



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgf>



Impactos da mudança do uso e cobertura da terra na temperatura da superfície em Sousa/PB: uma abordagem com índices espectrais e dados Landsat 8

Maria José Herculano Macedo¹, Anderson Matheus de Araújo², Maria Mirele dos Santos Melo³, Fabiano da Silva Araújo⁴, Eliton Sancler Gomes Sales⁵, Bernardo Barbosa da Silva⁶

¹ Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Tecnologia do Desenvolvimento, Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido, Sumé, PB, Brasil. E-mail: maria.jose@professor.ufcg.edu.br (<https://orcid.org/0000-0001-6160-8659>). ² Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Tecnologia do Desenvolvimento, Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido, Sumé, PB, Brasil. E-mail: anderson34matheus@gmail.com (<https://orcid.org/0009-0009-4135-2073>). ³ Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Tecnologia do Desenvolvimento, Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido, Sumé, PB, Brasil. E-mail: maria18mirele18@gmail.com (<https://orcid.org/0009-0008-2503-0659>). ⁴ Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Tecnologia do Desenvolvimento, Centro de Desenvolvimento Sustentável do Semiárido, Sumé, PB, Brasil. E-mail: fabianosilva1479@gmail.com (<https://orcid.org/0009-0002-1397-6312>). ⁵ Universidade Estadual de Goiás, Unidade Universitária de Ciências Exatas e Tecnológicas, Anápolis, GO, Brasil. E-mail: eliton.sancler@ueg.br (<https://orcid.org/0000-0003-2022-6528>). ⁶ Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas, Campina Grande, PB, Brasil. E-mail: bbdasilvaufpe@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0002-5956-7023>).

Artigo recebido em 12/05/2026 e aceito em 03/06/2026

RESUMO

Este artigo analisa a relação entre os padrões de cobertura vegetal e a temperatura da superfície terrestre no município de Sousa-PB, utilizando índices espectrais derivados de imagens do satélite Landsat 8, no período de 2013 a 2024. Foram aplicados os índices IVDN, IVAS e IAF para avaliar a dinâmica da vegetação, além da temperatura da superfície, estimada a partir da banda termal. Os dados foram organizados em séries temporais trienais e integrados às classes de uso e cobertura da terra do MapBiomass. Os resultados revelaram transformações expressivas na paisagem, com redução da formação savânica e aumento de pastagens e mosaicos de uso, indicando intensificação de atividades antrópicas. Observou-se um padrão inverso entre vegetação e temperatura: áreas com maior densidade vegetal apresentaram temperaturas mais amenas (<30 °C), enquanto regiões com menor cobertura exibiram temperaturas superiores a 40 °C. A análise estatística demonstrou correlações negativas fortes entre os índices espectrais e a temperatura ($r < -0,80$; $p < 0,001$), indicando que a redução da vegetação está associada ao aumento térmico. Os índices de vegetação apresentaram variações sazonais, com maiores valores nos meses chuvosos (janeiro a maio), acompanhando o regime pluviométrico regional. O estudo evidencia a importância da vegetação na modulação térmica da superfície, destacando a sensibilidade do ecossistema semiárido às variações climáticas e ao uso e cobertura da terra. Os resultados reforçam o valor do sensoriamento remoto como ferramenta de monitoramento ambiental em regiões vulneráveis.

Palavras-chave: sensoriamento remoto, IVDN, IVAS, IAF, temperatura, uso e cobertura da terra.

Impacts of land use and land cover change on surface temperature in Sousa/PB: an approach using spectral indices and Landsat 8

ABSTRACT

This study analyzes the relationship between vegetation cover patterns and land surface temperature (LST) in the municipality of Sousa, Paraíba (Brazil), using spectral indices derived from Landsat 8 imagery from 2013 to 2024. The NDVI, SAVI, and LAI indices were applied to assess vegetation dynamics, while LST was estimated using the thermal band. Data were structured into three-year temporal series and integrated with land use and land cover classifications from MapBiomass. The results revealed significant landscape transformations, including a decrease in savanna formations and an increase in pasture and land use mosaics, indicating intensified anthropogenic

activities. An inverse pattern was observed between vegetation and surface temperature: areas with higher vegetation density exhibited lower temperatures ($<30^{\circ}\text{C}$), whereas regions with sparse vegetation exceeded 40°C . Statistical analysis showed strong negative correlations between vegetation indices and LST ($r < -0.80$; $p < 0.001$), highlighting the thermal impact of vegetation loss. The vegetation indices also displayed seasonal variation, with higher values during the rainy season (January to May), in accordance with the regional rainfall regime. The study emphasizes the role of vegetation in surface temperature regulation and demonstrates the vulnerability of semi-arid ecosystems to climatic variations and land use and occupation. The results reinforce the value of remote sensing as a tool for environmental monitoring in sensitive regions.

Keywords: remote sensing, NDVI, SAVI, LAI, temperature, land use and land cover.

Introdução

As mudanças climáticas vêm provocando impactos profundos nos ecossistemas naturais e nas dinâmicas socioeconômicas, afetando diferentes setores produtivos. A agricultura destaca-se entre os segmentos mais vulneráveis, sobretudo em razão das alterações no regime hídrico, que reduzem a produtividade agrícola (Dietz; Lanz, 2025). No setor aquícola, a intensificação de condições climáticas mais secas e quentes, associada ao desmatamento e à fragmentação florestal, compromete a disponibilidade e a qualidade da água necessária às atividades produtivas (León-Muñoz et al., 2023). Nos países em desenvolvimento, a adoção de políticas de mitigação enfrenta obstáculos institucionais e financeiros, o que dificulta a transição para uma economia sustentável e limita o avanço das metas de redução de emissões (Malley et al., 2021). Nesse contexto, indicadores ambientais tornam-se importantes ferramentas para avaliar a eficácia das ações de adaptação e monitorar os efeitos das mudanças climáticas (Fu et al., 2021).

As mudanças climáticas têm influenciado a distribuição pluviométrica ao provocar alterações nos padrões de precipitação e na ocorrência de eventos extremos, como secas e chuvas intensas, com reflexos sobre a vazão dos rios e a disponibilidade de recursos hídricos (Blin et al., 2022). Além dos fatores climáticos, processos antrópicos, como urbanização e desmatamento, afetam o equilíbrio hidrológico das bacias hidrográficas ao reduzir a infiltração da água no solo e aumentar o escoamento superficial (Llauca; Leon; Lavado-Casimiro, 2023). Essas transformações ampliam a vulnerabilidade ambiental e reforçam a necessidade de estratégias voltadas à conservação dos recursos naturais e ao planejamento territorial sustentável (Lima et al., 2024).

