



UFSC



Meio Ambiente, Paisagem e Qualidade Ambiental

Índice de vegetação e dinâmica ambiental das caatingas: a suscetibilidade ambiental à desertificação em Canudos-BA

Vegetation index and environmental dynamics of the caatingas: environmental susceptibility to desertification in Canudos-BA

Índice de vegetación y dinámica ambiental de las caatingas: susceptibilidad ambiental a la desertificación en Canudos-BA

Israel de Oliveira Junior¹, Anderson de Jesus Pereira²

¹Universidade do Estado da Bahia, Serrinha, BA, Brasil

²Universidade Estadual Paulista, Botucatu, SP, Brasil

RESUMO

Nos estudos referentes ao processo de desertificação, o índice de vegetação constitui um dado importante para apreender a dinâmica ambiental do domínio morfoclimático das caatingas expressa na cobertura vegetal, decorrente da sazonalidade climática e da pressão ambiental. Assim, propõe-se, por meio deste estudo, analisar a evolução espaço-temporal do NDVI nos períodos chuvoso e seco dos anos de 2001 a 2016, para estabelecer a susceptibilidade ambiental à desertificação através da elaboração de uma modelagem ambiental. Em decorrência do caráter semiárido do clima e estágios avançados de deterioração ambiental, selecionou-se o município de Canudos, situado no norte do estado da Bahia, como área de estudo. Empregaram-se produtos MOD13, oriundos do sensor MODIS, para aplicar o NDVI e, posteriormente, integrar os dados em ambiente SIG mediante o uso da lógica *fuzzy*. Identificou-se uma dimensão espacial acentuada das classes com os menores índices de vegetação para o período seco e chuvoso, o que configura estágios avançados de deterioração, pois a biomassa não se recompõe em meio às precipitações pluviométricas. Em áreas de Depressão Periférica e Interplanálticas, o padrão de chuvas não causou mudanças significativas na biomassa, devido à intensa pressão ambiental que resultou em deterioração. Em função disso, a Suscetibilidade severa é expressamente extensa, por decorrer em 51,9% das terras.

Palavras-chave: Análise ambiental; NDVI; Semiárido

ABSTRACT

In studies on the desertification process, the vegetation index is an important piece of data for understanding the environmental dynamics of the caatingas morphoclimatic domain, expressed in the



vegetation cover, resulting from climatic seasonality and environmental pressure. The aim of this study is therefore to analyze the spatio-temporal evolution of NDVI in the rainy and dry periods from 2001 to 2016, in order to establish the environmental susceptibility to desertification through environmental modeling. Due to the semi-arid nature of the climate and advanced stages of environmental deterioration, the municipality of Canudos, located in the north of the state of Bahia, was selected as the study area. MOD13 products from the MODIS sensor were used to apply the NDVI and then integrate the data in a GIS environment using fuzzy logic. A marked spatial dimension of the classes with the lowest vegetation indices was identified for the dry and rainy periods, which indicates advanced stages of deterioration, as the biomass does not recover in the midst of rainfall. In the Peripheral Depression and Interplanaltic areas, the rainfall pattern did not cause significant changes in biomass, due to the intense environmental pressure that resulted in deterioration. As a result, Severe susceptibility is expressly extensive, as it occurs on 51.9% of the land.

Keywords: Environmental analysis; NDVI; Semi-arid

RESUMEN

En los estudios del proceso de desertificación, el índice de vegetación es un dato importante para comprender la dinámica ambiental del dominio morfoclimático de las caatingas, expresada en la cobertura vegetal resultante de la estacionalidad climática y la presión ambiental. El objetivo de este estudio es, por tanto, analizar la evolución espacio-temporal del NDVI en los períodos lluvioso y seco desde 2001 a 2016, con el fin de establecer la susceptibilidad ambiental a la desertificación a través de la modelización ambiental. Debido a la naturaleza semiárida del clima y a los avanzados estados de deterioro ambiental, se seleccionó como área de estudio el municipio de Canudos, situado al norte del estado de Bahía. Se utilizaron los productos MOD13 del sensor MODIS para aplicar el NDVI y luego integrar los datos en un entorno SIG utilizando la lógica difusa. Se identificó una marcada dimensión espacial de las clases con los índices de vegetación más bajos para los períodos seco y lluvioso, lo que indica estados avanzados de deterioro, ya que la biomasa no se recupera en medio de las precipitaciones. En las áreas de Depresión Periférica e Interplanetaria, el régimen de lluvias no provocó cambios significativos en la biomasa, debido a la intensa presión ambiental que resultó en deterioro. Como resultado, la susceptibilidad severa es expresamente extensa, ya que se da en el 51,9% de las tierras.

Palabras-clave: Análisis ambiental; NDVI; Semiárido

1 INTRODUÇÃO

Os estudos sobre degradação ambiental ganharam notoriedade científica e conjugaram para apontar a crise ambiental global vivenciada sem precedentes na história da humanidade (Altvater, 1995; Porto-Gonçalves, 2006; Carson, 2010; Mendonça, 2012; Leff, 2016). O desequilíbrio decorre das pressões exercidas no jogo do processo produtivo, que estabelece relações contraditórias entre sociedade-natureza, por não respeitar a capacidade de resiliência ambiental.

Na escala das terras secas mundiais, salienta a desertificação como a pior problemática, pois diversos fatores se entrelaçam para constituírem as causas e as consequências (Warren; Maizels, 1976; Nimer, 1988; Helldén, 1991; Hare *et al.*, 1992; Kassas, 1995; United Nations Convention to Combat Desertification [UNCCD], 1997; Brasil, 2005; D'Odorico *et al.*, 2013; Torres *et al.*, 2015; Blondel *et al.*, 2016; Zelnik *et al.*, 2017; D'Odorico *et al.*, 2019; Huang *et al.*, 2020). O processo de desertificação deriva das pressões sociais diante da fragilidade ambiental específica das paisagens de climas secos, como o clima Tropical Semiárido e Tropical Árido, marcados pela variabilidade climática anual e ocorrência de secas periódicas (Dregne, 1983; UNCCD, 1997).

A adoção de técnicas, o emprego de tecnologias e a sucessão de práticas no processo produtivo em desordem com a sensibilidade dos sistemas ambientais secos rompem com o estado de clímax das paisagens, muitas vezes averiguável nas condições da cobertura vegetal. No processo de apropriação ambiental, as tensões exercidas materializam-se na paisagem e, sobre a vegetação, refletem situações de conservação e deterioração (Francisco *et al.*, 2012; Cunha *et al.*, 2013; Peng *et al.*, 2019). A biomassa é uma expressão síntese paisagística de importância para a análise dos estados e impactos ambientais (Drew, 2010), por isso a relevância em considerá-la no estudo sobre a susceptibilidade ambiental ao processo de desertificação (Hare *et al.*, 1992).

O termo susceptibilidade expressa a reação ambiental a influências externas e, com isso, expõem a possibilidade de ocorrência da desertificação em função do desenvolvimento das atividades sociais que repercutem na paisagem, verificadas, por exemplo, pela cobertura vegetal (Pereira *et al.*, 2020). Com isso, o mapeamento da susceptibilidade ambiental indica os níveis de propensão à ocorrência da desertificação diante das características naturais associadas às transformações humanas na paisagem que repercutem na vegetação. A própria dinâmica natural da vegetação é um fator relevante para repensar sobre as restrições ambientais nas práticas sociais economicistas.

O encadeamento entre a ocorrência das chuvas e a estiagem pluviométrica impõe alterações sazonais nas características vegetacionais, ora reproduzindo uma paisagem formada por uma vegetação verde, com atividade fotossintética, ora

demarcada pela deciduidade das folhas, em resposta à escassez prolongada de água no sistema solo, como verificável no domínio do clima Tropical Semiárido do Brasil. A caducidade das espécies da flora está expressa no nome do bioma Caatinga, que exprime um aspecto da vegetação no período seco, quando há perdas das folhas e restam os troncos brancos e brilhosos das árvores e arbustos (Prado, 2003, p. 3).

A aplicação do índice de vegetação possibilita considerar a dinâmica natural das formações vegetais decorrentes das tipologias climáticas próprias do domínio da Caatinga. Por isso, representa um indicador potencial para definir os estados ambientais e os processos intrínsecos à degradação (Rodrigues *et al.*, 2009; Mallmann *et al.*, 2015; Barbosa *et al.*, 2017; Dias, 2019; Mutti *et al.*, 2020). O *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), constituído por dados quantitativos, viabiliza descrever e comparar estados da biomassa em função das modificações da paisagem oriundas de questões naturais, como as climáticas, ou das atividades humanas. A eficiência do NDVI situa-se no monitoramento da cobertura vegetal, dos fatores de pressão (desmatamento, queimadas, extração vegetal, etc.) e do estado ambiental (vegetação conservada, densidade da biomassa, solo exposto, entre outros).

O sensor MODIS disponibiliza dados contínuos de alta resolução temporal para empreender estudos ambientais através do NDVI, atrelados às informações sobre seca, sazonalidade climática e uso da terra, interferentes na vegetação e na configuração da paisagem. Provê caminhos para pesquisas sobre a degradação das terras secas em distintas escalas espaciais, associadas à resolução dos dados, nos diferentes contextos mundiais, como do Semiárido brasileiro, onde se enxerga estágios avançados de degradação.

Assim, adotou o município de Canudos-BA como área de estudo em razão da dinâmica climática, técnicas de manejo da terra, estados avançados de deterioração ambiental (Ab'saber, 1977; Lobão, Vale, 2013; Pereira *et al.*, 2020; Oliveira Junior *et al.*, 2020), que expressam elementos importantes referentes à paisagem no contexto das pesquisas correspondentes à desertificação. Por meio deste estudo, objetiva-se analisar a evolução do NDVI e detectar mudanças no padrão da biomassa em virtude

da sazonalidade climática e da pressão ambiental entre os anos de 2001 e 2016, para mapear e discutir sobre a susceptibilidade ambiental à desertificação.

