste cenário, deve-se destacar que com o decorrente avanço destes variados tipos de degradação sobre as áreas ainda preservadas, é exigido cada vez mais o entendimento de suas causas para que se possa propor novas alternativas, medidas e soluções que auxiliem na mitigação, assim como tentar conter os seus avanços.

É nessa perspectiva que devemos associar também as tecnologias atuais, que podem contribuir de forma significativa nos estudos aplicados aos diferentes tipos de degradação, em especial a desertificação que ocorre no semiárido brasileiro. Destaca-se nesse cenário uma série de propostas metodológicas que visam analisar os ambientes naturais e antropizados dessa parte do país, bem como relacioná-las de forma integrada (RUFINO; SILVA, 2017; SILVA; SOUZA; BACANI, 2019; ALMEIDA; CORRÊA, 2020).

Além do desenvolvimento das mais variadas técnicas e metodologias aplicadas, também se torna necessário o papel do Estado e sua atuação na criação, regulamentação e aplicação de dispositivos legais que possam regular a interação das atividades humanas com os recursos naturais disponíveis a partir de políticas públicas aplicadas que visem o bem comum.

No Brasil, uma das mais importantes políticas públicas criadas no sentido de preservação, conservação e uso racional dos recursos naturais é o Sistema Nacional de Unidades de Conservação (SNUC), instituído pela Lei Federal nº. 9.985 de 18 de julho de 2000, onde temos a criação das Unidades de Conservação (UCs), denominação dada às áreas naturais passíveis de proteção por suas características especiais, e dentre elas, a Área de Proteção Ambiental (APA), que se configura como uma categoria de UC de uso Sustentável (BRASIL, 2021a).

O SNUC considera como APA uma área em geral extensa, com certo grau de ocupação humana, dotada de atributos abióticos, bióticos, estéticos ou culturais, especialmente importantes para a qualidade de vida e o bem-estar das populações humanas, tendo como objetivos básicos proteger a diversidade biológica, disciplinar o processo de ocupação e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais (BRASIL, 2021b).

Mediante a problemática exposta, o objetivo deste trabalho é identificar, analisar e comparar as áreas onde se concentram os maiores e menores níveis de Índice de Umidade Superficial do Solo (IUSS), com pontos amostrais referentes as áreas degradadas pela desertificação e áreas de vegetação mais preservadas, a relação de cada uma dessas situações com a temperatura de superfície (TS) e o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN), em duas UCs localizadas na região dos Cariris Velhos, Paraíba/Brasil.

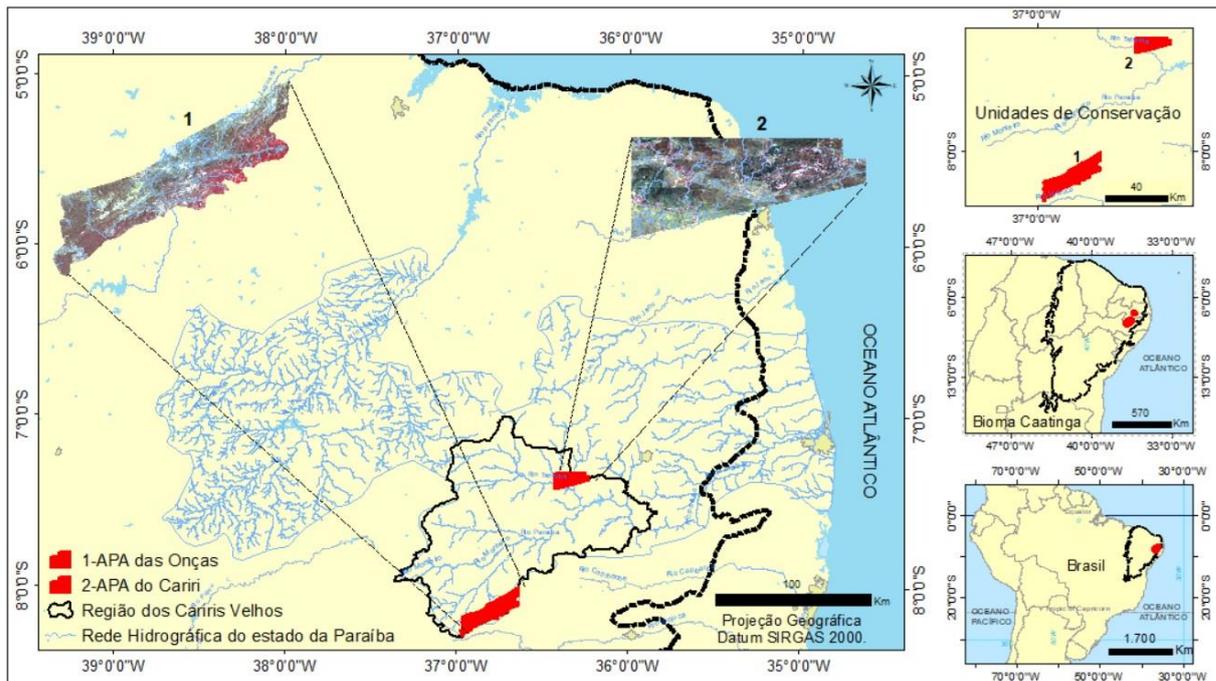
METODOLOGIA

Materiais e métodos

As áreas de estudo consistem nas duas maiores Unidades de Conservação (UC) da Paraíba, a Área de Proteção Ambiental (APA) do Cariri (PARAÍBA, 2004), ocupando cerca de 156 km², e a APA das Onças (PARAÍBA, 2002), com aproximadamente 386 km², ambas situadas na região dos Cariris Velhos, nos domínios do bioma Caatinga, semiárido brasileiro (Figura 1).

A região dos Cariris Velhos está submetida ao clima semiárido de Köppen (1931) - BSh. Souza, Suertegaray e Lima, (2009) apontam que a chuva para esta região não é homogênea, apresentando variabilidade espacial distinta, assim como no volume e no tempo de ocorrência, o que influencia diretamente nas formações vegetais compostas predominantemente por diversas tipologias de Caatinga.

Figura 1 - Localização das Unidades de Conservação pesquisadas

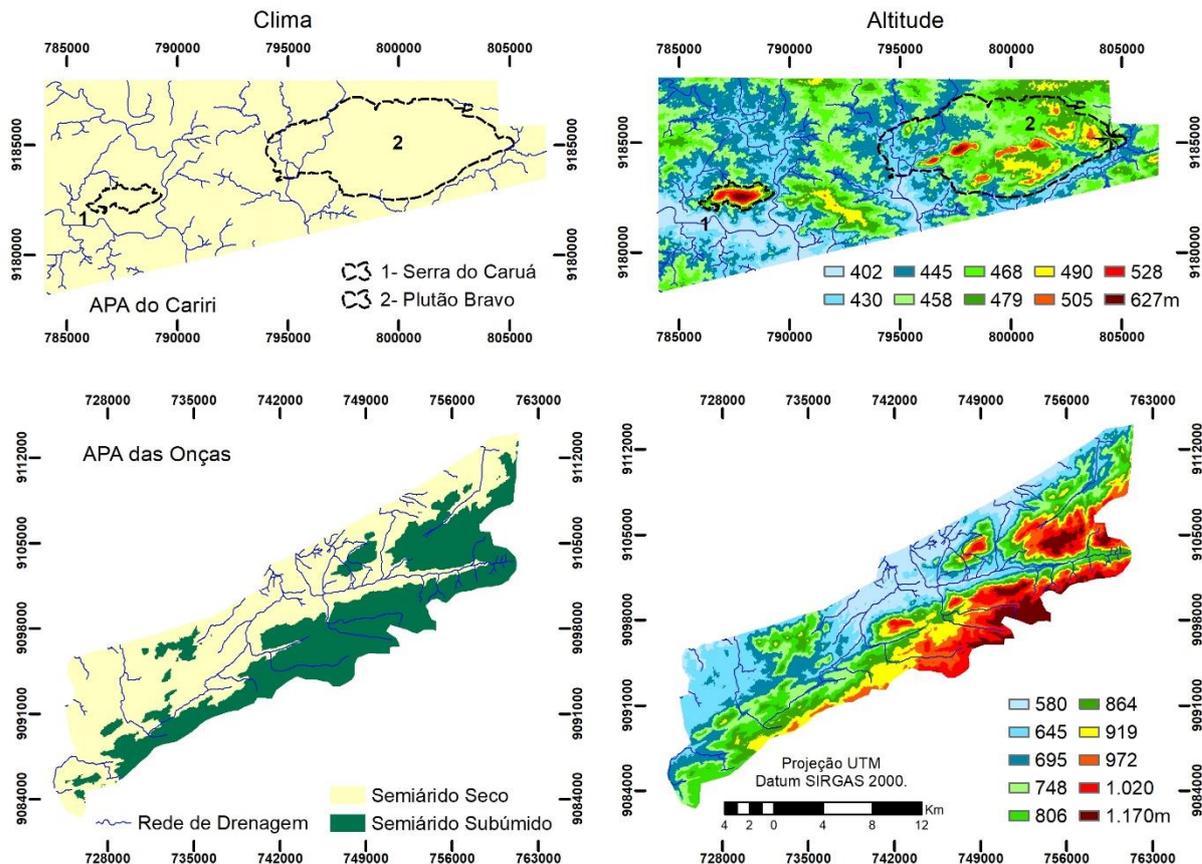


Elaboração: Os autores, 2024.

No contexto anteriormente destacado, a APA do Cariri está localizada onde o clima predominante é o semiárido seco (INSA, 2014) com médias anuais pluviométricas extremamente baixas, de 400 a 500 mm/ano, e temperaturas elevadas ao longo do ano, variando entorno de 25 a 27°C (média anual), fazendo desta região, segundo Souza, Suertegaray e Lima, (2009), a mais seca do Brasil. As altitudes variam de 402 a 627 m, sendo os pontos mais elevados localizados especificamente na Serra do Caruá e na região do Plutão Bravo, que consiste em um grande afloramento rochoso, conhecido regionalmente como Lajedo (Figura 2).