Nesse cenário, os índices espectrais são fundamentais para avaliar os impactos das mudanças climáticas na cobertura vegetal, os fluxos de energia da superfície terrestre e os processos de degradação ambiental. Entre os principais indicadores empregados em estudos ambientais destacam-se o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN /NDVI – Normalized Difference Vegetation Index), o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (IVAS/SAVI – Soil Adjusted Vegetation Index) e o Índice de Área Foliar (IAF/LAI – Leaf Area Index), amplamente empregados em estudos de monitoramento ambiental e análise da dinâmica da vegetação (Ibarra-Bonilla et al., 2024; Mousavi et al., 2026; Silva et al., 2022).

O IVDN é um indicador da densidade e do vigor da vegetação, sendo amplamente utilizado no monitoramento sazonal e na detecção de alterações na cobertura vegetal (Bezerra et al., 2022a; Essaadia et al., 2022). O IVAS incorpora um fator de correção que reduz a influência da refletância do solo, tornando-se mais adequado para regiões semiáridas com vegetação esparsa (Bezerra et al., 2022a; Rodriguez-Jimenez et al., 2023). Já o IAF, por sua vez, possibilita estimar a biomassa vegetal e compreender processos relacionados ao balanço energético, à evapotranspiração e aos fluxos de carbono e umidade (Khan; Alamgir; Fatima, 2025).

A utilização de índices espectrais de vegetação também apresenta importante contribuição para estudos relacionados à temperatura da superfície terrestre. A redução da cobertura vegetal, evidenciada por baixos valores de IVDN e IVAS, contribui para o aumento da temperatura superficial e para a intensificação de processos de degradação ambiental e formação de ilhas de calor (Bezerra et al., 2022a; Khan, Alamgir e Fatima, 2025).

Nesse contexto, pesquisas desenvolvidas em diferentes ambientes têm demonstrado a eficiência dos índices espectrais

na compreensão das interações entre cobertura vegetal e temperatura da superfície. Lotufo et al. (2020), ao investigarem áreas queimadas, observaram aumento significativo da temperatura superficial em regiões degradadas, associado à redução da vegetação e à maior absorção de radiação solar. Além disso, fatores como geometria de iluminação, sombreamento e condições topográficas podem interferir na resposta espectral da vegetação, tornando necessárias correções atmosféricas e topográficas para melhorar a acurácia das análises (Gaida et al., 2016). Pesquisas recentes também apontam avanços na estimativa do IAF por meio da integração entre imagens de satélite, sensores de radiação e tecnologias Light Detection and Ranging (LiDAR), ampliando a precisão das análises ambientais (Cantini et al., 2023).

O avanço das geotecnologias, especialmente plataformas de processamento em nuvem como o Google Earth Engine (GEE), tem ampliado as possibilidades de monitoramento ambiental em larga escala. A plataforma permite o processamento eficiente de grandes volumes de dados de sensoriamento remoto, favorecendo análises espaço-temporais

relacionadas às mudanças no uso e cobertura da terra, à variabilidade climática e à dinâmica da vegetação (Ghimire et al., 2025). Além disso, a integração entre dados ambientais e modelos hidrológicos contribui para o planejamento sustentável e para a gestão dos recursos naturais em regiões vulneráveis às mudanças climáticas (Thomas et al., 2025; Intiaz et al., 2025).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho consiste em analisar a relação entre os padrões de cobertura vegetal e a temperatura da superfície terrestre no município de Sousa-PB, por meio de índices espectrais derivados dos produtos do Landsat 8 e dados de uso e cobertura da Terra, provenientes do MapBiomas.

Metodologia

Área de Estudo

O presente estudo foi realizado no município de Sousa-PB, ocupando uma área de 728,49 km², estando situada a 438 km da capital paraibana e com população de 67.259 (IBGE, 2022). Suas coordenadas geográficas são 6°45'00"S de latitude e 38°13'23"W de longitude, conforme Figura 1.

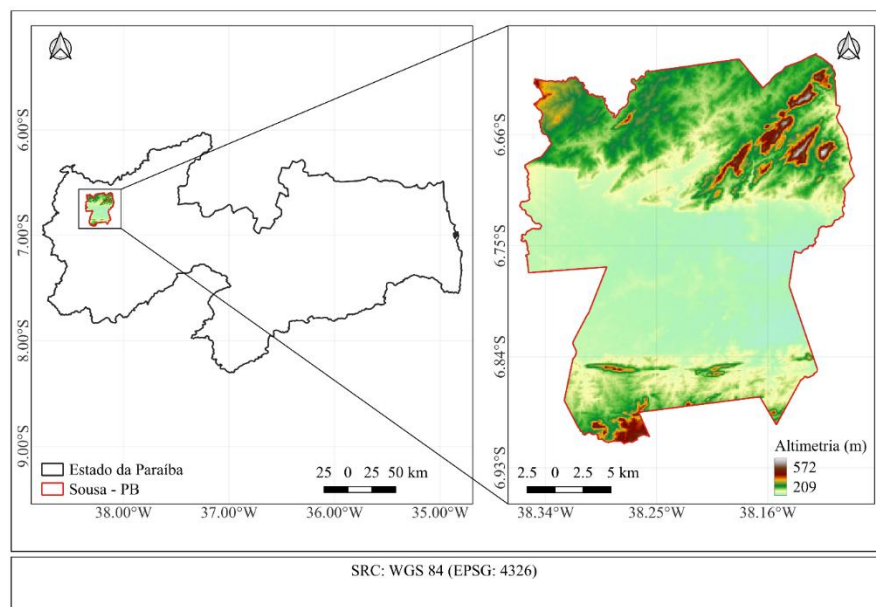


Figura 1. Município de Sousa - PB.

Segundo a classificação climática de Köppen, a região é caracterizada pelo tipo Aw', correspondente ao clima tropical quente e

úmido, com predominância de chuvas entre o verão e o outono, com uma média anual de insolação diária superior a 8 horas e as

temperaturas médias ao longo do ano variam entre 23 °C e 27 °C. Esse padrão climático é observado especialmente nas áreas elevadas da depressão, nos contrafortes e nas partes superiores do Planalto de Princesa, ao sul, na divisa com o estado de Pernambuco, e na porção oeste, próxima ao Ceará (Francisco, 2010; Francisco et al, 2016).

O município de estudo se destaca como um importante polo econômico e agrícola do Alto Sertão paraibano, com ênfase na produção de coco, banana e algodão (Mendes, 2023).

A cobertura da terra influencia diretamente os índices espectrais e a temperatura da superfície. Alterações na vegetação e no uso do solo afetam indicadores como IAF, IVDN e IVAS, sendo, portanto, essencial a análise temporal da paisagem para uma interpretação integrada desses parâmetros. Nesse contexto, foi realizada uma análise comparativa do uso e cobertura da terra no município de Sousa - PB entre os anos de 2013 e 2023, com base nos dados do projeto MapBiomias.

Bandas Multiespectrais do Landsat 8

As imagens utilizadas na presente pesquisa foram extraídas dos sensores orbitais do satélite Landsat 8 e são fundamentais para o monitoramento ambiental e para a análise temporal das mudanças na cobertura do solo. As imagens foram obtidas por meio do sensor Operational Land Imager (OLI) e o Thermal

Infrared Sensor (TIRS), com banda 10, com informações espectrais descritas na Tabela 1. O Landsat 8, lançado em 2013, trouxe avanços na captura e processamento de imagens, proporcionando análises mais precisas e detalhadas.