2 ÁREA DE ESTUDO

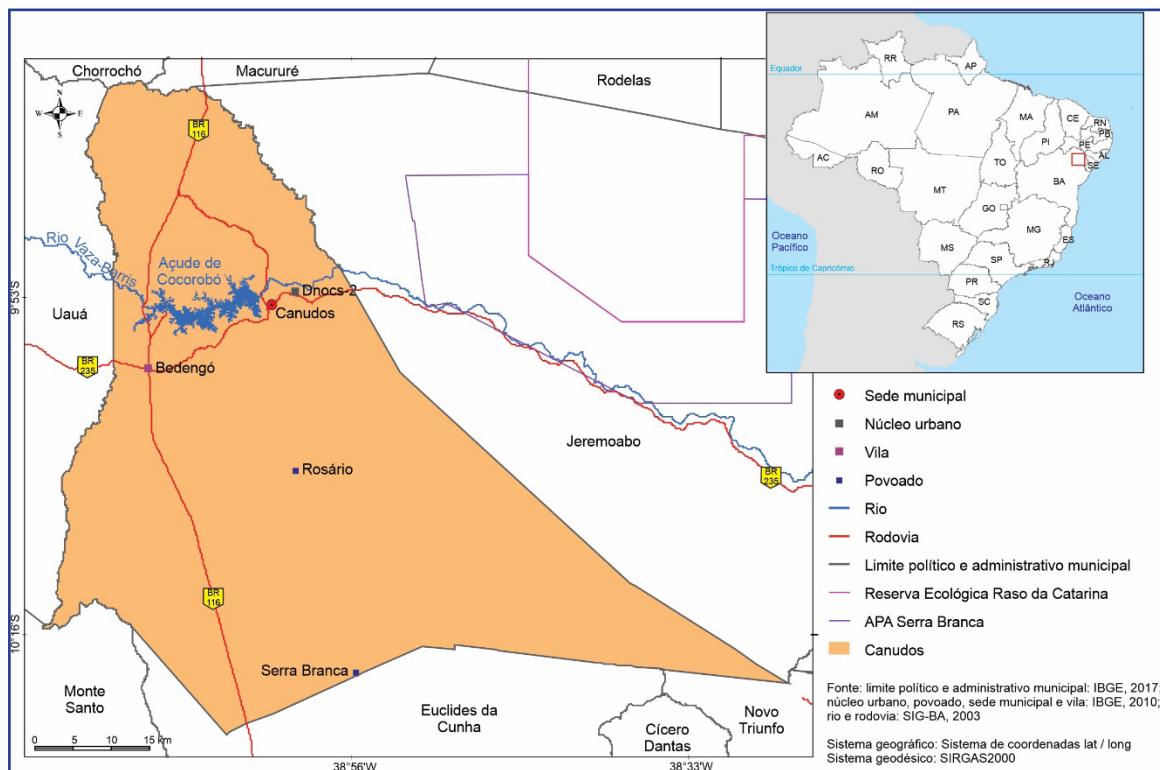
O município de Canudos localiza-se no norte do estado da Bahia (Figura 1), inserido na região Semiárida e na Área Susceptível à Desertificação (ASD). A alta temperatura, sempre acima dos 22,1°C mensais, e a baixa pluviosidade anual (378,9mm) (Figura 2) conferem o caráter semiárido ao clima e um déficit hídrico em todos os meses. A concentração das chuvas entre fevereiro e abril e as estiagens pluviométricas nos demais demarcam a sazonalidade climática.

A rede hidrográfica é constituída, sobremaneira, por rios de regimes intermitente e efêmero, com exceção do médio curso do rio Vaza-Barris, por efeito do represamento das águas e composição do açude Cocorobó. Apesar da importância ambiental, as atividades agropastoris promovem a deterioração das formações vegetais das zonas ripárias e demarcam alterações no fluxo de sedimentos nos cursos dos rios.

O território municipal situa-se em duas unidades geomorfológicas (Oliveira Júnior, 2019). Nos Tabuleiros Dissecados do Rio Vaza-barris com topos planos, prevalecem os Neossolos quartzarênicos (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística [IBGE], 2006). Já na Depressão Periférica e Interplanáltica, dispersam os Neossolos litólicos e, em menores proporções, os Argissolos, Cambissolos, Luvissolos, Planossolos e Vertissolos (IBGE, 2006).

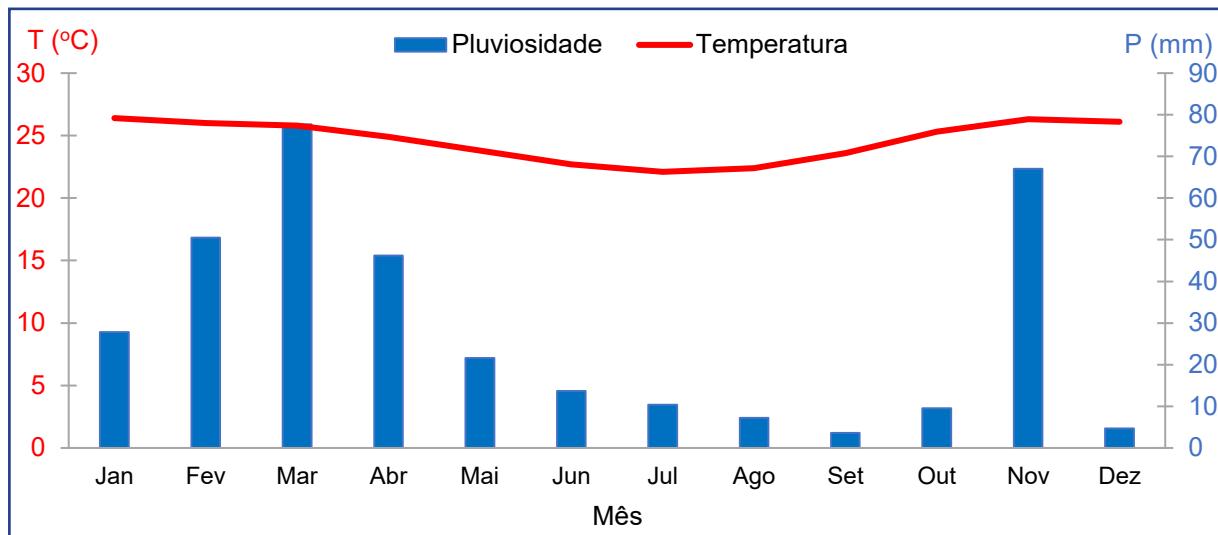
As formações vegetais predominantes se referem à Caatinga arbórea-arbustiva e à Caatinga arbórea-arbustiva antropizada, que são encontradas, em maior proporção, sobre os topos dos Tabuleiros (Oliveira Júnior, 2022). A dinâmica das precipitações pluviométricas interage diretamente com a vegetação, e muitas das espécies são caracterizadas pela caducidade das folhas na estação seca.

Figura 1 – Localização da área de estudo: município de Canudos-BA



Fonte: Autores (2024)

Figura 2 – Climograma do município de Canudos-BA



Fonte: SEI-BA (1999). Elaboração: Autores (2024)

Na Depressão Periférica e Interplanáltica desenvolvem-se, com intensidade, as atividades agropecuárias, que revestem as terras com lavouras e pastagem (Oliveira Júnior *et al.*, 2022). Os cultivos são realizados, sobremaneira, pela prática da agricultura

de sequeiro e a criação de animais é caracterizada pela pecuária extensiva bovina, caprina e ovina (Oliveira Júnior *et al.*, 2022). Os processos produtivos têm promovido a fragmentação da vegetação, a exposição dos solos às intempéries climáticas e a deterioração ambiental na Depressão Periférica e Interplanáltica (Oliveira Júnior, 2022).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para, inicialmente, elaborar um Sistema de Informação Geográfica (SIG), selecionaram planos de informações georreferenciados em formato vetorial. Os dados correspondem ao limite político e administrativo municipal (IBGE, 2017); unidades de conservação, solos (IBGE, 2006), rodovias e rede hidrográfica (SIG-BA, 2023); uso e cobertura da terra (Oliveira Júnior *et al.*, 2022); e unidades geomorfológicas (Oliveira Júnior, 2019).

Os anos de 2001 a 2016 foram definidos como o recorte temporal da pesquisa, com o objetivo de analisar as implicações do fenômeno da seca e do uso da terra no NDVI. Para a obtenção das imagens de cada ano, selecionaram-se os meses de abril e outubro, correspondentes, respectivamente, ao período chuvoso e ao período seco, conforme indicado no climograma (Figura 2). De forma contínua, são identificados os maiores índices pluviométricos nos meses de fevereiro, março e abril; já em agosto, setembro e outubro observam-se os mais secos. Assim, constataram alterações na cobertura da terra nos meses selecionados, em função dos fenômenos climáticos, com possibilidades de serem apreendidas pelo NDVI.

O NDVI constitui um dado importante para a análise das alterações sazonais e interanuais da vegetação, além de ser sensível às mudanças de biomassa menos densa (Jensen, 2009), como é o caso das pastagens e das formações vegetais da Caatinga. O índice foi proposto por Rouse *et al.* (1973, p. 312) e é obtido por meio da equação 1:

$$\text{NDVI} = (\rho_{ivp} - \rho_v) / (\rho_{ivp} + \rho_v) \quad (1)$$

Em que ρ_{IVP} refere-se à refletância no infravermelho próximo, ρ_V à refletância no vermelho.