As Áreas de Exceção desta UC são formadas por estreitas faixas de vegetação oriundas de outros biomas de caráter mais úmido, localizadas no entorno dos grandes afloramentos rochosos nas baixas altitudes, rodeados pela presença das Caatingas secas (LUNGUINHO *et al.*, 2015; SILVA; SOUZA; BACANI, 2019). Sobre os solos, segundo o IBGE (2012a), são encontrados o Luvissole Crômico em grande parte da UC e o Neossolo Litólico na região do Plutão Bravo.

Figura 2 - Clima e altitude da APA do Cariri e das Onças. Adaptado de INSA (2014)



Elaboração: Os autores, 2024.

Na APA das Onças os climas estabelecidos são o semiárido seco e o semiárido subúmido (Figura 2). A pluviosidade nas áreas mais baixas e planas são menores que 600 mm anuais (clima seco), porém nas áreas mais altas de serras (clima subúmido) o índice pluviométrico é bem mais elevado, ultrapassando 800 mm ao ano (PORTO; CABRAL; TABARELLI, 2004). Segundo Borges, Pacheco e Mariano, (2017), no município em que se encontra essa UC (São João do Tigre) a temperatura média anual é de 28° C, com amplitude térmica de 10° C, sendo que a menor temperatura média mensal ocorre no mês de julho (18° C) e a maior em dezembro (37° C).

As cotas altimétricas variam de 580 a 1.170 m nas áreas mais elevadas, onde encontram-se as Áreas de Exceção também conhecidas como Brejos de Altitude (MEDEIROS; CESTARO, 2019; SILVA; SOUZA, 2020). Os solos são compostos por Argissolo Vermelho-Amarelo especificamente na porção sudeste (SE), sobre as serras, Planossolo Nátrico nas áreas planas ao norte (N), Planossolo Háplico ao oeste (O), Luvissoilo Crômico em pequenas áreas ao norte (N) e o Neossolo Litólico predominando em quase toda a UC (IBGE, 2012b).

Dados das imagens de satélite

As imagens que foram utilizadas são produtos do satélite Landsat 8, sensor OLI (*Operational Land Imager*), dos meses de abril (chuvoso) e outubro (seco) para a APA do Cariri, e de junho (chuvoso) e outubro (seco) para a APA das Onças, ambas do ano de 2019. Foram corrigidas geometricamente no nível 1T (L1T) para todas as bandas multiespectrais, incluindo a banda 10 na região do infravermelho termal do sensor TIRS (*Thermal Infrared Sensor*), a órbita ponto 215/065 para APA do Cariri e 215/066 para APA das Onças, obtidas gratuitamente em USGS Explorer (USGS, 2019). A escolha dos referidos meses se deu por conta da representatividade de cada um em relação aos períodos chuvoso e seco

nessa região, além de apresentarem ausência total ou parcial de nuvens, de forma a preservar a visibilidade e os resultados obtidos.

Na sequência, todas as imagens multiespectrais foram submetidas ao processo de correção radiométrica, sendo carregadas no *software* ENVI 5.3 (EXELIS, 2019) no formato de arquivo MTL. Em seguida, por meio da ferramenta *Radiometric Calibration*, aplicou-se o algoritmo de correção simultaneamente para todas as bandas. Após terem sido todas corrigidas radiometricamente, as bandas foram submetidas ao processo de correção atmosférica através da ferramenta *FLAASH Atmospheric Correction*, que utiliza o algoritmo de correção *Moderate Resolution Transmission Mode (MODTRAN)*. Ainda nesta ferramenta, foram ajustados alguns parâmetros como: tipo de sensor, no caso o OLI, e, para o modelo atmosférico, definiu-se a categoria *Tropical*; já no modelo de aerossol, a categoria utilizada foi a *Rural; 2-band (K-T)* para a recuperação de aerossol e a visibilidade inicial de 30 km.

A próxima etapa foi realizar a normalização das imagens corrigidas atmosféricamente, que equilibra automaticamente os níveis cinza de cada pixel por meio da aplicação de uma função gaussiana, a partir da ferramenta *Band Math*, ainda no *software* ENVI 5.3 (EXELIS, 2019).

Temperatura de superfície (TS)

Para obtenção da temperatura de superfície terrestre (TS), foi utilizada a banda do infravermelho termal, banda 10 (B10), do sensor TIRS com intervalo espectral de 10.6 - 11.19 μm , e foi utilizada durante ambos os meses, representando os dois períodos (chuvoso e seco).

Para obtenção dos valores de temperatura foram necessárias três etapas importantes: a primeira consistiu na conversão dos níveis de cinza da banda do termal em radiância espectral, desenvolvida através da Equação 1.

$$L_{\lambda} = \left(\frac{L_{\text{max}\lambda} - L_{\text{min}\lambda}}{Q_{\text{cal max}} - Q_{\text{cal min}}} \right) * (Q_{\text{cal}} - Q_{\text{cal min}}) + L_{\text{min}\lambda} \quad (1)$$

onde:

L_{λ} = radiância espectral ($\text{W}/\text{m}^2 \text{sr}^1 \cdot \mu\text{m}^1$)

Q_{cal} = valor quantizado e calibrado do pixel em nível de cinza (DN)

$Q_{\text{cal min}}$ = valor mínimo do pixel em níveis de cinza (DN= 1)

$Q_{\text{cal max}}$ = valor máximo do pixel em níveis de cinza (DN= 255)

$L_{\text{min}\lambda}$ = radiância espectral mínima ($1.238 \text{ W}/\text{m}^2 \text{sr}^1 \mu\text{m}^1$)

$L_{\text{max}\lambda}$ = radiância espectral máxima ($15.303 \text{ W}/\text{m}^2 \text{sr}^1 \mu\text{m}^1$)

Na segunda etapa, os valores de radiância foram transformados em temperatura, representada em graus Kelvin (K), e consistiu na Equação 2.

$$TS = \frac{K_2}{\ln(K_1/L_{\lambda} + 1)} \quad (2)$$

onde:

TS = temperatura de superfície

\ln = constante da equação

L_{λ} = radiância espectral (Resultado da eq.2)

K_1 = constante de calibração 1 ($607.76 \text{ W}/\text{m}^2 \text{sr}^1 \mu\text{m}^1$)

K_2 = constante de calibração 2 ($1260.56 \text{ W}/\text{m}^2 \text{sr}^1 \mu\text{m}^1$)

As constantes de calibração (K1 e K2) utilizadas foram obtidas no arquivo de metadados (MTL) contido no pacote de informações junto as bandas, via o *download* das imagens no site do USGS.

A terceira e última etapa foi a conversão do TS, que apresenta seus valores de temperatura em graus Kelvin (K), para graus Celsius (°C), sendo obtida a partir da Expressão:

$$TS_{°C} = TS_K - 273.15$$

onde:

TS °C = temperatura de superfície (Celsius)

TS K = temperatura de superfície Kelvin (Resultado da eq.2)

273.15 = temperatura equivalente a 0 em graus Celsius

Índice de vegetação por diferença normalizada (IVDN)

O índice de vegetação da diferença normalizada (IVDN) foi proposto por Rouse *et al.* (1973) e foi obtido por meio da Equação 3.

$$IVDN = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}} \quad (3)$$

onde:

ρ_{NIR} = reflectância no infravermelho próximo

ρ_{RED} = reflectância no vermelho

Os valores normalmente variam de -1, que indica ausência de vegetação, a 1, indicando presença máxima de vegetação. Para esse propósito, foram utilizadas as bandas do vermelho (B4) e do infravermelho próximo (B5) corrigidas de ambos os meses. Essas bandas foram processadas no software ArcGIS 10.8 (ESRI, 2019), onde foi aplicada a Equação 3 por meio das ferramentas do *ArcToolbox - Spatial Analyst Tools - Map Algebra - Raster Calculator*.

Índice de umidade superficial do solo (IUSS)

O índice de umidade superficial do solo (IUSS) foi proposto por Zhan, Qin e Wang, (2004) e ajustado por Wang *et al.* (2010) para regiões semiáridas na China e adaptado por Lopes *et al.* (2011) para o semiárido brasileiro na região do Seridó (RN), que leva em consideração a relação entre os parâmetros bio e geofísicos resultantes da TS e o IVDN, consistindo nas etapas descritas a seguir.

A primeira consiste na aplicação do cálculo do IUSS para os valores obtidos a partir do TS (ZHAN *et al.*, 2004; LOPES *et al.*, 2011), conforme a Equação 4.

$$IUSS_{TS} = \frac{TS_{max} - TS}{TS_{max} - TS_{min}} \quad (4)$$

onde:

IUSS_{TS} = índice de umidade calculada diretamente do TS

TS = temperatura de superfície

TS_{min} = valor mínimo de TS

TS_{max} = valor máximo de TS

Em seguida, aplica-se o cálculo de IUSS ajustado para o IVDN (WANG *et al.*, 2010; LOPES *et al.*, 2011) de acordo com a Equação 5.

$$IUSS_{IVDN} = 1 - \left(\frac{IVDN_{max} - IVDN}{IVDN_{max} - IVDN_{min}} \right) \quad (5)$$

onde:

IUSSIVDN = índice de umidade calculado diretamente do IVDN

IVDN = índice de vegetação por diferença normalizada

IVDNmin = valor mínimo de IVDN

IVDNImax = valor máximo de IVDN

A constante 1 refere-se à inversão dos valores pois, quanto maior o valor do IVDN, maior também o índice de umidade da superfície (WANG *et al.*, 2010; LOPES *et al.*, 2011).

E por fim, aplica-se o último cálculo para se obter o IUSS final (LOPES *et al.*, 2011), no qual utilizou o IUSS médio gerado a partir da relação entre o IUSSTS e IUSSIVDN, conforme demonstra a Equação 6.

$$IUSS = \frac{IUSS_{TS} + IUSS_{IVDN}}{2} \quad (6)$$

sendo:

IUSS = índice de umidade de superfície do solo

IUSSTS = índice de umidade calculado diretamente do TS

IUSSIVDN = índice de umidade calculado diretamente do IVDN

O IUSS final apresentará valores que variam de 0 para superfícies mais secas e 1 para superfícies mais úmidas (ZHAN; QIN; WANG, 2004; WANG *et al.*, 2010; LOPES *et al.*, 2011; SILVA; SOUZA; ARTIGAS, 2022). Todos os cálculos desta etapa também foram executados no *software* ArcGis 10.8 (ESRI, 2019) por meio das ferramentas *ArcToolbox - Spatial Analyst Tools - Map Algebra - Raster Calculator*.