Dessa forma, foi utilizada a coleção 2 do Landsat 8 nível 1 de reflectância calibrada no topo da atmosfera, disponível no GEE, referente ao período de 13 de março de 2013 a 31 de dezembro de 2024. As imagens foram filtradas por data. A essas imagens foi aplicado o recorte do município de Sousa, seguido da utilização da banda de qualidade QA_PIXEL para remoção de pixels contaminados por nuvens e sombras de nuvens. A filtragem foi realizada por meio de operações bitwise, utilizando os bits de controle de qualidade disponibilizados na coleção de imagens Landsat. Foram mascarados os pixels associados às classes de nuvem (bit 3) e sombra de nuvem (bit 4), mantendo apenas pixels considerados válidos para análise espectral e térmica. Esse procedimento contribui para reduzir interferências atmosféricas e aumentar a confiabilidade dos índices espectrais e da temperatura da superfície estimada. Além disso, somente cenas com percentual de cobertura de nuvem e sombra inferior a 5% foram consideradas na análise. Ao final do processamento, foram selecionadas 154 imagens.

Tabela 1 - Características das bandas multiespectrais do sensor OLI e TIRS do Landsat 8.

Sensor	Banda	Descrição	Resolução Espectral (μm)	Resolução Espacial(m)
OLI	B1	Aerossol Costeiro	0,43 - 0,45	30
OLI	B2	Azul	0,45 - 0,51	30
OLI	B3	Verde	0,53 - 0,59	30
OLI	B4	Vermelho	0,64 - 0,67	30
OLI	B5	Infravermelho Próximo (NIR)	0,85 - 0,88	30
OLI	B6	Infravermelho de Ondas Curtas 1 (SWIR 1)	1,57 - 1,65	30
OLI	B7	Infravermelho de Ondas Curtas 2 (SWIR 2)	2,11 - 2,29	30
OLI	B8	Pancromática	0,50 - 0,68	15
OLI	B9	Cirros	1,36 - 1,38	30
TIRS	B10	Infravermelho Térmico 1	10,60 – 11,19	100 (reamostrada para 30)
TIRS	B11	Infravermelho Térmico 2	11,50 – 12,51	100 (reamostrada para 30)

Fonte: Adaptado de Silva et al. (2022) e Ihlen & Zanter (2019).

Cálculo dos Índices Espectrais

O IVDN é um índice amplamente utilizado no monitoramento da cobertura vegetal, permitindo avaliar sua variação temporal e espacial. Sendo calculado conforme a Equação 1 (Allen et al., 2002):

$$IVDN = \frac{(NIR - Red)}{(NIR + Red)} \quad (1)$$

onde *NIR* representa a reflectância na banda do infravermelho próximo (B5) e *RED* na banda do vermelho (B4).

O cálculo do IVAS e IAF baseia-se na influência da reflectância do solo e na densidade da vegetação, permitindo estimativas mais precisas da cobertura vegetal (Tasumi et al., 2008), sendo obtidos conforme as Equações 2 e 3, respectivamente:

$$IVAS = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED + L)} (1 + L) \quad (2)$$

$$IAF = - \frac{\ln\left(\frac{0,69 - IVAS}{0,59}\right)}{0,91} \quad (3)$$

sendo *L* um fator de ajuste do índice que depende do tipo de solo, adotado neste estudo como *L* = 0,5, valor comumente utilizado em áreas com cobertura vegetal pouco densa (Kreri et al., 2026).

O IVAS é particularmente eficaz em regiões com vegetação esparsa, pois reduz o impacto da reflectância do solo (Das et al., 2023). O IAF, por sua vez, é um indicador importante no monitoramento da dinâmica da vegetação, produtividade primária e no balanço energético de ecossistemas naturais e agrícolas (Gavilan-Acuña et al., 2024).

Estimativa da Temperatura da Superfície

A estimativa da temperatura da superfície baseia-se na equação de Planck invertida, originalmente válida para corpos negros. No entanto, como os pixels das imagens de sensoriamento remoto não se comportam como emissores ideais, é necessário considerar a emissividade espectral de cada pixel. Para isso, utilizou-se a emissividade espectral da

superfície correspondente ao domínio da banda termal ϵ_{nb} (10,4–12,5 μm), estimada em função do Índice de Área Foliar (IAF), conforme proposto por Allen et al. (2002), utilizando a relação apresentada na Equação 4.

$$\epsilon_{nb} = 0,97 + 0,0033 IAF \quad (4)$$

A temperatura da superfície terrestre foi estimada com base na função inversa da equação de Planck, utilizando o modelo proposto por Markham e Barker (1987), adaptado para sensores orbitais. Utilizou-se a radiância espectral da banda termal (Banda 10) do TIRS. $L_{\lambda,10}$ juntamente com a emissividade espectral da superfície ϵ_{nb} obtida na etapa anterior. A temperatura da superfície, em Kelvin (K), é então determinada por meio da seguinte equação:

$$T = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{\epsilon_{nb} K_1}{L_{\lambda,10}} + 1\right)} \quad (5)$$

onde $K_1 = 774,8853$ e $K_2 = 1321,0789$ são constantes espectrais da banda 10 (Chander et al., 2009; Ihlen; Zanter, 2019).

Após a obtenção dos índices espectrais e da temperatura da superfície por meio da plataforma GEE, foi realizada uma análise espacial com base nas medianas trienais dos dados, referentes aos períodos de 2013–2015, 2016–2018, 2019–2021 e 2022–2024. A utilização de intervalos trienais teve como finalidade reduzir os efeitos de variabilidades sazonais e de anomalias atmosféricas pontuais, comuns em séries temporais de sensoriamento remoto, além de minimizar inconsistências relacionadas à cobertura de nuvens e oscilações interanuais do regime pluviométrico característico do semiárido.

A adoção da mediana como medida de tendência central permitiu reduzir a influência de valores extremos associados a ruídos espectrais, pixels residuais contaminados e eventos climáticos episódicos, proporcionando composições temporais mais estáveis e representativas das condições médias da superfície terrestre ao longo do período

analisado. Essa abordagem favorece a identificação de padrões espaciais persistentes da vegetação e da temperatura da superfície, aumentando a robustez das análises ambientais e comparações entre os diferentes períodos avaliados.

Com base nas medianas trienais, foram geradas imagens compostas e mapas temáticos. Também foram extraídas as medianas globais de cada índice, com o objetivo de realizar análises temporais quantitativas.