O NDVI correspondeu ao produto MOD13 do sensor MODIS, que possui resolução espacial de 250m e é disponibilizado gratuitamente pela MODIS Web (<https://modis.gsfc.nasa.gov/>) após efetuar o nível quatro de pré-processamento, equivalente à correção geométrica, atmosférica e radiométrica. Informações adicionais sobre os produtos MODIS encontram-se em Andersson *et al.* (1995), Barnes *et al.* (1998), Masuoka *et al.* (1998) e Rudorff *et al.* (2007).

A variação do NDVI nas imagens MODIS pode encontrar-se entre 0 e 1, de modo que a proximidade do índice 1 indica maior densidade da biomassa. A definição do número e dos intervalos das classes do índice de vegetação (Tabela 1) considerou a relação entre densidade da biomassa e degradação ambiental, a ciclicidade do clima nos distintos anos e adequação dos intervalos às 32 cenas MOD13 utilizadas, já que corresponderam aos períodos seco e chuvoso dos anos de 2001 a 2016.

Tabela 1 – Definição das classes de NDVI nos produtos MOD13 dos períodos chuvoso e seco dos anos de 2001 a 2016 – município de Canudos-BA

Intervalo NDVI	Característica	Classe	Cor
0,000 a 0,300	Solo exposto ou pouca cobertura vegetal	Densidade Baixa	
0,301 a 0,500	Densidade de biomassa rarefeita	Densidade Média-baixa	
0,501 a 0,700	Densidade vegetal mediana	Densidade Média	
0,701 a 1,000	Alta densidade de biomassa	Densidade Alta	

Fonte: Autores (2024)

O estabelecimento das classes foi subsidiado em i) imagens de alta resolução disponibilizadas no programa Google Earth Pró, pelas quais observaram os aspectos da cobertura da terra, como espelho de água, formações vegetais, infraestrutura urbana, lavoura, pastagem, solo exposto; ii) mapas de uso e cobertura da terra (Oliveira Júnior *et al.*, 2022); iii) levantamentos de dados em campo, em que coletaram informações sobre densidade da biomassa, tipos de uso, características das formações vegetais e deterioração ambiental. Nos estudos de campo, obtiveram as coordenadas geográficas

de mais de 80 pontos distribuídos pela área e preencheram fichas para introdução dos dados ao SIG e associação com o comportamento do NDVI.

Para a modelagem de susceptibilidade ambiental à desertificação, integraram-se os 32 mapas NDVI em formato *raster* por meio da utilização do operador gamma da lógica *fuzzy* no *software* ArcGis 10.8. O operador é calculado mediante a multiplicação entre a soma algébrica e o produto algébrico, conforme a equação 2.

$$\text{Modelo fuzzy} = (\text{soma algébrica}) g \times (\text{produto algébrico})1-g \quad (2)$$

Os valores de pertinência ao conjunto *fuzzy* situam-se em um intervalo de zero a um, sem restringir os valores intermediários. Quanto mais próximo de zero, menor é a pertinência ao conjunto *fuzzy*, o que difere quando se aproxima do valor um. A constante *g* varia, também, de zero a um, e a proximidade do valor zero gera um cenário otimista, em oposição ao distanciamento dele, porque os valores se aproximam, em ordem, do produto ou da soma algébrico (Bonham-Carter, 1994). Definiu a constante *g* em 0,7, para evitar cenários extremos do ponto de vista otimista e pessimista. Na modelagem, a escala numérica de pertencimento ao conjunto *fuzzy* de susceptibilidade ambiental encontrou-se entre 0,2 (Susceptibilidade Baixa) e 1,0 (Susceptibilidade Alta) (Tabela 2).

A proximidade de 0,2 indica os maiores valores do NDVI, ao contrário dos baixos índices de vegetação, aos quais foram atribuídos níveis de pertencimento próximos a 1,0. Na hipótese da permanência de solo exposto em uma mesma área nos períodos climáticos considerados e durante a escala anual, haverá a valorização dos altos índices de pertencimento ao conjunto *fuzzy* de susceptibilidade à desertificação.

Tabela 2 – Categorização das classes NDVI para a modelagem fuzzy de susceptibilidade
Continua...

Classe NDVI	Susceptibilidade			Critérios
	Níveis de pertencimento	Classe	Cor	
Densidade Baixa	1,0	Severa		Solo exposto, aspecto comum ao processo de desertificação

Classe NDVI	Susceptibilidade			Critérios
	Níveis de pertencimento	Classe	Cor	
Densidade Média-baixa	0,7	Alta		Vegetação raleada, não cobre o solo de forma homogênea; expressa deterioração ambiental
Densidade Média	0,5	Média		Predomina vegetação de porte arbustivo; não cobre totalmente o solo devido à caducidade das espécies e instabilidade pluviométrica, o que pode contribuir com os processos erosivos
Densidade Alta	0,2	Baixa		Caatinga arbórea-arbustiva, com densidade do dossel. Recobre homogeneousemente o solo, o que demonstra conservação ambiental

Fonte: Autores (2024)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

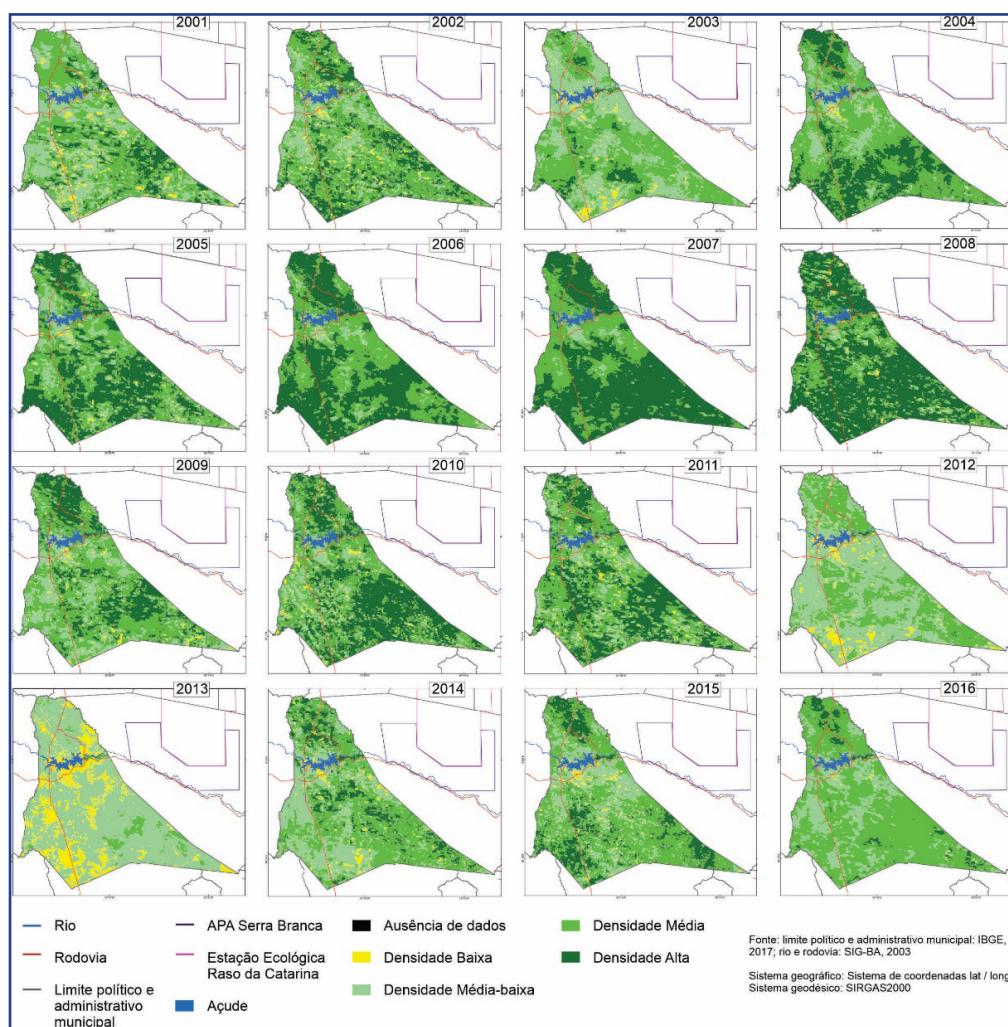
Os intervalos das classes do NDVI devem ser sensíveis às alterações da biomassa para apontar as áreas com ocorrência de deterioração ou degradação ambiental em virtude do estudo sobre desertificação. Em resposta às quatro classes, no período chuvoso, a classe Densidade Média foi a mais abrangente (Figuras 3) e possuiu uma média de ocorrência de 44,35%. Ela se destacou durante onze anos, com exceção de 2006 a 2008, 2012 e 2013 (Figura 4), quando os índices pluviométricos apresentaram atipicidade, em decorrência dos volumes de chuvas acima das médias (2006 a 2008) ou do fenômeno da seca (2012 e 2013) (Instituto Nacional De Pesquisas Espaciais [INPE], 2020).

A classe Densidade Alta constituiu-se na segunda mais evidente, que equivaleu a uma média de 27,97%; a distribuição dela foi superior às demais classes nos anos de 2006 a 2008 (Figura 4). O predomínio foi em consequência das precipitações pluviométricas acima da média nos três primeiros meses que antecederam a data da imagem em relação a todo período de análise (INPE, 2020), que ocasionou alterações paisagísticas cíclicas, como a recomposição das folhas das espécies e a germinação

de plantas constituintes das formações vegetais da Caatinga. Atrelado a isso, teve o desenvolvimento dos cultivos agrícolas participantes da dinâmica climática sazonal, que, em consequência das chuvas, recobriram as terras com as lavouras.