Pontos amostrais e áreas em comum entre os períodos

Os pontos amostrais foram criados a partir de pontos reais coletados em campo no ano de 2019 utilizando receptor de Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS) nas duas APAs, além de outros obtidos em imagens de satélite dos períodos chuvoso e seco, a partir de duas classes: 1) Áreas Desertificadas e 2) Áreas Preservadas, no qual foram definidas visualmente pelas imagens de satélite na presença da vegetação nativa não alterada pelos modos de uso da terra, principalmente o desmatamento, somado ao conhecimento a campo da área estudada.

Para a APA do Cariri, foram utilizados 50 pontos amostrais, enquanto para a APA das Onças foram empregados 100 pontos amostrais, todos no formato *shapefile* (SHP), conforme descrito no Quadro 1.

Quadro1 - Pontos amostrais.

APA	Ponto Áreas Desertificadas		Ponto Áreas Preservadas		Total
Cariri	10 - GNSS	15 - Imagem	10 - GNSS	15 Imagem	50
Onças	10 - GNSS	40 - Imagem	10 - GNSS	40 Imagem	100

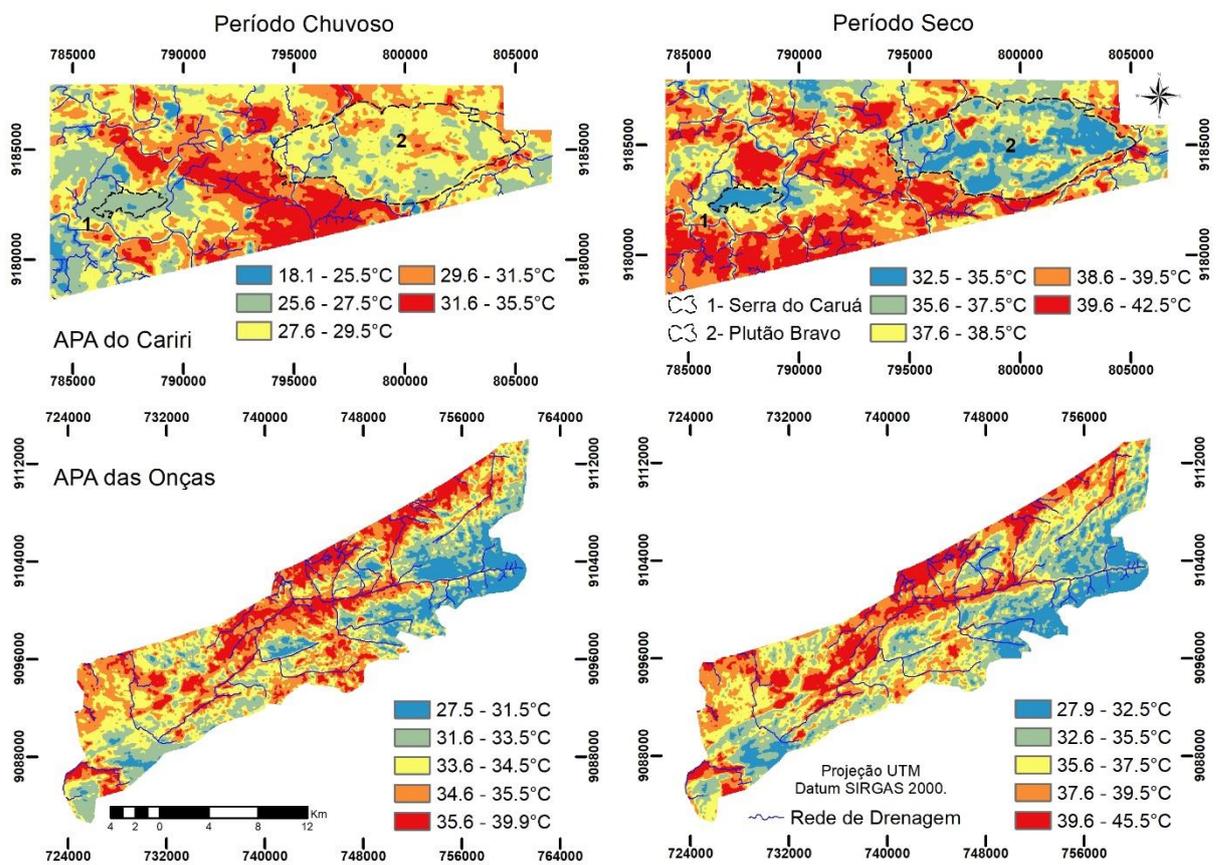
Fonte: Os autores, 2024.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Temperatura de superfície (TS) e índice de vegetação por diferença normalizada (IVDN)

O primeiro resultado obtido foi a temperatura de superfície - TS (Figura 3) de ambas as APAs. A APA do Cariri apresentou o valor mínimo de 18,1°C e máximo de 35,5°C no período chuvoso (abril), e no seco (outubro) as temperaturas de superfícies foram bem mais elevadas, com mínimas de 32,5°C e máximas de 42,5°C. Na APA das Onças, o valor mínimo registrado no período chuvoso foi de 27,5°C, tendo como máxima 39,9°C. No período seco, o valor mínimo foi similar ao da estação chuvosa, em torno de 27,9°C, enquanto os valores máximos chegaram a atingir a 45,5°C. Ao comparar os valores gerais de TS entre as duas UCs, nota-se que a APA das Onças apresentou TS bem maiores em ambos os períodos.

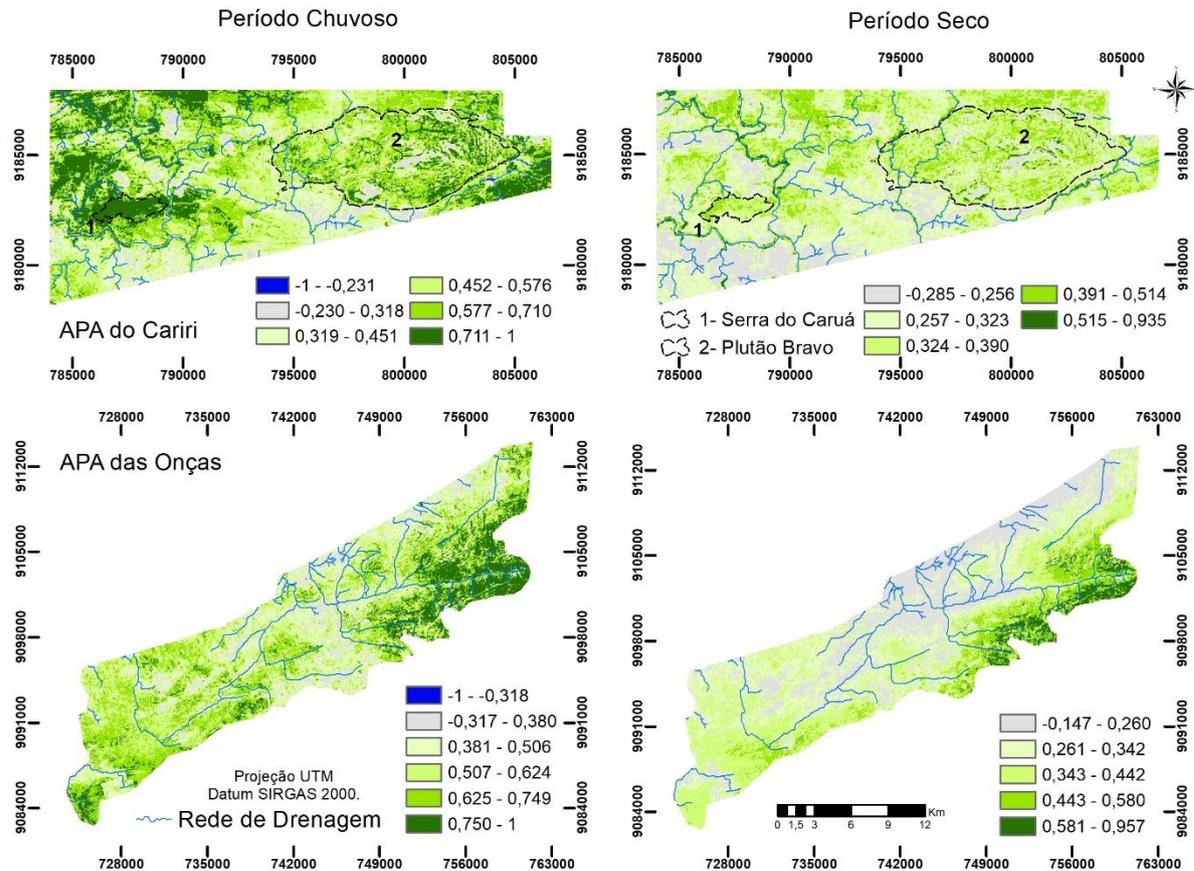
Figura 3 - Temperatura de superfície – TS nas UCs pesquisadas



Elaboração: Os autores, 2024.

O IVDN (Figura 4) apresentou para ambas as APAs valores que variaram de -1 (indicando corpos d'água) até o máximo 1, na estação chuvosa. Na estação seca, os valores de biomassa passaram a ser diferenciados em cada UC, sendo que a APA do Cariri registrou valores mínimos de -0,285 e máximos de 0,935, enquanto na APA das Onças os valores foram de -0,147 (mínimo) e de 0,957 (máximo) de biomassa.

Figura 4 - Índice de Vegetação por Diferença Normalizada – IVDN nas UCs pesquisadas



Elaboração: Os autores, 2024.

Um fator de elevada importância é a pluviosidade nesta região do semiárido paraibano, que apresenta comportamentos bem diferentes relacionados à sua distribuição, conforme mencionado anteriormente (LIMA; SOUZA; ARTIGAS, 2022). Isso impacta diretamente na diversidade e estrutura do ciclo de sobrevivência das formações vegetais, influenciando na deciduidade, assim como na perenidade das plantas da Caatinga e, principalmente, nas Áreas de Exceção.