A relação entre os índices de vegetação (IVDN, IVAS e IAF) e a temperatura de superfície foi investigada por meio de análise de regressão linear simples. Foram calculados os coeficientes de correlação (r), determinação (R^2) e o nível de significância estatística (p), obtidos por meio do teste t associado à regressão linear simples, adotando-se nível de confiança de 99,9% ($p < 0,001$). As análises estatísticas foram utilizadas para avaliar a intensidade e a significância da relação entre os índices espectrais e a temperatura da superfície.

Resultados e discussão

A análise dos dados revelou mudanças significativas na paisagem do município de Sousa entre 2013 e 2023. Conforme apresentado na Figura 2 e na Tabela 2, observou-se uma redução expressiva na classe de formação savânica, que passou de 479,20 km² em 2013 para 386,95 km² em 2023. Esse decréscimo está associado à substituição da vegetação nativa por usos antrópicos, principalmente pastagens e mosaicos de usos. Essa tendência é corroborada por estudos anteriores realizados na região. Silva et al. (2018), ao analisarem a cobertura vegetal de Sousa entre 1989 e 2016, identificaram um decréscimo significativo da vegetação semidensa, que passou de 159,2% para 48,6%, e um aumento do solo exposto de 77,5% para 95,4%. A classe de vegetação rala com mais solo exposto também cresceu de 274,3% para 386,7% no mesmo período. Esses dados históricos demonstram que a redução da formação savânica observada entre 2013 e 2023 é uma continuidade de um processo de degradação e substituição da vegetação natural que já vinha ocorrendo há décadas no município.

Os resultados obtidos neste estudo também estão em consonância com os achados de Rocha et al. (2024), que identificaram uma redução de aproximadamente 11% da vegetação natural da Caatinga entre 1985 e 2019, correspondente à perda de cerca de 6,57 milhões de hectares. Paralelamente, os autores observaram uma expressiva expansão dos usos agropecuários, com aumento de 62% das áreas de pastagem e de 284% das terras agrícolas. De forma complementar, Araujo et al. (2023) identificaram a perturbação antrópica como o principal fator associado às mudanças observadas na vegetação da Caatinga, verificando que áreas submetidas a maiores níveis de atividade humana apresentam alterações mais intensas na estrutura e no funcionamento dos ecossistemas. Além disso, Justino et al. (2025) destacam que a conversão da vegetação nativa para usos agropecuários constitui um importante vetor de degradação ambiental, favorecendo a fragmentação da paisagem, a perda de biodiversidade e a intensificação dos processos de desertificação.

A área destinada à pastagem aumentou aproximadamente 53 km², evidenciando a intensificação da atividade pecuária no município. Paralelamente, a extensão do mosaico de usos quase triplicou no período analisado, indicando maior heterogeneidade e fragmentação da ocupação do solo. Esses resultados são consistentes com o aumento das áreas de solo exposto e da vegetação rala reportados por Silva et al. (2018).

Este aumento das áreas de pastagens em Sousa está em consonância com o que é destacado na literatura, já que o município concentra o maior rebanho bovino da Região Administrativa da SEDAP (Defesa Agropecuária do Estado), representando 32% do total de bovinos entre os 11 municípios da região. Além disso, Sousa é o 3º maior produtor de caprinos, o 8º maior de ovinos e o 1º em produção de suínos na área da Unidade Local de Sanidade Animal e Vegetal de Sousa. A literatura também aponta que esse fato está ligado não só à maior extensão territorial do município, mas também à presença dos perímetros irrigados de São Gonçalo e Várzeas de Sousa, que fornecem condições favoráveis para produção e pastagem, além da existência de indústrias de laticínios que absorvem a maior parte do leite produzido (Alves, 2021).

A formação campestre, geralmente composta por vegetação rasteira ou herbácea, expandiu-se de forma notável. Isso pode indicar processos de degradação ou conversão de savana para vegetação menos densa, servindo como estágio intermediário entre a vegetação natural e o uso agropecuário.

A área urbanizada aumentou de 12,93 km² para 15,60 km², correspondendo a crescimento de 20,7%. Essa informação aponta para a expansão da malha urbana, associada ao crescimento populacional, à ocupação periférica e à urbanização difusa, conforme pode ser evidenciado na Figura 2, inclusive na região noroeste do município. Esses dados reforçam o que foi apresentado pelo IBGE (2022), a população da cidade de Sousa chegou a 67.259 pessoas no Censo de 2022, o que

representa um aumento de 2,22% em comparação com o Censo de 2010.

As áreas classificadas como Rio, Lago e Oceano apresentaram aumento de 2,27 km², possivelmente associado à maior disponibilidade hídrica registrada entre 2020 e 2023, período em que a precipitação média anual atingiu aproximadamente 1079 mm (AESA, 2025). Já o crescimento das áreas não vegetadas pode estar relacionado tanto à dinâmica hídrica local quanto à intensificação da exposição do solo.

Por outro lado, a classe de lavouras temporárias teve uma variação pequena, sugerindo que a agricultura anual de ciclo curto se manteve relativamente constante no período.

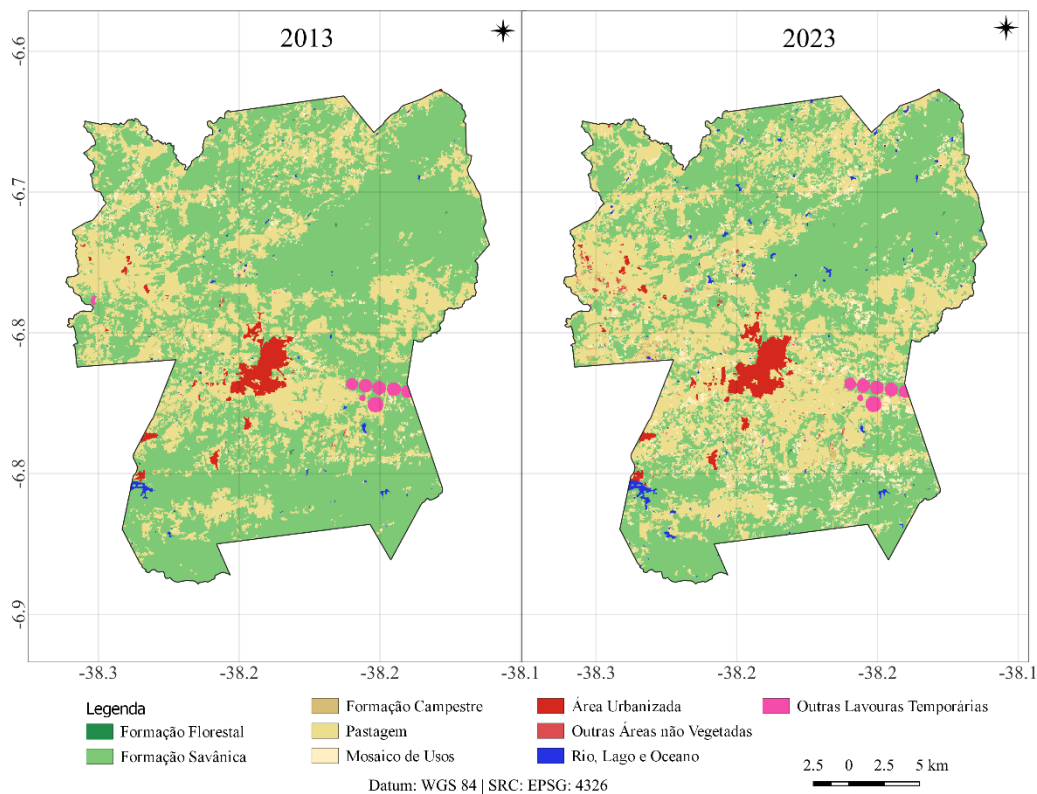


Figura 2. Uso e Cobertura da Terra no Município de Sousa-PB em 2013 e 2023 (MapBiomias).
Fonte: Adaptado do MapBiomias (2025).