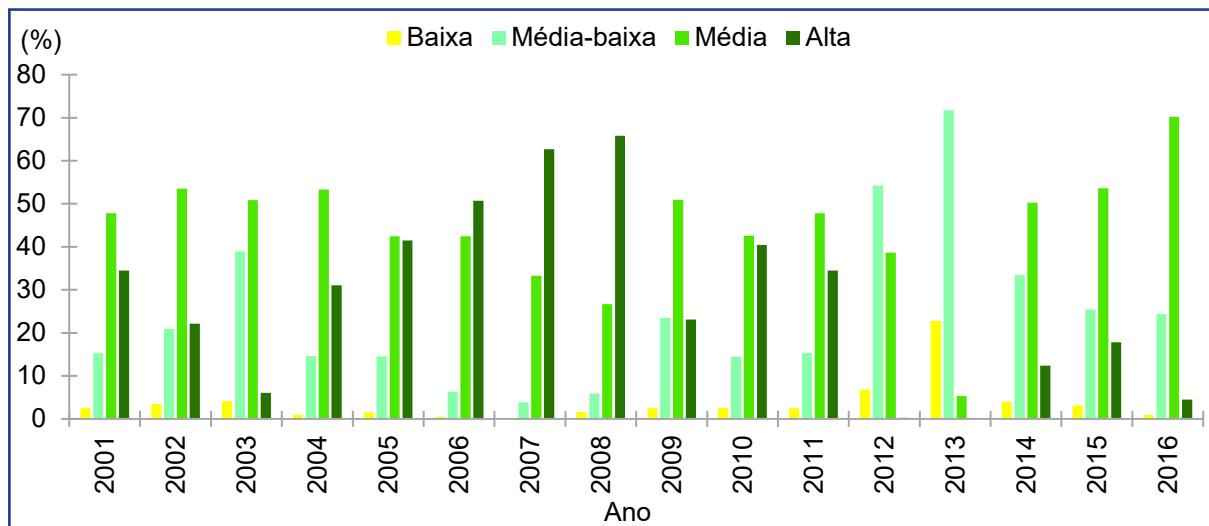
Entretanto, ainda no período chuvoso, a distribuição média percentual da classe Densidade Média-baixa foi alta, por representar 23,93% do município, e a classe Densidade Baixa expressou 3,75% (Figura 4). Nos anos de 2012 e 2013, a classe Densidade Média-baixa foi preponderante (Figura 3), em função do fenômeno da seca (INPE, 2020), que alterou drasticamente a recomposição vegetal e a sucessão das plantações no período habitual. Verificou a classe Densidade Baixa em todo o período chuvoso, contudo os valores proporcionais fizeram-se inconstantes. Há anos em que eles foram relativamente altos, a exemplo do que aconteceu em 2002, 2003, 2009 e 2012 a 2015.

Figura 3 – NDVI do período chuvoso: município de Canudos-BA – 2001 a 2016



Fonte: Autores (2024)

Figura 4 – Percentual das classes NDVI: período chuvoso em Canudos-BA – 2001 a 2016



Fonte: Autores (2024)

Os dados preocupam em relação à degradação, pois as classes indicaram solo exposto ou baixo nível de cobertura vegetal. No contexto natural da Caatinga, as espécies vegetais recuperam as folhas após a ocorrência das precipitações pluviométricas, com o consequente aumento da biomassa, o que reflete nos valores altos do NDVI. Se não há recomposição da vegetação com as chuvas, os indícios de degradação são evidenciados, a exemplo de solo exposto, como as informações desta pesquisa expõem.

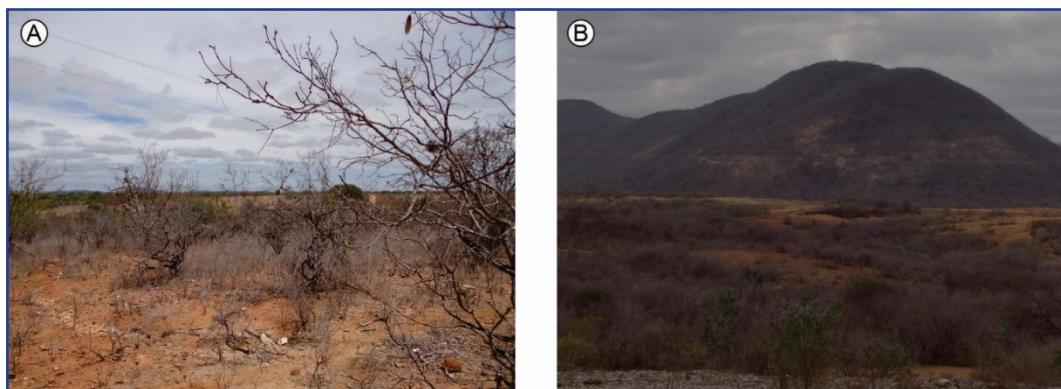
Situações semelhantes foram encontradas em Bezerra *et al.* (2019), que registraram a importância do NDVI para detectar mudanças sazonais da cobertura vegetal e da degradação no semiárido do Rio Grande do Norte. Albuquerque *et al.* (2020) identificaram a preponderância de baixos valores NDVI no período chuvoso em áreas de estágios avançados de desertificação no município de Parelhas-RN. Sayl *et al.* (2021) apontaram que as áreas de maiores oscilações do NDVI são mais propensas à ocorrência da degradação das terras secas no deserto ocidental do Iraque.

Para o período chuvoso analisado, as maiores oscilações na distribuição espacial do índice de vegetação referiram-se à Densidade Baixa e Densidade Alta, que representaram os maiores coeficientes de variação, expressos em 132,96% e 77,06% respectivamente. Os valores demonstram a interação das precipitações pluviométricas,

vegetação e uso da terra. Em anos de chuva intensa, as formações vegetais e os cultivos apresentaram maior vigor, e a classe de Densidade Baixa praticamente inexistiu, como ocorreu nos anos de 2006 e 2007 (Figuras 3 e 4). Ao contrário, na escassez pluviométrica, a classe Densidade Baixa destacou-se nos mapeamentos e dispersou-se por diferentes pontos da paisagem, em cerca de 22,82%; parte visualmente na Depressão Periférica e Interplanáltica.

A sequência dos mapas de 2011, 2012 e 2013 é emblemática (Figura 3), porque possibilita uma análise relacional entre clima-solo-vegetação. A partir da sucessão do fenômeno da seca e da intensificação do déficit hídrico no solo, a densidade da vegetação diminuiu e o solo exposto se propagou intensamente, com a denotação da teia de relações ambientais na configuração da paisagem (Figura 5). Observa-se a sensibilidade da vegetação ao prolongamento das estiagens pluviométricas e a continuidade do solo exposto em meses fora do contexto temporal habitual. Isso quer dizer que o solo fica exposto às intempéries climáticas e pode decorrer no aumento da susceptibilidade ambiental à erosão, que constitui um grave fator que retroalimenta a desertificação.

Figura 5 – Aspectos da vegetação e propagação do solo exposto em período de seca na Depressão Periférica e Interplanáltica – (A) período chuvoso: março de 2012; (B) período seco: novembro de 2012



Fonte: Autores (2012)

Em períodos de seca, ampliam-se geralmente as áreas de exploração humana por causa da procura de plantas forrageiras para alimentar o gado, ora escassas.

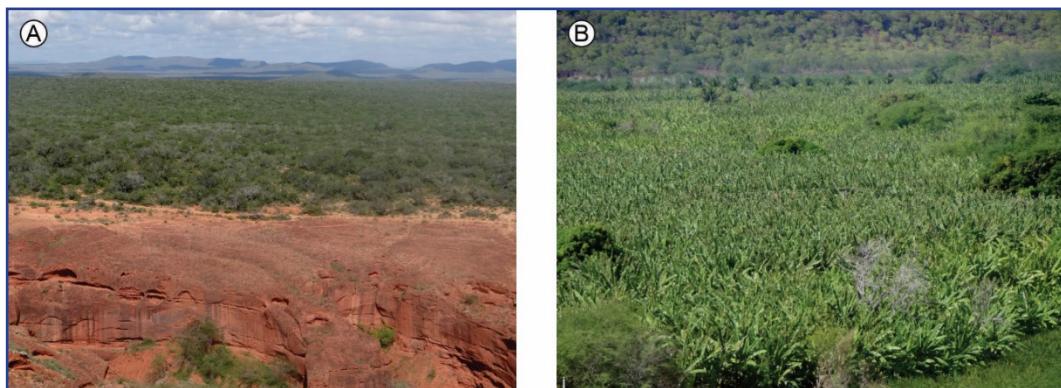
Inicialmente, buscam-se as mais palatáveis e nutritivas para o animal, todavia, quando essas faltam, a seleção do alimento é menos criteriosa. A utilização da *Bromelia laciniosa* Mart. ex Schult. f. (Bromeliaceae), conhecida popularmente como macambira, é bastante comum durante a ocorrência da seca. Como as folhas possuem características espinhentas, elas são queimadas antes de serem oferecidas ao gado. De acordo com relatos obtidos em campo, esse foi um fator propício para a degradação ambiental, pois os incêndios eram comuns, se alastraram e queimaram outras espécies vegetais em anos de escassez de alimentos para o gado.

No contexto do desrespeito às leis naturais, as práticas e técnicas empreendidas no processo exploratório intensificam a pressão e ampliam a rusticidade da paisagem que, ao permanecer no espaço e no tempo, produz desertificação. Assim, a seca não é o problema, mas a desconsideração das teias de relações naturais na exploração do patrimônio ambiental.

Com a seca, as feições vegetais alteram-se abruptamente e os índices tendem a baixar, a exemplo do ocorrido em 2012 e 2013 (Figura 3 e 4), cujo fenômeno foi considerado grave em muitos municípios do Semiárido brasileiro, como Canudos-BA (Marengo *et al.*, 2016). Nos mencionados anos, a classe Densidade Alta foi irrelevante em referência à distribuição rarefeita. No entanto, a propagação dela entre os anos 2007 e 2008 contrastou com os demais, devido à sucessão dos valores percentuais altos (Figura 4).