Neste sentido, os altos valores de biomassa no período chuvoso tendem a ser mais comuns devido à maior disponibilidade hídrica para as plantas de espécies caducifólias e xerófilas da Caatinga. Por outro lado, os altos valores de biomassa do período seco são de ocorrência exclusiva das Áreas de Exceção de ambas as APAs, cada uma por razões diferentes (SOUZA; MACÊDO; SILVA, 2015; BALÉN; SOUZA; LIMA, 2016; QUEIROZ *et al.*, 2021).

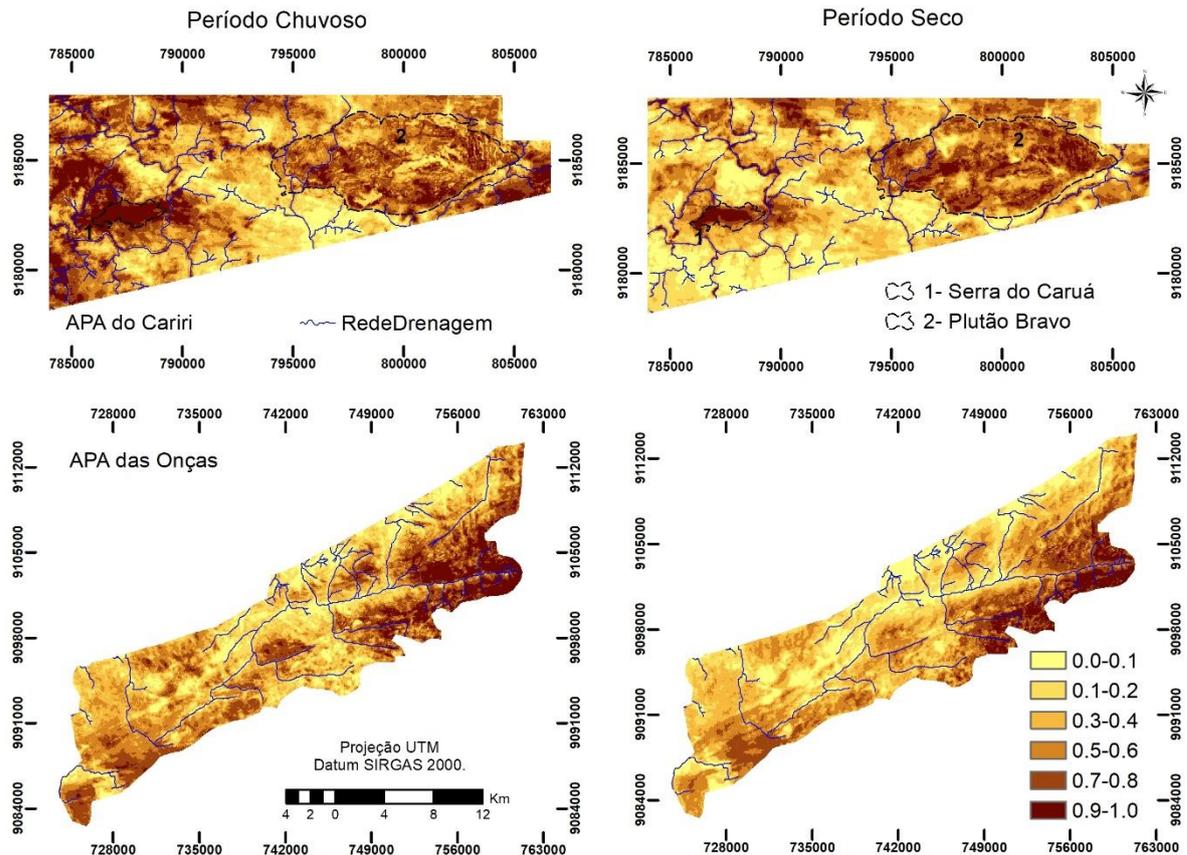
Na APA do Cariri, as Áreas de Exceção são preservadas devido aos extensos afloramentos rochosos. Esses afloramentos possibilitam o escoamento das águas das chuvas, permitindo o acúmulo no solo entre um afloramento e outro. Devido às grandes estruturas dos afloramentos, estes acabam por impedir que a umidade seja dissipada pelo calor durante o período de estiagem, interagindo com outras variáveis que permitem a sustentação desses ambientes mais úmidos, dominando uma vegetação perene praticamente o ano todo, como observado por Lunguinho *et al.* (2015) nessa UC, assim como constatado em outras regiões de clima seco no mundo (YATES *et al.*, 2019; CLARK-IOANNOU *et al.*, 2021).

Na APA das Onças, os valores elevados de biomassa das Áreas de Exceção no período seco estão relacionados principalmente às grandes altitudes e à maior pluviosidade disponível nessas áreas, quando comparada às áreas de altitudes mais baixas dessa parte do semiárido (ARAÚJO; SOUZA; MACHADO, 2021).

Índice de umidade superficial do solo – IUSS

O IUSS das duas UCs variou de 0.0 para as áreas mais secas e 1.0 para as áreas com maior concentração de umidade superficial (Figura 5), conforme os limiares estabelecidos por Lopes et al. (2011). Na sequência, foram comparados também os níveis de IUSS, TS e IVDN, com os pontos inseridos de áreas desertificadas e preservadas do período chuvoso e seco das duas APAs.

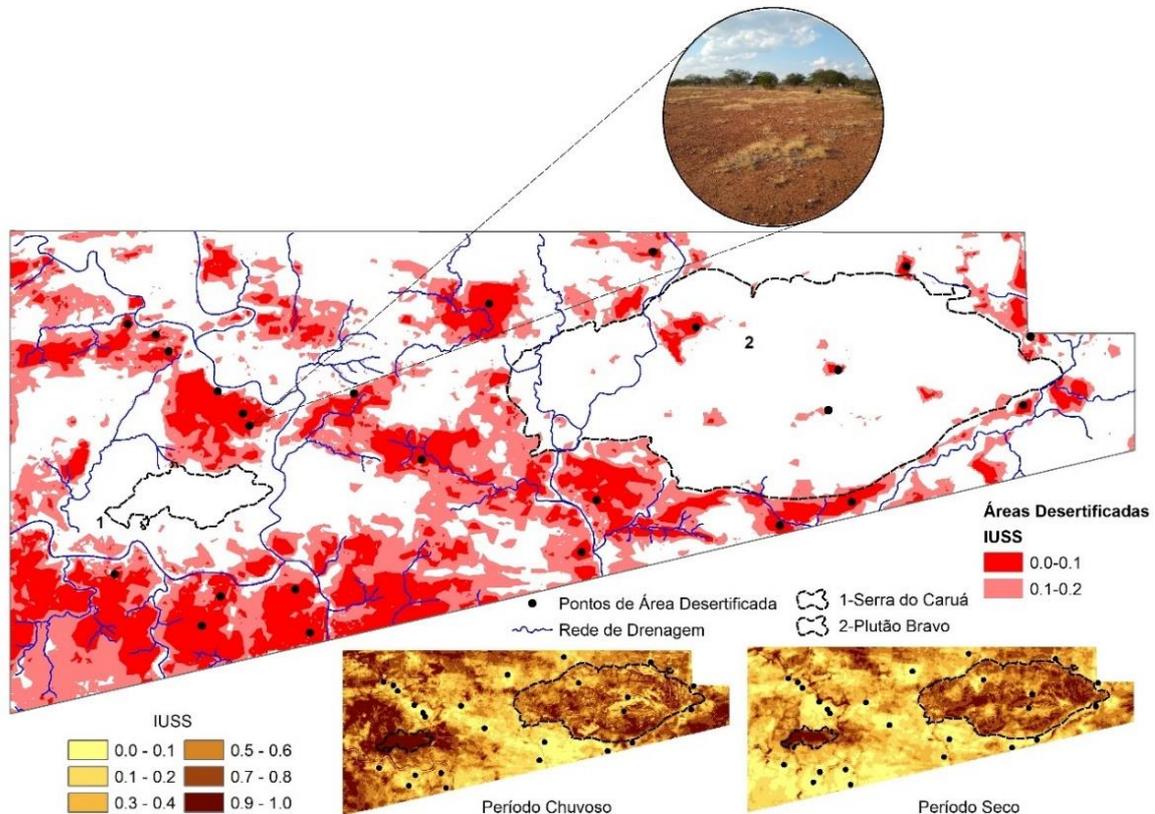
Figura 5 - Índice de umidade superficial do solo – IUSS nas APAs do Cariri e das Onças



Elaboração: Os autores, 2024.

Primeiramente, ao analisar os 25 pontos amostrais utilizados na APA do Cariri, referentes às áreas desertificadas, constatou-se que todos eles estão entre os níveis de IUSS de 0.0 a 0.1 e 0.1 a 0.2, considerados como as áreas mais secas (LOPES *et al.*, 2011; SILVA; SOUZA; ARTIGAS, 2022) em ambos os períodos (chuvoso e seco). A Figura 6 representa as áreas similares com os menores níveis de IUSS, resultante da sobreposição entre os períodos.

Figura 6 - Áreas similares com os menores níveis de IUSS, entre os períodos e os pontos de desertificação na APA do Cariri



Elaboração: Os autores, 2024.

Dos 25 pontos amostrais das áreas desertificadas, constatou-se que 19 deles estavam no intervalo de IUSS de 0,0 a 0,1, apresentando altas TS variando de 31,6 a 35,5°C durante o período chuvoso, com os valores mais baixos de IVDN entre -0,230 e 0,318. Durante a estação seca, todos os 25 pontos estavam no intervalo de IUSS de 0,1 a 0,2, com TS variando de 38,6 a 42,5°C e IVDN entre -0,285 e 0,256, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 - Relação dos pontos das áreas desertificadas da APA do Cariri

Pontos	Chuvoso			Seco			
	IUSS	TS	IVDN	Pontos	IUSS	TS	IVDN
19	0,0 – 0,1	31,6 a 35,5°C	-0,230 – 0,318	25	0,0 – 0,1	38,6 a 42,5°C	-0,285 – 0,256
6	0,1 – 0,2	27,6 a 31,5°C	0,319 – 0,451	0	0,1 – 0,2	0	0

Fonte: Os autores, 2024.