Tabela 2 - Classes de Uso e Cobertura da Terra no Município de Sousa (PB), entre 2013 e 2023, segundo o MapBiomias.

Código	Classe de Uso e Cobertura da Terra	Area (km ²) - 2013	Area (km ²) - 2023
3	Formação Florestal	0.10	0.10
4	Formação Savânica	479.20	386.95
12	Formação Campestre	0.15	3.73
15	Pastagem	211.80	265.30
21	Mosaico de Usos	17.52	46.43
24	Área Urbanizada	12.93	15.60
25	Outras áreas não vegetadas	0.29	1.46
33	Rio, Lago e Oceano	1.95	4.22
41	Outras Lavouras Temporárias	4.57	4.71

Fonte: Adaptado do MapBiomias (2025).

O IVDN apresentou valores mínimos e máximos de -0,355 e 0,825, respectivamente, no período de 2013 a 2024. Na Figura 3, observa-se um leve aumento dos valores máximos no último triênio (2022–2024), o que sugere uma recuperação gradual da cobertura vegetal. Apesar dessa tendência positiva, a ocorrência pontual de valores negativos indica a presença de áreas com solo exposto ou corpos d'água, especialmente observadas na parte oeste da área de estudo. O comportamento observado na região indica resiliência da vegetação típica do semiárido, com destaque na porção sul e sudeste da área de estudo. Resultados semelhantes foram reportados por Silva et al. (2022), que identificaram padrões de recuperação da cobertura vegetal em períodos pós-secos, evidenciando a notável capacidade de regeneração da Caatinga diante da variabilidade climática.

No triênio de 2019 a 2021, observou-se maior extensão de áreas com temperaturas mais amenas na região de Sousa. Em contrapartida, as porções central e noroeste destacaram-se, ao longo dos mapas, por apresentarem os maiores valores de temperatura.

A área urbana se destacou, na região central dos mapas, com maiores temperaturas nos triênios 2013 a 2015 e 2022 a 2024. As áreas de irrigação que correspondem às lavouras temporárias de acordo com a Figura 2, refletiram menores temperaturas superficiais em todos os triênios. A região triangular localizada ao norte do município, caracterizada por maiores altitudes (Figura 1) e predominância de formação savânica (Figura 2), também apresentou temperaturas mais amenas.

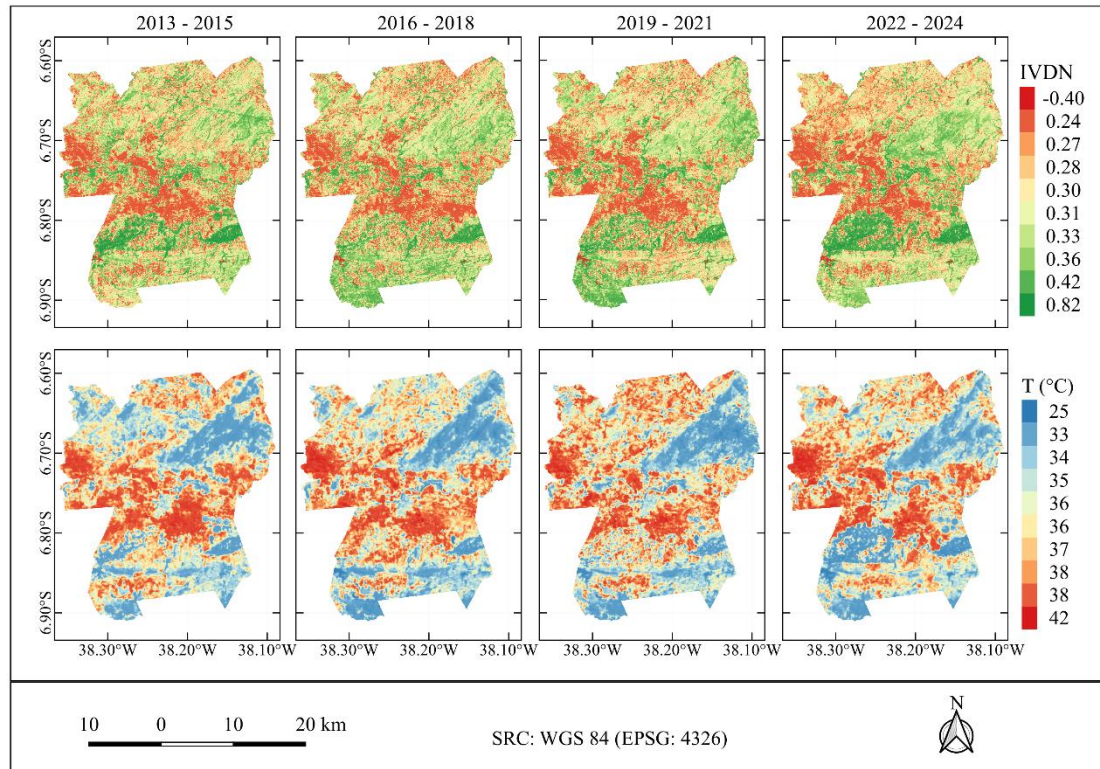


Figura 3. Dinâmica espaço-temporal do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN) e Temperatura Superficial da Terra (°C), município de Sousa, Paraíba, Brasil, entre 2013 e 2024.

Os mapas revelam relação espacial inversa entre o IVDN e temperatura superficial. As áreas com maior densidade vegetativa (IVDN próximo a 0,8) concentram-se no sul da área de estudo, onde as temperaturas variaram entre 23,7 °C e 28 °C. Em contraste, regiões com IVDN inferior a 0,2 registraram temperaturas superiores a 38 °C. Esse padrão evidencia a influência da vegetação na modulação térmica da superfície, principalmente em ambientes semiáridos, devido aos efeitos de sombreamento e evapotranspiração (Bezerra et al., 2022b).