A classe Densidade Alta se distribuiu fortemente nos topos dos Tabuleiros Dissecados do Rio Vaza-barris, no norte e no sul da Depressão Periférica e Interplanáltica (Figura 6). Ela é composta, sobretudo, por Caatinga Arbórea-Arbustiva, que se encontra em estado de conservação (Oliveira Júnior *et al.*, 2022). No Vale do Rio Vaza-Barris, à jusante do lago de Cocorobó, os índices elevados formaram-se de Lavoura Irrigada, com cultivos de caráter permanente (Figura 6). Grande parte das classes Densidade Baixa e Densidade Média-baixa referiu-se ao solo exposto, lavouras e pastagens, que se encontraram localizadas, excessivamente, pela Depressão, onde as marcas da apropriação são evidenciadas e se reproduziram nos mapas NDVI do período chuvoso.

Figura 6 – Características de alvos relacionados à classe Densidade Alta – (A) Caatinga arbórea-arbustiva nos topos dos Tabuleiros Dissecados do Rio Vaza-barris (período seco – junho de 2015); (B) Cultivos irrigados à jusante do lago de Cocomobó, vale do Rio Vaza-barris (período chuvoso – março de 2015)



Fonte: Autores (2015)

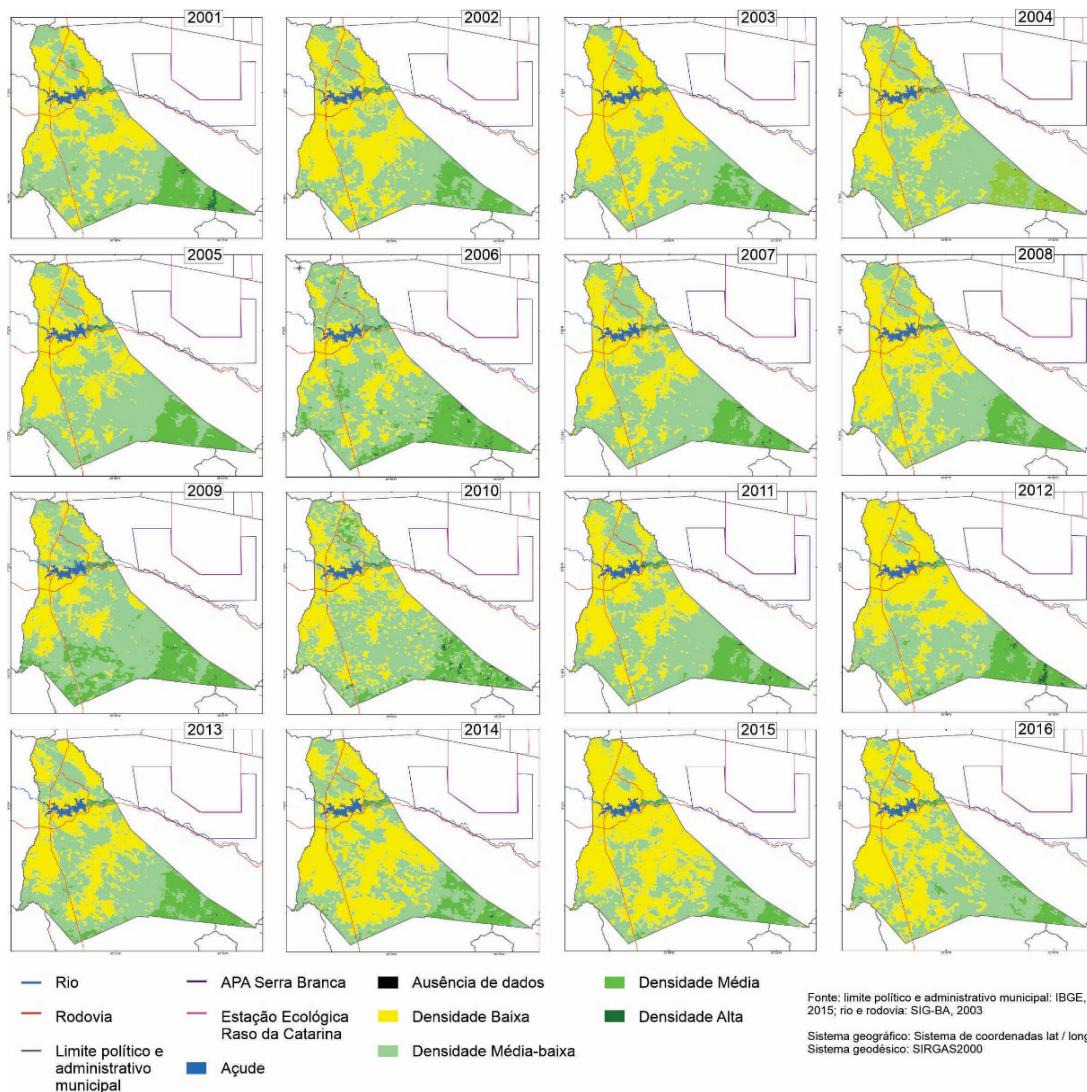
No período seco, houve uma inversão comportamental da biomassa apreendida pelo NDVI, pois as classes inferiores tenderam a se propagar devido à diminuição da água no sistema solo (Figura 7). As classes Densidade Baixa e Densidade Média-baixa sobressaíram entre os dados, com uma média percentual no período seco de 89% (Figura 8), o que indica a exposição pedológica, às intempéries climáticas.

Isso quer dizer que, no longo período de estiagens das chuvas, os solos estarão desprotegidos e uma série de fatores ativos naturais poderá influir na intensificação da deterioração ambiental, com a decorrência da evaporação intensa da água no solo e os processos erosivos. Sales (2015, p. 65) expõe que o processo de erosão acelerada é uma das problemáticas mais preocupantes relacionadas à desertificação e está associada ao uso da terra, que gera modificações na vegetação, como verificados no núcleo de desertificação Irauçuba, no estado do Ceará.

A atenção é voltada para a classe Densidade Baixa, pois expressa, sobremaneira, a exposição dos solos às intempéries climáticas. A presença dela equivaleu a uma média de 41,96% para o período analisado e encontrou-se, principalmente, no centro, norte e oeste de Canudos-BA, sem se ausentar, em todos os anos, na Depressão Periférica e Interplanáltica. Há anos em que a existência da classe foi contundente, como ocorreu entre 2012 e 2016 (Figuras 7 e 8), influenciada pelo longo período de meses secos

(Figura 2), que impacta na atividade fotossintética das formações vegetais. A classe Densidade Baixa se disseminou pela Depressão Periférica e Interplanáltica, pelo Vale do Rio Vaza-Barris e correspondeu às áreas de solo exposto, de lavoura e de pastagens quando os solos se encontraram desprovidos de plantaçāo.

Figura 7 – NDVI do período seco: município de Canudos-BA – 2001 a 2016

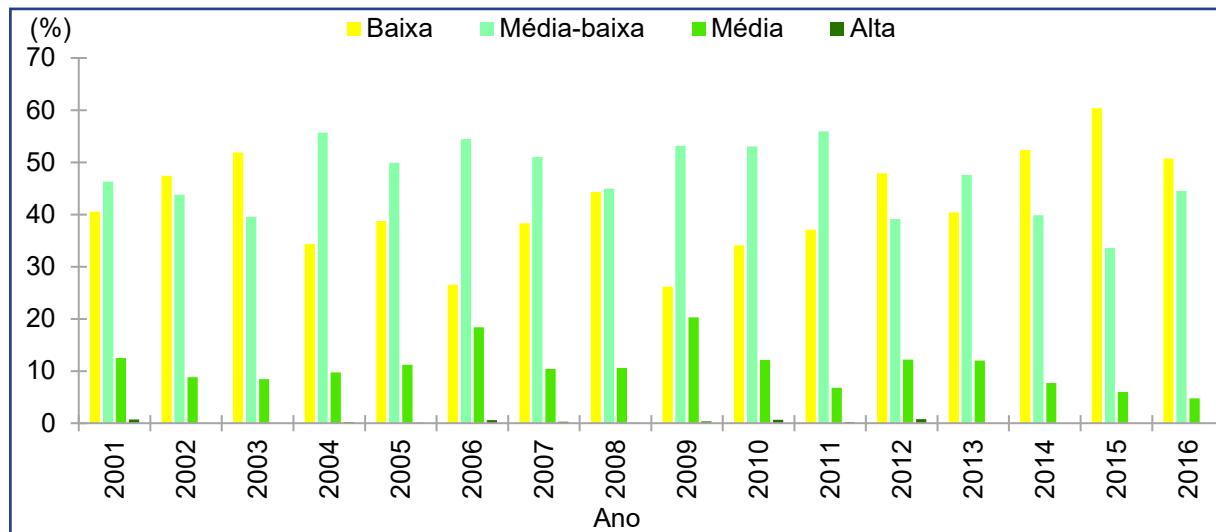


Fonte: Autores (2024)

A classe Densidade Média-baixa foi a mais abundante, pois possuiu uma média de 47,04% para o período. Ela superou as demais classes em quase todos os anos, e somente foi ultrapassada quando a classe Densidade Baixa foi mais expressiva – 2002, 2003, 2012, 2014 e 2016 (Figura 8). A dispersão da classe Densidade Média-baixa é mais evidenciada pela Depressão Periférica e Interplanáltica, e correspondeu

à Lavoura-pastagem alternadas, Caatinga Arbórea-arbustiva Antropizada e Caatinga Arbórea-arbustiva, no momento em que a vegetação se encontrou sem folhas, por causa do déficit hídrico no solo, pois as características pedológicas e das feições vegetais indicam um microclima mais seco na área especificada.