No nível 0,1 – 0,2 de IUSS, os pontos foram identificados apenas na estação chuvosa, por se tratar de áreas que apresentam vegetação, porém bastante degradadas (SOUZA; MACÊDO; SILVA, 2015) em um total de seis, com TS entre 27,6 e 31,5°C e com a presença de IVDN um pouco mais elevada (0,319 – 0,451).

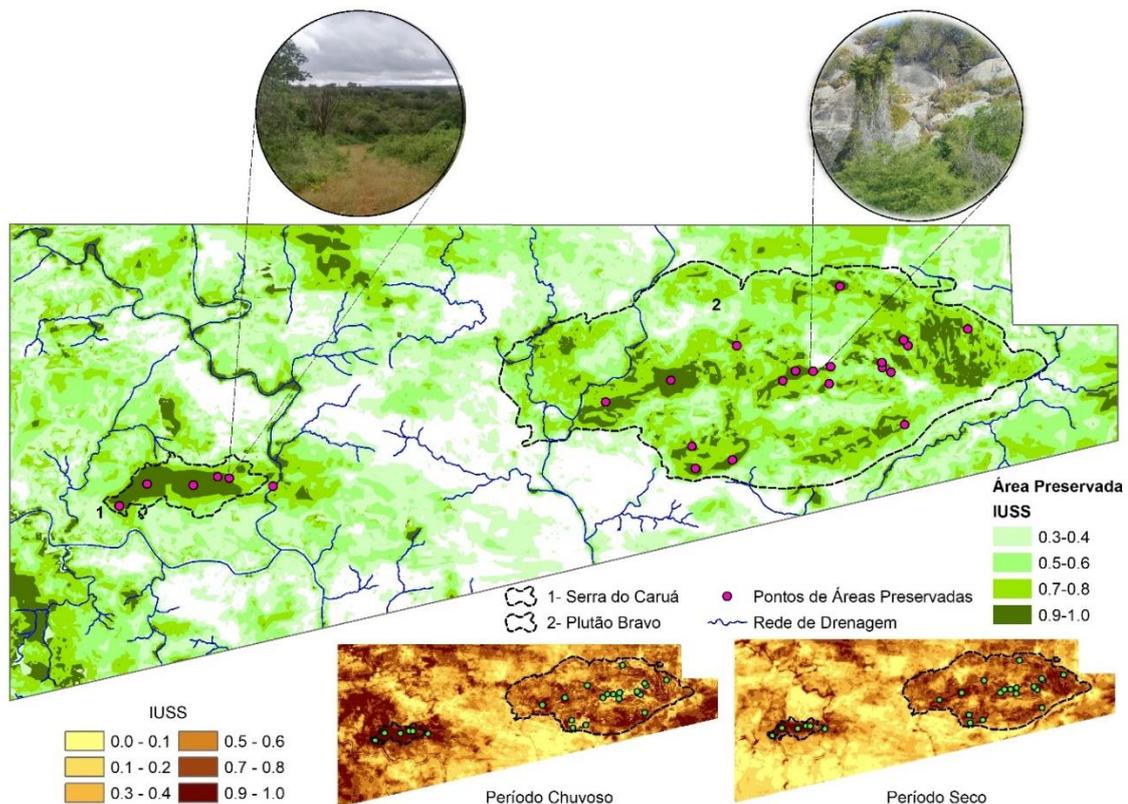
Nesses níveis considerados os mais secos de IUSS da APA do Cariri, todos os pontos de áreas desertificadas apresentaram valores muito baixos ou até inexistentes de presença de biomassa e com os valores mais elevados de TS como características, resultado esse que também foi constatado por Silva et al. (2022) para esta UC. São nessas áreas onde foram identificados os níveis baixos de IUSS que temos processos de degradação na vegetação e nos solos, situadas principalmente próximas à rede de drenagem. Trata-se de áreas planas (0% a 4%) e semiplanas (5% a 10%), com um histórico

de uso da terra desde o período colonial (séc. XVII), com manejos inadequados (TRAVASSOS; SOUZA, 2014a; SOUZA; SOUZA, 2016; LEMOS; SOUZA; DINIZ, 2020).

Importante destacar que o índice de umidade utilizando bandas espectrais de imagens de satélites leva em consideração apenas o teor de água retido na parte superficial do solo, e que segundo Lopes *et al.* (2011) poderá apenas ter relação com respostas da superfície referentes à reflectância em relação ao IVDN e emitância quanto à temperatura da superfície de acordo com o conteúdo volumétrico de água presente no solo, conforme o concluído também por Wang *et al.* (2007).

Os pontos amostrais das áreas preservadas foram identificados especificamente nos maiores níveis de IUSS, de 0.7 a 0.8 e 0.9 a 1.0 na APA do Cariri, concentrados em duas localidades diferenciadas, a Serra do Caruá e o Plutão Bravo (Figura 7).

Figura 7 - Áreas similares com os maiores níveis de IUSS entre os períodos e os pontos de vegetação preservada na APA do Cariri



Elaboração: Os autores, 2024.

Nos 25 pontos de áreas preservadas analisados, o IUSS foi elevado, ficando entre os níveis de 0,7 – 0,8, enquanto a TS ficou entorno de 27,6 a 31,5°C, valores considerados medianos, e com IVDN variando de 0,577 a 1,0 na estação chuvosa. Já na estação seca, a TS variou de 32,5 a 35,5°C, enquanto o IVDN ficou entre 0,324 – 0,514, sendo identificados 8 pontos com valores elevados de temperatura de superfície no período chuvoso e 2 no seco (Tabela 2).

Tabela 2 - Relação dos pontos das áreas preservadas na APA do Cariri

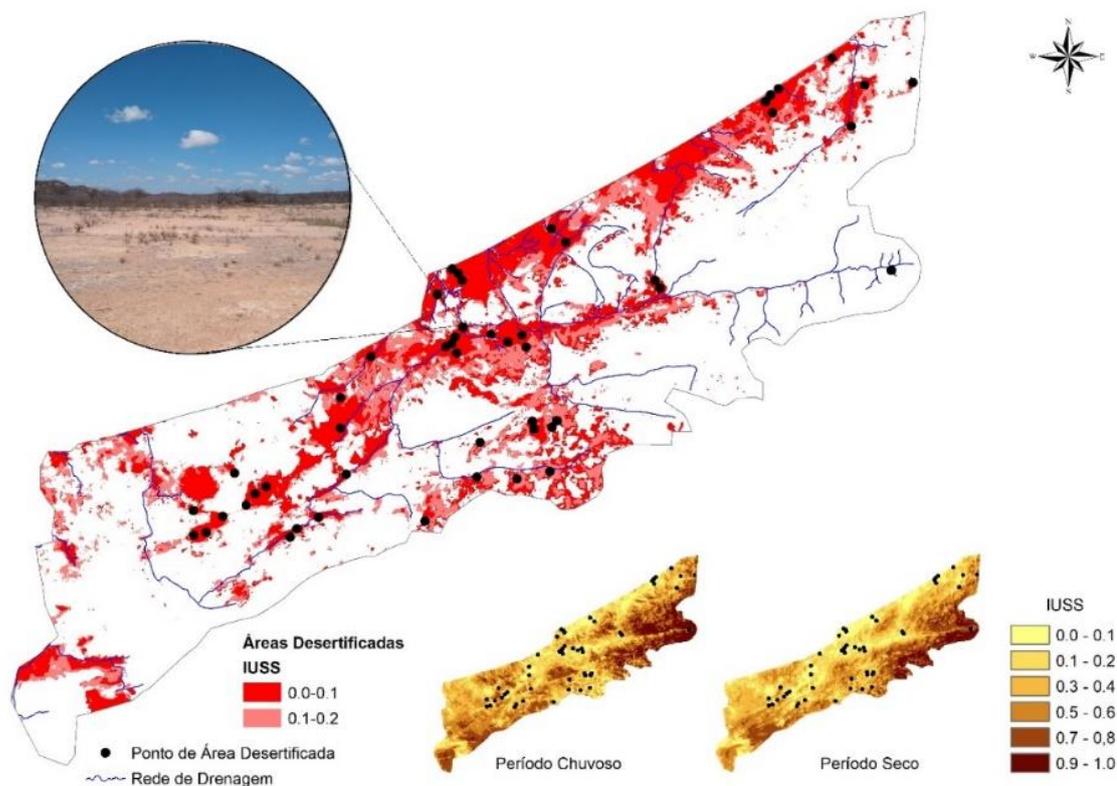
Pontos	Chuvoso			Seco			IVDN
	IUSS	TS	IVDN	Pontos	IUSS	TS	
8	0,7 – 0,8	27,6 a 31,5°C	0,577 - 1	2	0,7 – 0,8	32,5 a 35,5°C	0,324 – 0,514
17	0,9 – 1,0	25,6 a 29,5°C	0,711 – 1	23	0,9 – 1,0	32,5 a 37,5°C	0,391 – 0,935

Fonte: Os autores, 2024.

Nos níveis de 0,9 – 1,0 de IUSS, a TS na estação chuvosa foi de 25,6 a 29,5°C e o IVDN com valores considerados altos, sendo 0,711 – 1, localizados em 17 pontos. Na estação seca, a TS foi de 32,5 a 37,5°C, com IVDN variando também até o máximo (0,391 – 0,935), com 23 pontos identificados neste período. O maior número de pontos neste nível ocorreu no período seco, identificados principalmente na região do Plutão Bravo, onde estão localizadas as Áreas de Exceção da APA do Cariri, como já mencionamos anteriormente.

Para a APA das Onças, também foram aplicados os mesmos critérios e roteiros de análise adotados na APA do Cariri. Ao analisar os 50 pontos amostrais de área desertificada, junto as áreas similares entre o período chuvoso e o seco nesta UC, podemos observar que todos estes pontos estiveram nos níveis mais baixos de IUSS entre 0.0 – 0.1 e 0.1 – 0.2 (Figura 8).

Figura 8 - Áreas similares com os menores níveis de IUSS entre as estações chuvosa e seca e os pontos de desertificação na APA das Onças



Elaboração: Os autores, 2024.