Os valores de IAF variaram entre -0,50 e 5,87 m²/m² ao longo dos triênios analisados. A Figura 4 demonstra maiores valores nos

períodos de 2013–2015 e 2022–2024, com redução nos triênios intermediários. Esse padrão é coerente com períodos de menor precipitação seguidos pela recuperação do dossel vegetal. Valores de IAF próximos de zero são típicos de vegetação rala, característica do Bioma Caatinga, composto por espécies decíduas adaptadas à seca. Além da influência da sazonalidade climática, baixos valores de IAF podem estar associados às limitações ambientais típicas do semiárido, como características dos solos predominantes no bioma, que, em geral, são rasos e apresentam baixa capacidade de armazenamento de água, limitando o desenvolvimento da cobertura vegetal (Jardim et al., 2022).

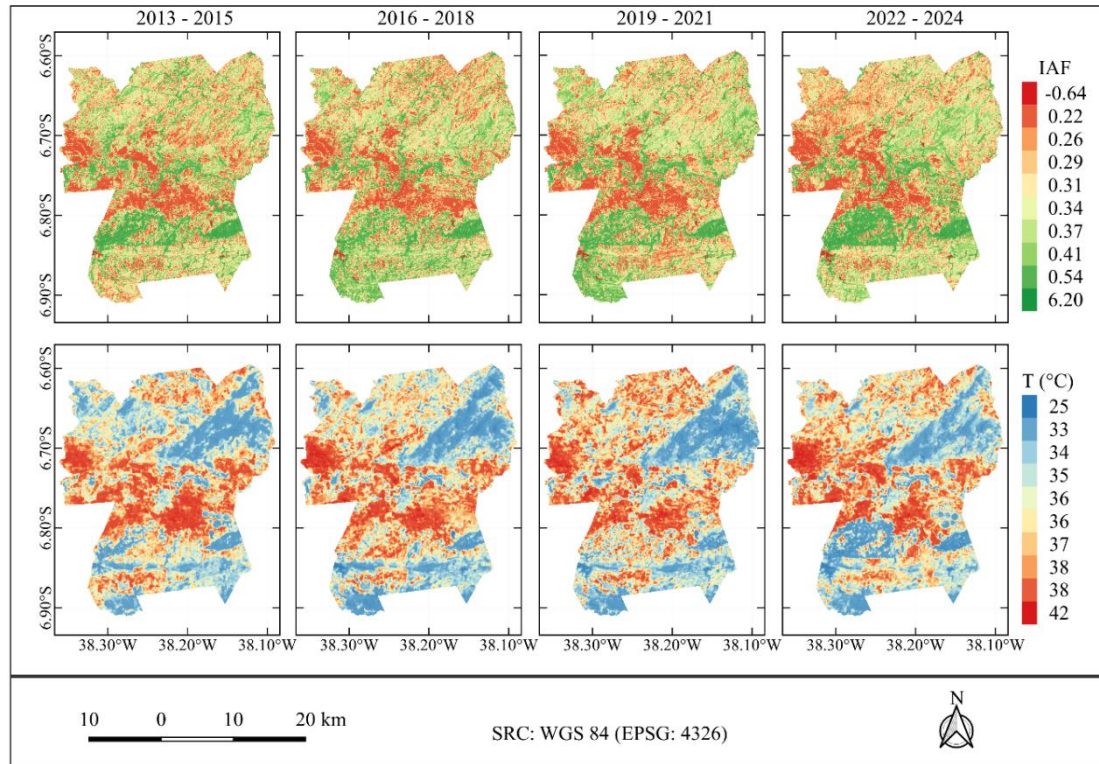


Figura 4. Dinâmica espaço-temporal do Índice de Área Foliar (IAF, $\text{m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$) e Temperatura Superficial da Terra ($^{\circ}\text{C}$), município de Sousa, Paraíba, Brasil, entre 2013 e 2024.

Observa-se comportamento inverso entre IAF e temperatura superficial, principalmente nos triênios 2013–2015 e 2022–2024. Áreas com menor densidade vegetal apresentaram temperaturas mais elevadas, reforçando os efeitos do estresse hídrico sobre o ecossistema local. O padrão espacial predominante das temperaturas concentrou-se entre 25°C e 42°C , com maiores valores nas regiões de menor cobertura vegetal. No triênio mais recente, há indícios de recuperação da vegetação, evidenciados pelo aumento do IAF e pela redução pontual da temperatura em algumas áreas, possivelmente associados à maior disponibilidade hídrica e retomada do crescimento vegetal.

Áreas com IAF superior a $4,5 \text{ m}^2/\text{m}^2$ coincidiram com temperaturas inferiores a 30°C , enquanto regiões com IAF inferior a $2 \text{ m}^2/\text{m}^2$ apresentaram temperaturas acima de 40

$^{\circ}\text{C}$, especialmente nas porções central e noroeste.

Entre 2013 e 2024, o IVAS apresentou valores entre $-0,242$ e $0,779$. O triênio 2022–2024 registrou os maiores valores máximos, indicando incremento da densidade vegetal após a correção do efeito do solo (Figura 5). O IVAS mostrou-se particularmente eficiente em ambientes semiáridos devido à introdução do fator L, que reduz a influência espectral do solo exposto. Valores negativos isolados estiveram associados à elevada refletância do solo, presença de sombra ou corpos hídricos. Rodriguez-Jimenez et al. (2023) destacam que o IVAS apresenta maior estabilidade em áreas com vegetação esparsa e solos descobertos, como ocorre na Caatinga. Essa característica torna o índice especialmente adequado para regiões semiáridas, onde a exposição do solo influencia significativamente a resposta espectral da superfície.