Figura 8 – Percentual das classes NDVI: período seco em Canudos-BA – 2001 a 2016



Fonte: Autores (2024)

Os altos índices de vegetação ocorrem de forma rarefeita no período seco. A Densidade Média equivaleu a uma média de 10,74% no período analisado (Figuras 7 e 8). Já a classe Densidade Alta praticamente inexistiu, e a rigorosidade climática é atestável para influir no comportamento da biomassa. A média percentual foi de apenas 0,26%, o que denota a baixa densidade da cobertura vegetal por um longo período. As classes aludidas são constituídas, principalmente, por Caatinga Arbórea-arbustiva que medra nos topos dos Tabuleiros Dissecados do Rio Vaza-barris, onde o uso da terra é tênue.

As alternações anuais referiram-se, justamente, às classes de maior índice de biomassa, com a apresentação de um coeficiente de variação de 36,89% e 99,32%, para as respectivas Densidade Média e Densidade Alta. A explicação encontra-se nas variações interanuais dos índices pluviométricos, que influem no comportamento do elemento vegetacional e das coberturas agrícolas dependentes das chuvas para

cobrir o solo. Caetano *et al.* (2022) detectaram aspectos análogos quando analisaram as mudanças no uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Terra Nova, no Semiárido de Pernambuco.

A dinâmica da biomassa é perceptível na paisagem de Canudos-BA, por efeito do comportamento do NDVI interanual e intra-anual (Figura 9). Os padrões de alteração seguem o ritmo, praticamente, dos fenômenos climáticos de perdas ou de recomposição das folhas da vegetação e da retomada dos cultivos agrícolas, numa sujeição técnica aos eventos pluviométricos.

No período chuvoso, em um regime climático de normalidade das precipitações pluviométricas, predominam as classes Densidade Média e Densidade Alta. Com a ocorrência eventual da seca, tendem a baixar os valores do índice no período chuvoso e aparecer a classe Densidade Baixa e Densidade Média-baixa, a exemplo do ocorrido em 2013 (Figura 9). No período seco, foi mais visível a classe Densidade Média somente nos anos de 2006 e 2009; nos demais, evidenciaram-se fortemente as classes Densidade Baixa e Densidade Média-baixa (Figura 9).

Existe um padrão dinâmico comportamental da biomassa, efetivado na redução sequencial intra-anual (2001-2016) das classes Densidade Média e Densidade Alta. Constatou uma diminuição sazonal quase contínua da classe referente ao maior intervalo do NDVI entre o período chuvoso e seco, com exceção dos últimos anos, explicável pela diminuta expressão nos anos de 2012 a 2016 (Figura 9). Devido à ocorrência das estiagens pluviométricas, a biomassa produzida no período chuvoso desapareceu intensamente e ampliou a distribuição da classe Densidade Baixa.

Figura 9 – Dinâmica do NDVI em Canudos-BA – período chuvoso e seco (2001 a 2016)



Fonte: Autores (2024)

Com isso, observa-se o predomínio dos menores índices ao longo das estiagens e a continuidade de extensas superfícies de solo exposto ou de cobertura vegetal rarefeita. Houve áreas específicas, como na Depressão Periférica e Interplanáltica, de permanente ocorrência dos baixos valores do índice e a sinalização da degradação ambiental, pois inexistiu a recomposição da vegetação ou de plantios, mesmo diante das precipitações pluviométricas, e os solos continuaram expostos (Figura 10). Assim, demonstra a pressão ambiental exercida na exploração das terras.

As características ambientais e de uso da terra contribuíram para ditar a dinâmica da biomassa compreendida nos mapas NDVI (Figuras 3 e 7), identificados em levantamentos de dados em campo e nos dados climáticos (Figura 2). A variabilidade interanual das precipitações pluviométricas demarca duas situações ambientais distintas. Em uma, as chuvas são torrenciais e concentradas, o que decorre de uma maior oferta de água no sistema solo. Na outra, existe a demarcação das estiagens pluviométricas e ressalta uma extensa escala temporal de deficiência de água no solo e menor oferta para as plantas. Ademais, as chuvas são inconstantes e podem faltar por longos períodos nos ambientes dominados pelo clima Tropical semiárido, o que gera o fenômeno da seca, de ocorrência comum em Canudos-BA, como abordaram Leivas *et al.* (2014) e Oliveira Júnior *et al.* (2018).

Figura 10 – Área degradada, de permanente solo exposto, na Depressão Periférica e Interplanáltica – (A) período seco: novembro de 2012; (B) período chuvoso: março de 2015



Fonte: Autores (2012, 2015)

A caducidade das espécies vegetais está, também, expressa nos baixos valores de NDVI no período das estiagens pluviométricas. Com a ocorrência das chuvas, a vegetação recupera as folhas e aumenta a reflectância da biomassa. A atividade agrícola sobressai no uso da terra e os cultivos, comumente, são temporários e dependentes da ocorrência das chuvas. Em virtude da deficiência hídrica no solo e após a colheita, há uma exposição pedológica às intempéries climáticas. Esse processo ocasiona a existência de dois ciclos sucessivos e rápidos de mudança das superfícies das terras; em um, o solo aparece revestido de cobertura vegetal; em outro, exposto.

Em algumas áreas, como na Depressão Periférica e Interplanáltica, o uso da terra contribui para a propagação do solo exposto e de espécies vegetais pioneiras de porte herbáceo, bem como para a estratificação vegetal. Ao iniciar o período das estiagens pluviométricas, elas logo secam, não possibilitam proteção aos solos contra as intempéries e, em consequência, possuíram valores reduzidos do NDVI.

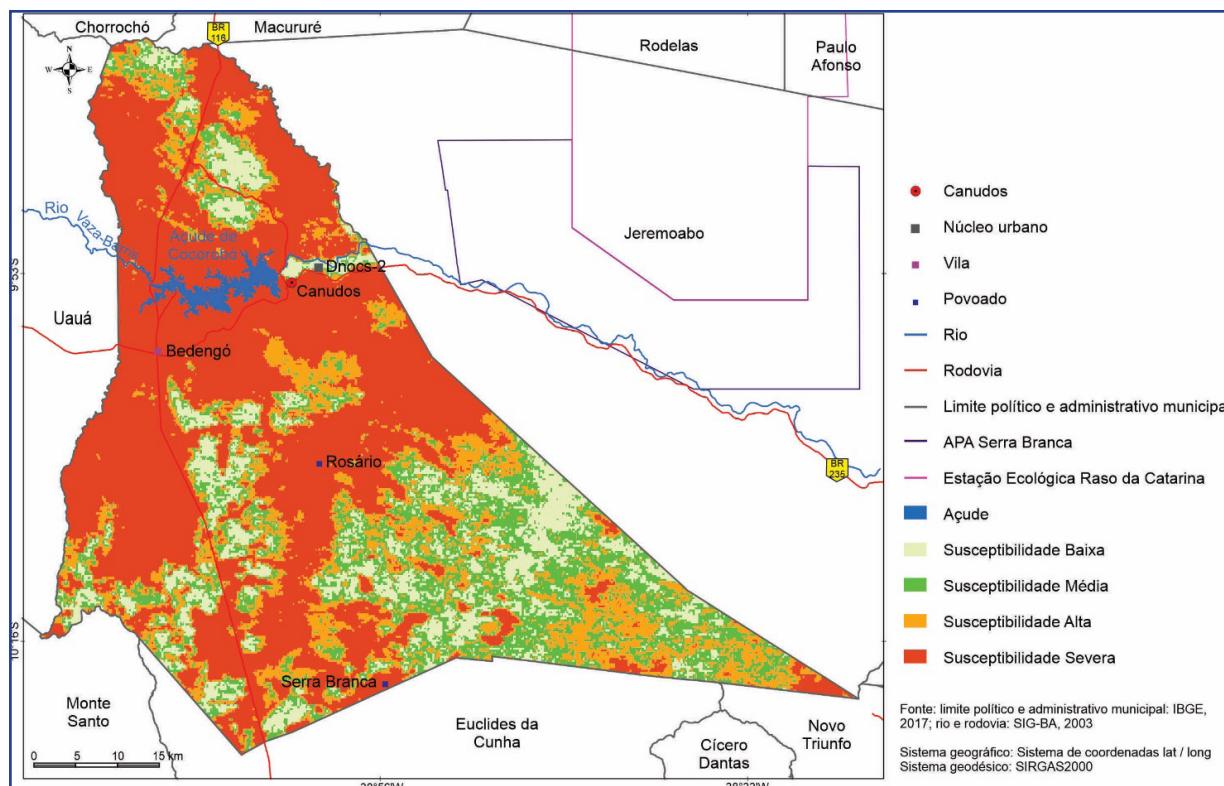
O comportamento inter/intra-anual da biomassa exprimiu-se na modelagem, que objetivou a configuração de um cenário ambiental de susceptibilidade à desertificação, para a detecção e comunicação eficazes das informações em um conjunto de dados (Haggett; Chorley, 1975) sobre o NDVI. A integração dos mapas (Figuras 3 e 7) resultou na modelagem ambiental pela utilização da lógica *fuzzy* e seguimento dos critérios avaliativos sobre a dinâmica da biomassa e sobre a relação dela com os processos de desertificação. Os critérios (Tabela 2) foram estabelecidos pelo comportamento vegetacional nos mapas NDVI e dados levantados em campo.

A ciclicidade da chuva e a interferência na biomassa apontaram, nos mapas (Figuras 3 e 7), para o recuo, avanço e níveis de densidade da vegetação, além da exposição permanente dos solos às intempéries climáticas. Também se sucedem às atividades agropecuárias que interrompem o ciclo de recomposição da vegetação e estão no cerne do processo de degradação. Dessa maneira, as concepções (Tabela 2) sobre a modelagem (Figura 11) consideraram as implicações da sazonalidade climática na biomassa, as pressões ambientais evidentes na paisagem, o restabelecimento da

biomassa, a indicação de áreas deterioradas pela permanência da baixa densidade da cobertura vegetal e do solo exposto.