O nível 0,0 - 0,1 apresentou no período chuvoso 48 pontos com TS de 34,6 a 39,9°C e IVDN com valores de -0,317 – 0,506. Já no período seco, a TS foi de 37,6 a 45,5°C, sendo as temperaturas mais elevadas mapeadas, enquanto o IVDN foi de -0,147 – 0,260 (mais baixo), em 44 dos 50 pontos amostrais. No nível 0,1 – 0,2 a TS registrada foi de 33,6 a 39,9°C e o IVDN de -0,317 – 0,506 com 2 pontos de áreas desertificadas no período chuvoso. No período seco, a TS foi de 37,6 a 39,5°C e o IVDN de 0,147 – 0,260 em 5 pontos amostrais, conforme observamos na Tabela 3.

Tabela 3 - Relação dos pontos das áreas desertificadas da APA das Onças

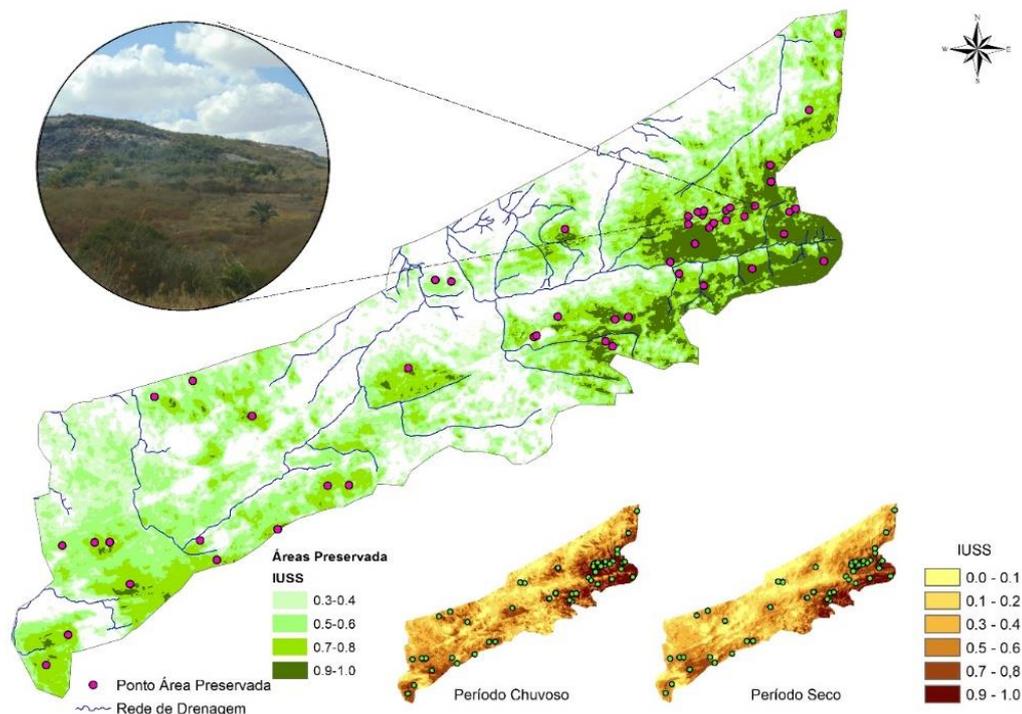
Pontos	Chuvoso			Seco			
	IUSS	TS	IVDN	Pontos	IUSS	TS	IVDN
48	0,0 – 0,1	34,6 a 39,9°C	-0,317 – 0,506	44	0,0 – 0,1	37,6 a 45,5°C	-0,147 – 0,260
2	0,1 – 0,2	33,6 a 39,9°C	-0,317 – 0,506	5	0,1 – 0,2	37,6 a 39,5°C	-0,147 – 0,260

Fonte: Os autores, 2024.

Na APA das Onças, as áreas com baixos níveis de IUSS estão espalhadas em praticamente toda a UC e podem ser relacionadas também as áreas em diferentes estágios de degradação, inclusive desertificadas. Estão localizadas nas áreas de altitude mais baixa que vão do centro ao norte (N) e do nordeste (NE) da APA, onde o clima semiárido seco é mais comum e predominante. Nas altitudes mais elevadas, essas áreas degradadas também foram identificadas em regiões mais planas e semiplanas especificamente no sul (S) e sudoeste (SO), onde as formas de uso da terra são mais constantes e intensas, principalmente impulsionadas pela criação de bovinos.

Ao analisar os pontos amostrais de áreas preservadas e as áreas similares entre os períodos chuvoso e seco na APA das Onças, constatamos uma relação que variou a partir dos níveis médios (0,3 - 0,4) até os mais elevados (0,9 - 1,0) de IUSS (Figura 9).

Figura 9 - Áreas similares com os maiores níveis de IUSS entre os períodos e os pontos de vegetação preservada na APA das Onças



Elaboração: Os autores, 2024.

Nos níveis de IUSS de 0,3 a 0,6, foram identificados 9 pontos e apenas no período seco, com TS variando de 32,6 a 39,5°C e IVDN de 0,261 – 0,442, enquanto no período chuvoso tivemos os níveis 0,7 – 0,8 de IUSS, tendo como resultantes dessa mudança um aumento na TS e uma redução no IVDN desses pontos no período seco, como demonstra a Tabela 4.

Tabela 4 - Relação dos pontos das áreas preservadas na APA das Onças.

Pontos	Chuvoso			Seco			
	IUSS	TS	IVDN	Pontos	IUSS	TS	IVDN
0	0,3 - 0,6	-	-	9	0,3 - 0,6	32,6 a 39,5°C	0,261 - 0,442
19	0,7 - 0,8	27,5 a 34,5°C	0,617 - 1	17	0,7 - 0,8	27,9 a 35,6°C	0,343 - 0,957
31	0,9 - 1,0	27,5 a 33,6°C	0,750 - 1	25	0,9 - 1,0	27,9 a 35,6°C	0,443 - 0,957

Fonte: Os autores, 2024.

Já nos níveis de IUSS entre 0,7 – 0,8, a TS registrou valores 27,5 a 34,5°C no período chuvoso, com IVDN de 0,617 – 1 em 19 pontos, e com TS de 27,9 a 35,6°C e o IVDN variando de 0,343 – 0,957 em 17 pontos na estação seca. Entre o nível 0,9 – 1,0 de IUSS, a TS no período chuvoso foi de 27,5 a 33,6°C e o IVDN registrou o nível máximo de biomassa, 0,750 – 1, com presença em 31 pontos amostrais. No período seco, a TS variou de 27,9 a 35,6°C, tendo o IVDN de 0,443 – 0,957, valor mais elevado registrado de biomassa, com 25 pontos amostrais.

Os pontos amostrais de áreas preservadas para esta APA estão relacionados principalmente às áreas onde a vegetação não sofreu grandes modificações pelas ações antrópicas (QUEIROZ *et al.*, 2021), como as áreas de Caatinga Arbustiva Fechada que se encontram ao longo das vertentes inclinadas das serras, onde prevaleceram os níveis IUSS de 0,3 a 0,6, e também nas altitudes mais elevadas, onde se encontram os Brejos de Altitude e que se mantêm em grande parte da região em bom estágio de preservação com um elevado nível de IUSS (0,7 a 1). Nessas áreas, o uso da terra de maneira antrópica ocorre de forma menos intensa, devido às inclinações elevadas das vertentes, favorecendo a preservação da cobertura vegetal.

De forma geral, foi observado que em ambas as APAs, os pontos amostrais de áreas desertificadas estiveram entre os níveis mais baixos de IUSS (0 a 0,2) e apresentaram praticamente as mesmas características relacionadas à TS, sendo o primeiro e o segundo dos valores mais elevados registrados, tanto na estação chuvosa como na estação seca. O IVDN apresentou os valores mais baixos de biomassa mesmo no período chuvoso, onde a disponibilidade hídrica é maior nas áreas onde predominam a semiaridez mais acentuada da região em análise (SOUZA; SILANS; SILVA, 2004; SANTOS; SILVA; SRINIVASAN, 2007; ALVES; ARAÚJO; NASCIMENTO, 2008; ARAÚJO; MACHADO; SOUZA, 2019), assim como nas altitudes elevadas, onde há pluviosidade mais alta ao longo do ano, como é o caso, em parte da APA das Onças (ARAÚJO; MACHADO; SOUZA, 2019).

Os pontos amostrais das áreas preservadas em ambas as APAs apresentaram características e comportamentos distintos entre si. Na APA do Cariri, os pontos foram identificados apenas nos níveis mais elevados de IUSS (0,7 a 1). Durante o período chuvoso, os valores de TS foram considerados intermediários, variando de 25,6 a 31,5°C. Já no período seco, os valores mínimos registrados foram de 32,5 a 37,5°C, embora ainda considerados altos, especialmente nos pontos de Caatinga Arbustiva Fechada e Áreas de Exceção.