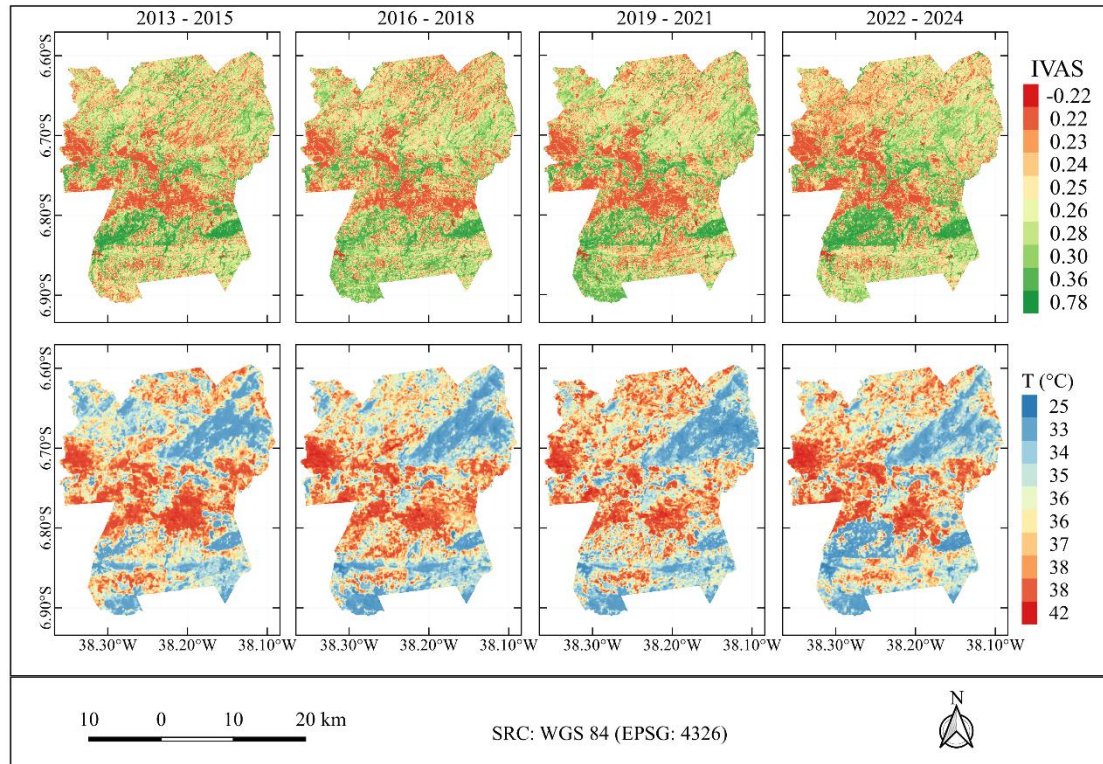


Figura 5. Dinâmica espaço-temporal do Índice de Vegetação Ajustado pelo Solo (IVAS) e Temperatura Superficial da Terra (°C), município de Sousa, Paraíba, Brasil, entre 2013 e 2024.

Os mapas do IVAS apresentaram padrão semelhante ao observado para o IVDN. Regiões com IVAS superior a 0,7 coincidiram com temperaturas inferiores a 30 °C, reforçando a eficiência desse índice em áreas onde a reflectância do solo interfere significativamente no sinal espectral. Resultados semelhantes foram observados por Bezerra et al. (2022a), que analisaram a dinâmica dos parâmetros biofísicos em

Pernambuco entre 2000 e 2019 e verificaram redução dos índices de vegetação associada ao aumento da temperatura da superfície. Os autores identificaram diminuição do SAVI em aproximadamente 19% e incremento térmico de 2,7 °C entre anos chuvosos e secos, evidenciando a forte influência da disponibilidade hídrica e da cobertura vegetal sobre o comportamento térmico da superfície.

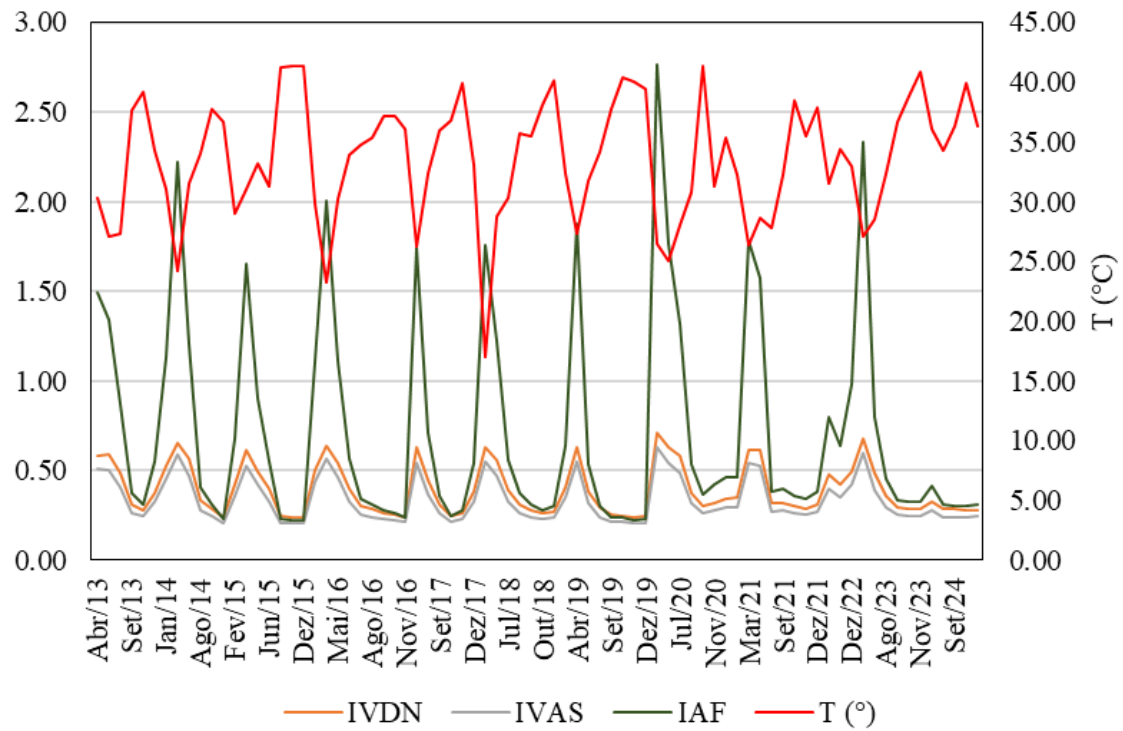


Figura 6. Comportamento Temporal dos Índices de Vegetação e da Temperatura da Superfície no Período de 2013 a 2024.