Os cenários tendenciais de degradação ambiental preocupam, pois ocorrem, e em extensas áreas, altos índices de susceptibilidade ao processo de desertificação. A modelagem *fuzzy* dos 32 mapas NDVI indicou que mais de 1,6 mil quilômetros quadrados se encontram categorizados como Susceptibilidade Severa à desertificação, referentes a mais de 51% das terras (Figura 11 e Tabela 3). São indicativos que alertam para a permanência de solo exposto ou baixa densidade da biomassa (Figura 10), e impõem (re)pensar sobre alguns impactos oriundos dos estados ambientais averiguados. A continuidade espaço-temporal da exposição às intempéries climáticas denota o desequilíbrio ambiental, consequente da baixa recomposição vegetal e dos prováveis impactos transcorrentes da situação.

Figura 11 – Susceptibilidade ambiental à desertificação em Canudos-BA



Fonte: Autores (2024)

Tabela 3 – Extensão das classes de susceptibilidade ambiental à desertificação em Canudos-BA – em km² e %

Classe	Área	
	km ²	%
Susceptibilidade Baixa	370,35	11,54
Susceptibilidade Média	575,66	17,93
Susceptibilidade Alta	596,09	18,57
Susceptibilidade Severa	1.668,43	51,97

Fonte: Autores (2024)

O desmatamento é uma condição importante para desencadear o processo de desertificação, em razão de uma série de fatores que comprometem a manutenção do equilíbrio e da capacidade de resiliência ambiental (Vieira *et al.*, 2020; Souza, 2023). A proteção do solo à irradiação solar, o retardo de processos erosivos eólicos e pluviais, a preservação da fertilidade do solo, a quantidade de água disponível para a planta e a infiltração da água no solo são questões dependentes da quantidade e qualidade da cobertura vegetal. Nas atividades de campo, observou-se que, em Canudos-BA, são comumente utilizadas práticas de queimadas e a substituição da vegetação para o desenvolvimento da agricultura e pecuária, que ampliam a rusticidade ambiental. Isso é agravado pelo sobrepastoreio, porque compacta o solo pelo peso do gado bovino e pela pressão exercida pelo gado caprino e ovino.

A pressão ambiental mais perigosa decorrente nas terras secas equivale à retirada da vegetação, porque amplia os processos erosivos e retém a capacidade de resiliência ambiental. Nos dados obtidos em campo, verificou-se que a pecuária e a agricultura representam as atividades mais pressionadoras, visto que acarretam efeitos diretos na cobertura vegetal. As consequências da impropriedade do desmatamento e das queimadas contribuem para a permanência do baixo índice de vegetação entre os anos e períodos considerados nesta pesquisa, como também na ampla ocorrência da Susceptibilidade Severa, que preocupa, ao constituir faces próprias de ambientes desertificados.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O emprego do NDVI como indicador ambiental possibilitou mostrar as áreas problemáticas em relação ao processo de desertificação. No período seco, dispersaram-se, sobremaneira, as classes de menor índice por toda área de estudo, em função da caducidade das feições vegetais. Entre os anos analisados, os valores evidenciaram uma distribuição acentuada delas nos quatro últimos, por efeito da propagação do fenômeno da seca. A circunstância, também, verificou-se nos mapas do período chuvoso, quando as classes de maior índice não se difundiram comumente.

Atestou-se, com isso, que a dinâmica da biomassa segue um padrão de alteração de ordem climática, quando a vegetação recuperou ou perdeu as folhas e foram introduzidos ou interrompidos os cultivos agrícolas. No entanto, há locais onde o ritmo das chuvas não impôs mais alterações significativas na biomassa, porque a pressão ambiental manifestou-se intensiva e gerou deterioração. Os dados voltaram o olhar sobre os topos dos Tabuleiros Dissecados do Rio Vaza-barris e sobre a Depressão Periférica e Interplanáltica, com preocupações de ordem distintas.

Os conhecimentos obtidos por meio do NDVI apontaram para destacar a conservação da Caatinga Arbórea-arbustiva nos Tabuleiros. Neles, a vegetação encontrou-se contínua e formou uma grande mancha, onde o processo de fragmentação foi rarefeito. Mesmo no período seco, quando as estiagens pluviométricas estabeleceram a caducidade das espécies vegetais, e com a ocorrência do fenômeno da seca, observaram-se valores altos do NDVI. Na Depressão, ocorre justamente o contrário. O retalhamento das manchas vegetais foi evidenciado e concorreu para a permanência dos índices de vegetação mais baixos no período seco. Ainda há locais onde os valores inferiores do NDVI persistiram mesmo com a ocorrência das precipitações pluviométricas, como ao sul do açude de Cocomobó.

A situação tornou-se excessivamente mais preocupante ao analisar a modelagem proveniente dos 36 mapas NDVI. A severidade da susceptibilidade ambiental à desertificação se dispersou em 1.600km² do município e resultou da continuidade do

solo exposto e da densidade rarefeita da biomassa entre os anos pesquisados. O dado consolidou a localização da problemática na Depressão Periférica e Interplanáltica, onde o prosseguimento das superfícies expostas às intempéries convergiu para apontar o rompimento da recomposição das feições vegetais e a instalação da deterioração ambiental.

Os resultados da modelagem conduziram a refletir sobre as repercussões do uso da terra na dinâmica da paisagem do domínio da Caatinga e, sobretudo, dos ambientes com características climáticas e vegetacionais semelhantes às do município de Canudos-BA. É preciso planejamento ambiental para fomentar o manejo das terras secas, dirimir as pressões ambientais resultantes do processo de degradação e mitigar os efeitos da problemática mais perversa decorrente nas terras secas, a desertificação.

REFERÊNCIAS

- AB'SABER, A. N. Problemática da desertificação e da savanização no Brasil intertropical. **Geomorfologia**, São Paulo, n. 53, p. 1-19, 1977.
- ALBUQUERQUE, P. I. M.; RODRIGUES, J. P. B.; PEIXOTO, F. S.; MIRANDA, M. P. Sensoriamento remoto aplicado como indicador de desertificação no município de Parelhas-RN. **Revista de Geografia**, Recife, v. 37, n. 1, p. 241-261, 2020.
- ALTVATER, E. **O preço da riqueza**: pilhagem ambiental e a nova (des)ordem mundial. São Paulo: Unesp, 1995.
- ANDERSSON, L. O.; LATORRE, M. L.; SHIMABUKURO, Y. E.; ARAI, E.; CARVALHO JÚNIOR, O. A. **Sensor MODIS**: uma abordagem geral. São José dos Campos: INPE, 1995.
- 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**, São Paulo, v. 33, p. 128-143, 2017.
- BARNES, W. L.; PAGANO, T. S.; SALOMONSON, V. V. Prelaunch characteristics of the moderate resolution imaging spectroradiometer (MODIS) on EOS-AM1. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, [S. l.], v. 36, n. 4, p. 1088-1100, 1998.
- BEZERRA, H. N.; BEZERRA, J. M.; ARAÚJO, C. S. P.; ARTHUR, M. Variabilidade espaço-temporal das variáveis biofísicas no semiárido do Rio Grande do Norte, Brasil. **Geosul**, Florianópolis, v. 34, n. 72, p. 184-201, 2019.

BLONDEL, P.; GUILYARDI, E.; RABASSA, J.; HORWOOD, C. (Eds). **The end of desertification?** Disputing environmental change in the drylands. Heidelberg: Springer, 2016.

BONHAM-CARTER, G. F. **Geographic information systems for geoscientists**: modeling with GIS. New York: Pergamon, 1994.

BRASIL. **Programa nacional de combate à desertificação e mitigação dos efeitos da seca**: PAN-Brasil. Brasília: MMA, 2005.

CAETANO, R.; SILVA, T. B.; BENFICA, N. S.; CASTRO, D. R. Uso de índices espectrais na caracterização da cobertura vegetal em região de Caatinga do Semiárido Baiano. **Revista Geociências do Nordeste**, Caicó, v. 8, n. 2, p. 28-43, 2022.

CARSON, R. **Primavera silenciosa**. São Paulo: Gaia, 2010.

CUNHA, A. P. M. A.; ALVALÁ, R. C. S.; OLIVEIRA, G. S. Impactos das mudanças de cobertura vegetal nos processos de superfície na região semiárida do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, São Paulo, v. 28, n. 2, p. 139-152, 2013.

D'ODORICO, P.; BHATTACHANA, A.; DAVISA, K. F.; RAVI, S.; RUNYANA, C. W. Global desertification: drivers and feedbacks. **Advances in Water Resources**, [S.I.], v. 51, p. 326-344, 2013.

D'ODORICO, P.; ROSA, L.; BHATTACHAN, A.; OKIN, G. S. Desertification and Land Degradation. In: D'ODORICO, P.; PORPORATO, A.; RUNYAN, C. W. (Eds.). **Dryland ecohydrology**. Heidelberg: Springer, 2019. p. 573-602.

DIAS, M. B. G. Análise do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) na bacia hidrográfica do córrego do Cedro, município de Presidente Prudente, SP, Brasil. **Revista de Geografia**, Recife, v. 36, n. 3, p. 220-237, 2019.

DREGNE, H. E. **Desertification of arid lands**. London: Harwood Academic Publishers, 1983.

DREW, D. **Processos interativos homem-meio ambiente**. 7. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2010.

FRANCISCO, P. R. M.; CHAVES, I. B.; CHAVES, L. H. G.; LIMA, E. R. V. Detecção de mudança da vegetação de caatinga. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 5, n. 6, p. 1473-1487, 2012.