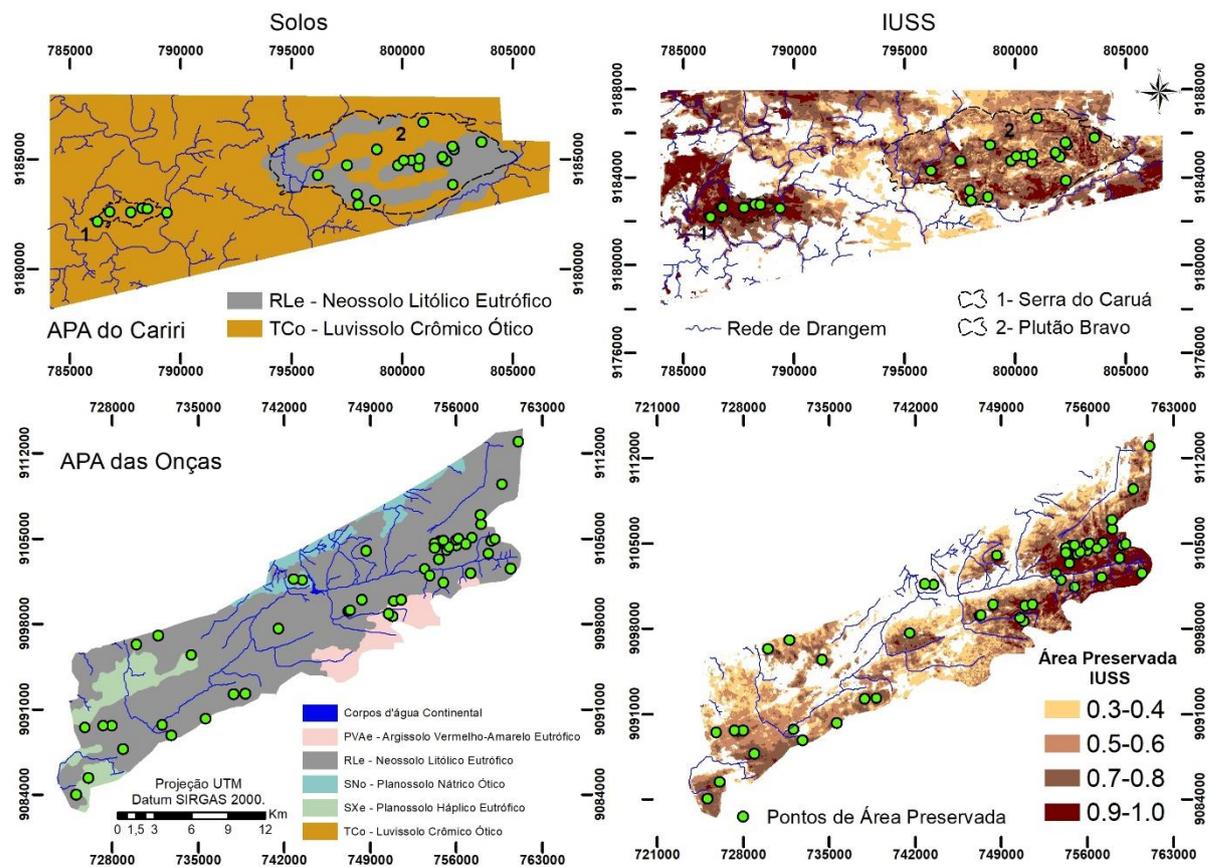
Na APA das Onças, foram identificados pontos nos níveis intermediários de IUSS variando de 0,3 a 0,6, além de pontos nos níveis mais elevados de IUSS (0,7 a 1,0). Em relação à TS, foram observados valores mínimos bastante semelhantes em ambos os períodos, variando de 27,5°C a 34,5°C durante o período chuvoso e de 27,9°C a 35,6°C no período seco, especialmente nas Áreas de Exceção. Isso difere da APA do Cariri, onde todos os pontos apresentaram valores elevados (32,5 a 37,5°C) durante o período seco.

Souza; Macêdo; Silva, (2015) avaliaram diversos trabalhos sobre a temperatura ideal para germinação de plantas comuns do semiárido brasileiro, sendo observado que valores de TS entre 20°C e 30°C são os ideais para sucesso de germinação de sementes, com limite máximo de até 35°C. Silva *et al.* (2022), por sua vez, analisaram valores de TS dos pontos de áreas preservadas na APA do Cariri no período chuvoso, observando que as temperaturas de superfície não ultrapassaram o limiar de 35°C, indicando assim um possível sucesso germinativo nesse período, o que é fundamental para a sucessão ecológica, em se tratando de ambientes que sofreram algum tipo de modificação por atividades humanas.

Estendendo a mesma análise para a APA das Onças, feita no presente trabalho, identificou-se que as TS dos pontos amostrais de áreas preservadas nos níveis de IUSS de 7.0 a 1.0 também não ultrapassaram a marca de 35°C em nenhum dos períodos (chuvoso e seco). Ou seja, podemos inferir que o processo germinativo das plantas dessa região da APA das Onças encontra uma situação favorável quanto à temperatura de superfície para ocorrer em ambos os períodos, quando levado em consideração as condições dos limiares de TS para germinação de sementes, diferente do observado para a APA do Cariri.

Cabe também destacar que a maior parte dos pontos de áreas preservadas de ambas as APAs estão em áreas de Neossolos Litólicos (IBGE, 2012a; IBGE, 2012b), conforme demonstra a Figura 10. Segundo a Embrapa (2021), estes solos são encontrados em relevos declivosos, sendo indicados para a preservação de flora e fauna, uma vez que há limitações relacionados ao uso, devido à pouca profundidade, presença de rochas e aos declives acentuados, sendo que possíveis usos da terra de forma mais intensa podem acarretar elevados processos erosivos.

Figura 10 - Solos e IUSS das áreas preservadas



Levando em consideração as informações levantadas, fica evidente a fragilidade dessas regiões e a importância da preservação destes ambientes em ambas as APAs. Ao mesmo tempo, os resultados demonstram a necessidade urgente de criação de mecanismos em que a população que habita essas UCs utilize essas terras de forma efetivamente sustentável, como pressupõe a categoria em que elas estão classificadas, tal como o disposto pela lei de Unidades de Conservação no Código Florestal Brasileiro (BRASIL, 2021c).

Os resultados de TS e IVDN, provenientes de sensores remotos, mostraram bom desempenho diante da realidade local observada em ambas as UCs analisadas. O IUSS também se mostrou eficaz na análise realizada, evidenciando seu potencial em análises de diferentes paisagens no domínio do semiárido brasileiro, como as estudadas no presente trabalho. Por fim, destacamos que a metodologia desenvolvida é viável para ser replicada em outros ambientes de clima seco, devido ao baixo custo dos produtos utilizados, oriundos de imagens de satélite disponíveis de forma gratuita, podendo ser processadas em Sistemas de Informações Geográficas (SIG) livres.

CONCLUSÕES

Com a utilização do IUSS foi possível identificar parcialmente as áreas potencialmente degradadas principalmente pela desertificação e áreas onde a vegetação encontra-se em um estado relativamente preservado. Isso permitiu a comparação dos comportamentos estimados da TS e do IVDN com base nos valores obtidos em cada uma das duas UCs, que apresentam características naturais em grande parte distintas.

Áreas degradadas pela desertificação apresentaram características similares em ambas as APAs com destaque para a TS por apresentar comportamento diferenciado entre os períodos chuvoso e seco nas

APAs, no qual foi constatado ao longo da pesquisa. A APA das Onças foi mais favorável aos processos germinativos de plantas em ambos os períodos, enquanto na APA do Cariri esse processo foi mais favorável apenas no período chuvoso. Essas características são de elevada importância para compreender as relações biofísicas nessas áreas preservadas e subsidiar projetos de restauração de áreas degradadas. No qual destacamos e sugerimos a importância da realização de uma análise temporal para as áreas estudadas, para que se possa observar e comparar com mais robustez os fenômenos em questão.

AGRADECIMENTOS

À CAPES pela bolsa de doutorado concedida via FAPESQ, ao Programa de Pós-Graduação em Geografia (PPGG UFPB) e à Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS), campus de Três Lagoas, pela parceria no desenvolvimento deste estudo. E ao CNPq, pela Bolsa de Produtividade em Pesquisa – PQ do segundo autor (Processo 309735/2021-1).

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, J. M.; CORRÊA, A. C. B. Conectividade da paisagem e a distribuição de plainos aluviais em ambiente semiárido. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 21, n.1, p. 01-13, 2020. <https://doi.org/10.20502/rbg.v21i1.1663>
- ALVES, J. J. A.; ARAÚJO, M. A.; NASCIMENTO, S. S. Degradação da caatinga: uma investigação ecogeográfica. **Caminhos de Geografia**, v.9, n.27, p. 143-155, 2008. <https://doi.org/10.14393/RCG92715740>
- ARAÚJO, E. D. S.; MACHADO, C. C. C.; SOUZA, J. O. P. Comparação entre o IVDN e o IVAS para vegetação de caatinga nas serras sertanejas-PB. **Caminhos de Geografia**, v.20, n.71, p. 328-343, 2019. <https://doi.org/10.14393/RCG207145661>
- ARAÚJO, E. D. S.; SOUZA, J. O. P.; MACHADO, C. C. C. Variação da vegetação e sua relação com o Índice topográfico de umidade – ITU no enclave subúmido das Serras Sertanejas-Paraíba, Nordeste, Brasil. **Revista RA'E GA**, v.50, p. 153-169, 2021. <https://doi.org/10.5380/raega.v50i0.74614>
- BALLÉN, L. A. C.; SOUZA, B. I.; LIMA, E. R. V. Análise espaço-temporal da cobertura vegetal na área de proteção ambiental do Cariri, Paraíba, Brasil. **Boletim. Goiano de Geografia**, v, 36, n, 3. p. 55-571, 2016. <https://doi.org/10.5216/bgg.v36i3.44558>
- BEZERRA, F. G. S.; AGUIAR, A. P. D.; ALVALÁ, R. C. S.; GIAROLLA, A.; BEZERRA, K. R. A.; LIMA, P. V. P. S.; NASCIMENTO, F. R.; ARAI, E. Analysis of areas undergoing desertification, using EVI2 multi-temporal data based on MODIS imagery as indicator. **Ecological Indicators**. v. 117, p. 01-15, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106579>
- BORGES, U. N.; PACHECO, A. P.; MARIANO, G. Uma Contextualização Espacial e Temática da Geodiversidade: APA das Onças/PB/Brasil. **Revista Estudos Geológicos**. v. 27, n. 2, p. 143-160. 2017. <https://doi.org/10.18190/1980-8208/estudosgeologicos.v27n2p143-160>
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Criação de UC's**. Disponível em: <<https://www.mma.gov.br/areas-protegidas/unidades-de-conservacao/o-que-sao.html>>. Acesso em: 30 out. 2021a.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente – MMA – **Categorias**. Disponível em: <https://antigo.mma.gov.br/areas-protegidas/unidades-de-conservacao/categorias.html>. Acesso em: 30 out. 2021b.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Unidades de Conservação**. Disponível em: <https://www.mma.gov.br/areas-protegidas/unidades-de-conservacao/o-que-sao.html>. Acesso em 30 out. 2021c.
- CLARK-IOANNOU, S. M.; WARDELL-JOHNSON, G. W.; MILLET, J. Multi-scale biogeographic controls over plant communities on granite outcrops in the Southwest Australian Floristic region. **Austral Ecology**, v. 46, p. 627-639, 2021. <https://doi.org/10.1111/aec.13018>

COELHO JUNIOR, L. M.; SANTOS JUNIOR, E. P.; BORGES, L. A. C.; SILVA, M. L. Especialização e localização do valor bruto da produção dos produtos madeireiros nativos nas microrregiões da Paraíba (1994 – 2017). **Ciência Florestal**, v. 30, n. 1, p. 192-204, 2020.