HARE, F. K.; WARREN, A.; MAIZELS, J. K.; KATES, R. W.; JOHNSON, D. L.; HARING, K. J.; GARDUÑO, M. A. (Org.). **Desertificação**: causas e consequências. Lisboa: Fundação Gulbenkian, 1992.

HELLDÉN, U. Desertification: time for an assessment? **Ambio**, [S.I.], v. 20, n. 8, p. 372-383, 1991.

HUANG, J.; ZHANG, G.; ZHANG, Y.; GUAN, X.; WEI, Y.; GUO, R. Global desertification vulnerability to climate change and human activities. **Land Degradation & Development**, [S.I.], v. 31, n. 11, p. 1380-1391, 2020.

IBGE. **Mapa de solos do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 2006. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/>. Acesso em 15 fev. 2023.

IBGE. **Base cartográfica contínua do Brasil na escala 1:250.000**. Rio de Janeiro: IBGE, 2017.

INPE. **Proclima**. INPE/CPTEC, 2020. Disponível em: <http://proclima.cptec.inpe.br/>. Acesso em: 13 jun. 2022.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente**. São José dos Campos: Parêntese, 2009.

KASSAS, M. Desertification: a general review. **Journal of Arid Environments**, [S.I.], v. 30, n. 2, p. 115-128, 1995.

LEFF, E. **Aposta pela vida**: imaginação sociológica e imaginários sociais nos territórios ambientais do Sul. Petrópolis: Vozes, 2016.

LEIVAS, J. F.; ANDRADE, R. G.; VICTORIA, D. C.; TORRESAN, F. E.; BOLFE, E. L. Monitoramento da seca 2011/2012 no nordeste brasileiro a partir do satélite SPOT-Vegetation e TRMM. **Engenharia na agricultura**, Viçosa, v. 22, n. 3, p. 211-221, 2014.

LOBÃO, J. S. B.; VALE, R. C. M. Lógica fuzzy na modelagem da desertificação no estado da Bahia. **Geografia**, Rio Claro, v. 38, n. 1, p. 123-140, 2013.

MALLMANN, C. L.; PRADO, D. A.; PEREIRA FILHO, W. Índice de vegetação por diferença normalizada para caracterização da dinâmica florestal no parque estadual Quarta Colônia, estado do Rio Grande do Sul – Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 8, n. 5, p. 1454-1469, 2015.

MARENKO, J. A.; CUNHA, A. P.; ALVES, L. P. A seca de 2012-15 no semiárido do Nordeste do Brasil no contexto histórico. **Revista Climanálise**, São José dos Campos, v. 1, p. 49-54, 2016.

MASUOKA, E.; FLEIG, A.; WOLFE, R. E.; PATT, F. Key characteristics of MODIS data products. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, [s.l.], v. 36, n. 4, p. 1313-1323, 1998. DOI: 10.1109/36.701081.

MENDONÇA, F. Geografia física: complexidade, multiescalaridade e oportunidades em tempos de mudanças globais. **GEONORTE**, Manaus, v. 4, n. 4, p. 239-248, 2012.

MUTTI, P. R.; LÚCIO, P. S.; DUBREUIL, V.; BEZERRA, B. G. NDVI time series stochastic models for the forecast of vegetation dynamics over desertification hotspots. **International Journal of Remote Sensing**, [S.I.], v. 41, n. 7, p. 2759-2788, 2020.

NIMER, E. Desertificação: realidade ou mito? **Revista Brasileira de Geografia**, Rio de Janeiro, v. 50, n. 1, p. 7-39, 1988.

OLIVEIRA JUNIOR, I. **Da mata branca ao estado de degradação**: a desertificação em Canudos-BA. Orientadora: Barbara-Christine Marie Nentwig Silva. 2019. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós Graduação em Geografia, Instituto de Geociências, Universidade do Estado da Bahia, Salvador, 2019.

OLIVEIRA JUNIOR, I. Fragmentos vegetais da caatinga e métricas da paisagem: uma abordagem no contexto do processo de desertificação. **ACTA Geográfica**, v. 16, n. 41, p. 280-308, 2022.

OLIVEIRA JUNIOR, I.; LOBÃO, J. S. B.; SILVA, B. C. M. N.; PEREIRA, A. J. Indicadores socioeconômicos de desertificação: análise da produção agropecuária no polo regional de Jeremoabo-Bahia. **Geonordeste**, v. 29, n. 2, p. 23-42, 2018.

OLIVEIRA JUNIOR, I.; PEREIRA, A. J. Evolução do uso e cobertura da terra e vulnerabilidade ambiental nos núcleos de desertificação do bioma Caatinga. **Caderno de Geografia**, v. 33, n. 74, p. 910-938, 2023.

OLIVEIRA JUNIOR, I.; PEREIRA, A. J.; LOBÃO, J. S. B.; SILVA, B. C. M. N. Uso e cobertura da terra e o processo de desertificação no polo regional de Jeremoabo-Bahia. **Revista de Geografia**, v. 37, n. 2, p. 130, 2020.

OLIVEIRA JUNIOR, I.; PEREIRA, A. J.; SILVA, B. C. M. N. Uso e cobertura da terra no trópico semiárido: da apropriação ambiental às feições da desertificação. **Caderno de Geografia**, v. 32, n. 69, p. 619-648, 2022.

PENG, X.; DAI, Q.; DING, G.; SHI, D.; LI, C. The role of soil water retention functions of near-surface fissures with different vegetation types in a rocky desertification area. **Plant Soil**, [S.I.], n. 441, p. 587-599, 2019.

PEREIRA, A. J.; OLIVEIRA JUNIOR, I.; LOBÃO, J. S. B. Análise da susceptibilidade à desertificação em ambiente de Caatinga. **Geo UERJ**, n. 37, p. e39260, 2020.

PORTO-GONÇALVES, C. W. **A globalização da natureza e a natureza da globalização**. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 2006.

PRADO, D. E. As Caatingas da América do Sul. In: LEAL, I. R.; TABARELLI, M.; SILVA, J. M. (Ed.). **Ecologia e conservação da caatinga**. Recife: UFPE, 2003. p. 03-74.

RODRIGUES, J. O.; ANDRADE, E. M.; TEIXEIRA, A. S.; SILVA, B. B. Sazonalidade de variáveis biofísicas em regiões semiáridas pelo emprego do sensoriamento remoto. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 3, p. 452-465, 2009.

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, 1973. p. 309-317.

RUDORFF, B. F. T.; SHIMABUKURO, Y. E.; CEBALLOS, J. C. **O sensor MODIS e suas aplicações ambientais no Brasil**. São José dos Campos: Parênteses, 2007.

SALES, M. C. L. Potencial de erosão das terras no núcleo de desertificação de Irauçuba estimada por meio dos parâmetros da EUPS. In: OLIVEIRA, J. G. B.; SALES, M. C. L. (Org.). **Monitoramento da desertificação em Irauçuba**. Fortaleza: Imprensa Universitária, 2015. p. 65-86.

SAYL, K. N.; SULAIMAN, S. L.; KAMEL, A. H.; MUHAMMAD, N. S.; ABDULLAH, J.; AL-ANSARI, N. Minimizing the Impacts of Desertification in an Arid Region: A Case Study of the West Desert of Iraq. **Advances in Civil Engineering**, [S.I.], v. 2021, e5580286, 2021.

SOUZA, B. I. Desertificação e dinâmica da cobertura vegetal: conhecimentos acumulados e desafios vigentes. **Geo UERJ**, Rio de Janeiro, n. 42, e51824, 2023.

SUPERINTENDÊNCIA DE ESTUDOS ECONÔMICOS E SOCIAIS DA BAHIA. **Balanço hídrico do estado da Bahia**. Salvador: SEI, 1999.

TORRES, L.; ABRAHAM, L. M.; RUBIO, C.; BARBERO-SIERRA, C.; RUIZ-PÉREZ, M. Desertification research in Argentina. **Land Degradation & Development**, [S.I.], v. 26, p. 433-440, 2015.

UNCCD. **Convenção das Nações Unidas de combate à desertificação nos países afetados por seca grave e/ou desertificação, particularmente na África**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 1997.

VIEIRA, R. M. S. P.; TOMASELLA, J.; BARBOSA, A. A.; MARTINS, M. A.; RODRIGUEZ, D. A.; REZENDE, F. S.; CARRIELLO, F.; OLIVEIRA, M. O. Desertification risk assessment in Northeast Brazil: current trends and future scenarios. **Land Degradation & Development**, [S.I.], v. 32, p. 224-240, 2020.

WARREN, A.; MAIZELS, J. K. **Ecological change and desertification**. Nairobi: United Nations Environment Programme, 1976.

ZELNIK, Y. R.; UECKER, H.; FEUDEL, U.; MERON, E. Desertification by front propagation? **Journal of Theoretical Biology**, [S.I.], v. 418, p. 27-35, 2017.

Contribuições de autoria

1 – Israel de Oliveira Junior

Universidade do Estado da Bahia, Doutor em Geografia

<https://orcid.org/0000-0002-9815-7334> • iojjunior@gmail.com

Contribuição: Conceituação, curadoria de dados, investigação, metodologia, escrita - revisão e edição

2 – Anderson de Jesus Pereira

Universidade Estadual Paulista, Mestre em Agronomia

<https://orcid.org/0000-0002-1865-5481> • agroandersonn@gmail.com

Contribuição: Investigação, escrita - revisão e edição

Como citar este artigo

OLIVEIRA JUNIOR, I.; PEREIRA, A. J. Índice de vegetação e dinâmica das caatingas: a vulnerabilidade ambiental à desertificação em Canudos-BA. **Geografia Ensino & Pesquisa**, Santa Maria, v. 29, e87806, 2025. Disponível em: 10.5902/2236499487806. Acesso em: dia mês abreviado. ano.