<https://doi.org/10.5902/1980509837816>

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Agência Embrapa de Informação Tecnológica**. 2021 Disponível em:

https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/solos_tropicais/arvore/CONT000gn230xho02wx5ok0liq1mqxhk6vk7.html. Acesso em: 25 set. 2021.

ESRI - Environmental Systems Research Institute. **ArcGIS for Desktop**. Versão. 10.8. Redlands: ESRI, 2019.

EXELIS Visual Information Solutions. **ENVI/software ENVI 5.3**. Bolder, Colorado, 1 Cd Rom. 2019.

GIBBS, H. K.; SALMON, J. M. Mapping the world's degraded lands. **Applied Geograph**, v.55, p. 12-21, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2014.11.024>

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Folha SB 24. Escala 1: 250.000**, 2012a.

Disponível em: ftp://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/geomorfologia/mapas/escala_250_mil. Acesso em: 20 dez. 2019.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Folha SC 24. Escala 1: 250.000**, 2012b.

Disponível em: ftp://geoftp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/geomorfologia/mapas/escala_250_mil. Acesso em: 20 dez. 2019.

INSA - Instituto Nacional do Semiárido. **Clima/shapes**. Escala 1:250.000. 2014. Disponível em:

<http://sigsab.insa.gov.br/acervoDigital>. Acesso em: 20 dez. 2019.

KÖPPEN, W. P. Grundriss der Klimakunde (**Outline of climate science**). Berlin:Walter de Gruyter, 388 p. 1931. Disponível em: <http://koeppe-geiger.vu-wien.ac.at/koeppe.html>. Acesso em: 13 set. 2018.

LEMOS, J. E.; SOUZA, B. I.; DINIZ, M. T. M. Sistemas, caos e o processo de desertificação no semiárido brasileiro: complexidade e interações. **Ateliê Geográfico**, v. 14, n. 01. p. 136- 154, 2020.

<https://doi.org/10.5216/ag.v14i1.57004>

LIMA, V. R. P.; SOUZA, B. I.; ARTIGAS, R. C. Classificação bioclimática da Caatinga na zona

semiárida da bacia do rio Paraíba/PB. **Geosul**, v. 37, p. 259-279, 2022. <https://doi.org/10.5007/2177-5230.2022.e83852>

LOPES, H. L.; ACCIOLY, L. J. O.; SILVA, F. H. B. B.; SOBRAL, M. C. M.; ARAÚJO FILHO, J. C.; CANDEIAS, A. L. B. Espacialização da umidade do solo por meio da temperatura da superfície e índice de vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n. 09. p. 973-980, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662011000900014>

LUNGUINHO, R. L.; SOUZA, B. I.; QUEIROZ, R. T.; CARDOSO, E. C. M. A influência dos lajedos na composição florística do seu entorno, no sítio Salambaia – Cabaceiras – PB. **Revista Equador**, v. 4, n. 3, p. 230-237, 2015. <https://revistas.ufpi.br/index.php/equador/article/view/3643/2119>

MEDEIROS, J. F.; CESTARO, L. A. As diferentes abordagens utilizadas para definir brejos de altitude, áreas de exceção do nordeste brasileiro. **Sociedade e Território**, v.31, n. 2, p. 97–119, 2019. <https://doi.org/10.21680/2177-8396.2019v31n2ID16096>

PARAÍBA. **Decreto n. 22.880 de 25 de março de 2002**. Dispõe sobre a criação da Área de Proteção Ambiental das Onças. João Pessoa, 2002. Disponível em: <http://www.sudema.pb.gov.br>. Acesso em: 20 jun. 2019.

PARAÍBA. **Decreto nº 25.083, de 08 de junho de 2004**. Dispõe sobre a criação da Área de Proteção Ambiental do Cariri. João Pessoa, 2004. Disponível em: <http://www.sudema.pb.gov.br>. Acesso em: 18 set. 2018.

PORTO, K.C.; CABRAL, J. J. C.; TABARELLI, M. **Brejos de altitudes em Pernambuco e Paraíba – história natural, ecologia e conservação**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. 324p. 2004.

Disponível em: <https://www.mma.gov.br/publicacoes/biodiversidade/category/142-serie-biodiversidade.html>. Acesso em: 29 abr. 2020.

- QUEIROZ, R. T.; SOUZA, B. I.; SOUZA, J. J. L. L.; MEDEIROS, J. R.; FONSECA, C. F.; CARDOSO, E. C. M. Extending the limits of campos rupestres in Brazil. **Caminhos de Geografia**, v. 22, p. 115-137, 2021. <https://doi.org/10.14393/RCG228255806>
- ROUSE, J.W.; HAAS, R.H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D.W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. Third Symposium of ERTS, Greenbelt, Maryland, USA, NASA, SP-351, v. 1, p. 309-317, 1973. Disponível em: <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19740022614/downloads/19740022614.pdf>. Acesso em: 25 maio 2022.
- RUFINO, I. A. A.; SILVA, S. T. Análise das relações entre dinâmica populacional, clima e vetores de mudança no semiárido brasileiro: uma abordagem metodológica. BCG - **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 23, n 1, p.166-181, 2017. <http://dx.doi.org/10.1590/S1982-21702017000100011>
- SANTOS, C. A. G.; SILVA, R. M.; SRINIVASAN, V. Análise das perdas de água e solo em diferentes coberturas superficiais no semi-árido da Paraíba. **Revista OKARA: Geografia em debate**, v.1, n.1, p. 16-32, 2007.
- SILVA, L. F.; SOUZA, B. I.; BACANI, V. M. Intensidade da ação antrópica na área de proteção ambiental do Cariri paraibano. **Caminhos de Geografia**, v. 20, n. 71, p.364-383, 2019. <https://doi.org/10.14393/RCG207145788>
- SILVA, L. F., SOUZA, B. I., Fragilidade ambiental na APA das Onças, município de São João do Tigre–PB no semiárido brasileiro. **Revista Continentes**, v17, p.120-148, 2020. Disponível em: <http://revistacontinentes.com.br/index.php/continentes/article/view/269>. Acesso em 25 maio 2022.
- SILVA, L. F.; SOUZA, B. I.; ARTIGAS, R. C. Identification of desertified and preserved areas in a conservation unit in the state of Paraíba – Brazil. **Cuadernos de Investigación Geográfica**, v. 48, n 1, p. 01-20, 2022. <https://doi.org/10.18172/cig.5098>
- SOUZA, B. I.; SILANS, A.; M.; B.; P.; SILVA, J. B. Contribuição ao estudo da desertificação na bacia do Taperoá - PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 8, p. 292-298, 2004. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662004000200019>
- SOUZA, B. I.; SUERTEGARAY, D. M. A.; LIMA, E. R.V. Desertificação e seus efeitos na vegetação e solos do Cariri Paraibano. **Mercator**, v.8, n 16, p. 217-232, 2009 <https://doi.org/10.4215/RM2009.0816.0017>
- SOUZA, B. I. MACÊDO, L. A.; SILVA, G. J. F. Temperatura dos solos e suas influências na regeneração natural da Caatinga nos Cariris Velhos – PB. **Revista RA'E GA**, v.35, p.261 – 287, 2015. <https://doi.org/10.5380/raega.v35i0.41609>
- SOUZA, B. I.; SOUZA, R. S. Processo de ocupação dos Cariris Velhos – PB e efeitos na cobertura vegetal: contribuição à Biogeografia Cultural do semiárido. **Revista Caderno de Geografia –PUC Minas**, v.32, n .2, p. 229-258, 2016. <https://doi.org/10.5752/p.2318-2962.2016v26nesp2p229>
- TRAVASSOS, I. S.; SOUZA, B. I. Os negócios da lenha: indústria, desmatamento e desertificação no Cariri paraibano. **GEOUSP – Espaço e Tempo**, v. 18, n. 2, p. 329-340, 2014a. <https://doi.org/10.11606/issn.2179-0892.geousp.2014.84536>
- TRAVASSOS, I. S.; SOUZA, B. I. Desmatamento e Desertificação no Cariri Paraibano. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.07, n. 1, p. 103-116, 2014b. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v7.1.p103-116>
- USGS - United States Geological Survey. **Earth Explorer**. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em:24 jan. 2019.
- WANG, X.; XIE, H.; GUAN, H.; ZHOU, X. Different responses of MODIS-derived NDVI to root-zone soil moisture in semiarid and humid regions. **Journal of Hydrology**, v.340, p. 12-24, 2007. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.03.022>
- WANG, H.; LI, X.; LONG, H.; XU, X.; BAO, Y. Monitoring the effects of land use and cover type changes on soil moisture using remote-sensing data: A case study in China's Yongding River basin. **Catena**, v.82, p.135-145, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2010.05.008>

YATES, C. J.; ROBINSON, T.; WARDELL-JOHNSON, G. W.; KEPPEL, G.; HOPPER, S. D.; SHUT, A. G. T.; BYRNE, M. High species diversity and turnover in granite inselberg floras highlight the need for a conservation strategy protecting many outcrops. **Eco Evol.** v. 9, p.7660–7675, 2019.

<https://doi.org/10.1002/ece3.5318>

ZHAN, Z.; QIN, Q.; WANG, X. The application of LST/NDVI index for monitoring land surface moisture in semiarid area. **IEEE Transactions on geosciences and Remote Sensing**, v.3, p.1551-1554, 2004. <https://doi.org/10.1109/IGARSS.2004.1370609>

ZHOU, W.; GANG, C.; ZHOU, F.; LI, J.; DONG, X.; ZHAO, C. Quantitative assessment of the individual contribution of climate and human factors to desertification in northwest China using net primary productivity as an indicator. **Ecological Indicators.** v. 48, p. 560–569, 2015.

<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.08.043>

Recebido em: 30/03/2024

Aceito para publicação em: 20/08/2024