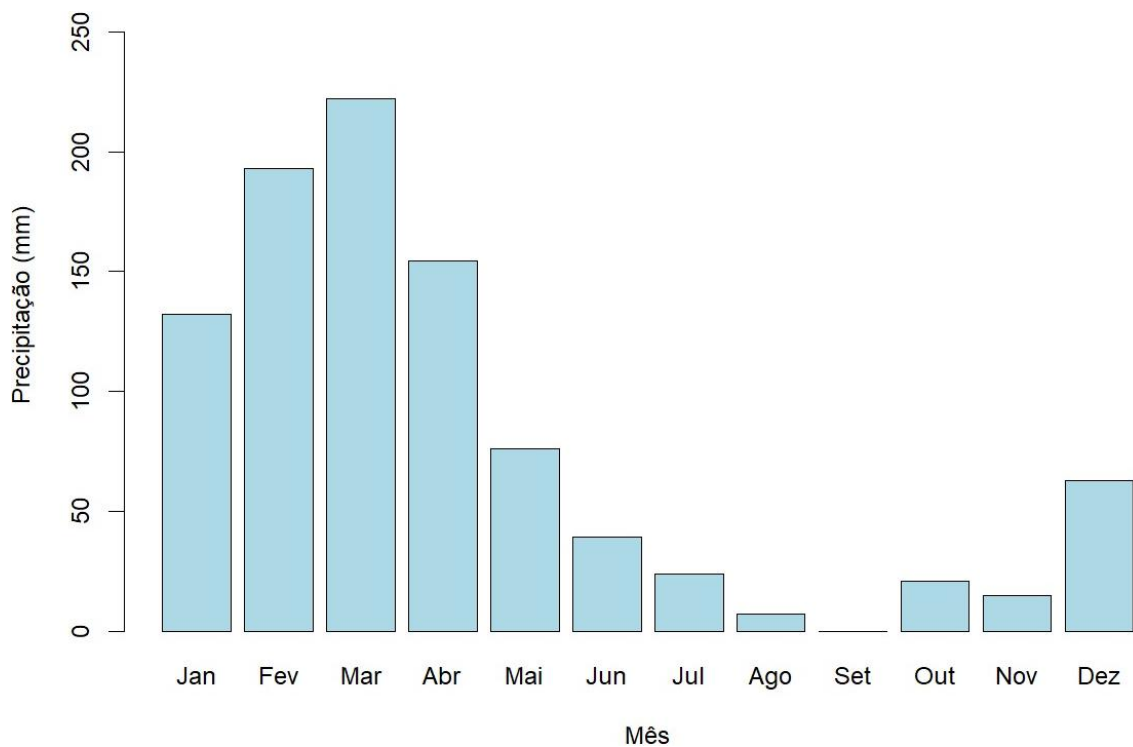


Figura 7. Precipitação média mensal – Sousa (2013-2024)

Os índices de vegetação apresentaram comportamento sazonal bem definido, com maiores valores durante os meses chuvosos (janeiro a maio), conforme observado na Figura 7. Na Figura 6, os maiores valores ocorreram em abril de 2020 e fevereiro de 2023. As menores temperaturas foram registradas em abril de 2016, maio de 2018 e maio de 2020, com aproximadamente 23 °C, 17 °C e 21 °C, respectivamente.

Os menores valores dos índices são notados nos períodos de novembro a dezembro de 2019, novembro de 2014, outubro a dezembro de 2015, novembro de 2016 e outubro de 2017. Dentre os períodos descritos, os maiores valores de temperaturas medianas corresponderam ao período de outubro a dezembro de 2015, com valores superiores a 41°C, comportamento semelhante também foi observado para outubro de 2020. Valores superiores a 40°C foram identificados em novembro de 2017, novembro de 2018, outubro a novembro de 2019 e novembro de 2023.

Esses resultados estão de acordo com o padrão climático descrito por Andrade et al.

(2023), que analisaram a variabilidade do Índice de Precipitação Padronizado (SPI) na microrregião de Sousa. Segundo os autores, a região apresenta um regime pluviométrico claramente sazonal, com período chuvoso de janeiro a maio, tendo março como mês mais úmido e período seco de junho a dezembro, quando setembro é o mês mais seco. Ainda de acordo com o estudo, o ano de 2016 apresentou tendência de seca moderada a severa, enquanto 2018 se destacou como um ano com maior regularidade e volume de chuvas. Essa variação sazonal da precipitação influencia diretamente a resposta da vegetação, o que corrobora os padrões observados nas imagens.

A temperatura da superfície manteve-se elevada durante o período analisado, com valores medianos superiores a 30 °C na maioria das imagens. Entretanto, reduções térmicas pontuais foram observadas em períodos e áreas com maiores índices de vegetação, reforçando a relação inversa entre cobertura vegetal e temperatura superficial, conforme ilustrado na Figura 8.

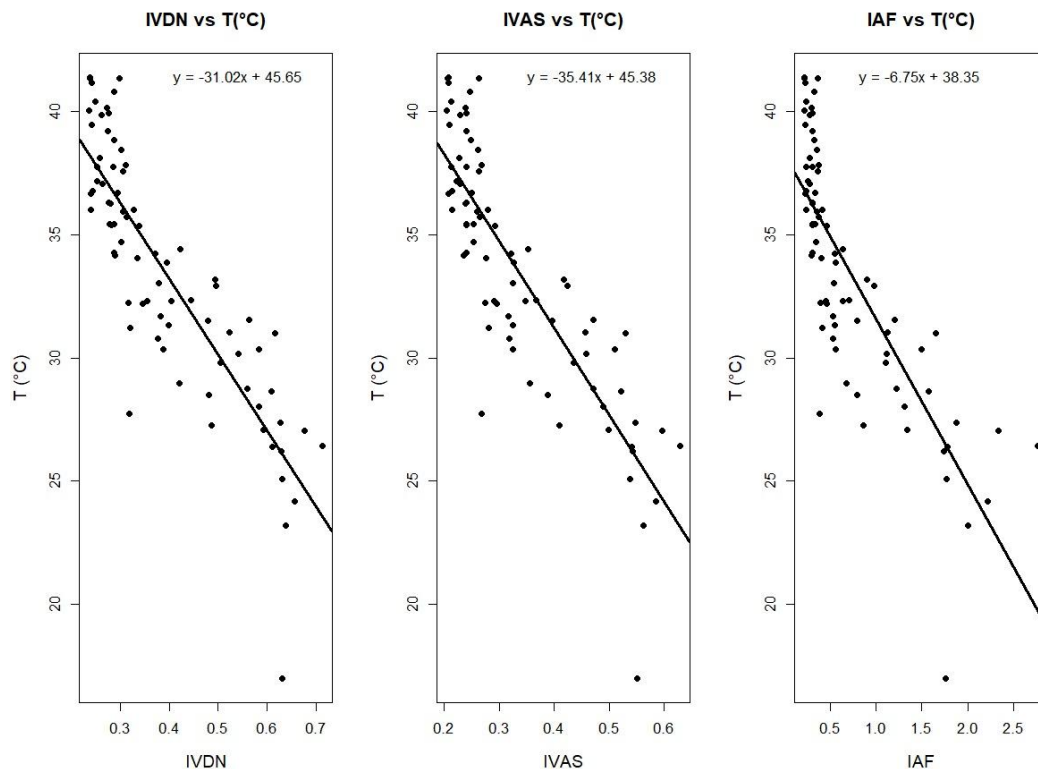


Figura 8. Gráficos de correlação entre os índices IVDN, IVAS, IAF e a Temperatura

Tabela 3 - Informações sobre a correlação e regressão entre os índices e a temperatura da superfície

Índice	Equação	R ²	r	p
IVDN	$y = -31.02x + 45.65$	0,74	-0,86	< 0.001
IVAS	$y = -35.41x + 45.38$	0,73	-0,85	< 0.001
IAF	$y = -6.75x + 38.35$	0,65	-0,81	< 0.001

Os gráficos demonstram correlações negativas significativas entre a temperatura da superfície e os índices espectrais IVDN, IVAS e IAF. À medida que a temperatura da superfície aumenta, os valores dos índices de vegetação tendem a diminuir de forma acentuada, sugerindo perda de cobertura vegetal ou redução da densidade da vegetação. Essa tendência é evidenciada pelos altos coeficientes de determinação (R²), de 0,74 para o IVDN, 0,73 para o IVAS e 0,65 para o IAF, além de coeficientes de correlação fortemente negativos ($r = -0,86, -0,85$ e $-0,81$, respectivamente), todos com significância estatística ($p < 0,001$). Esses resultados evidenciam a influência da vegetação na regulação térmica da superfície em Sousa-PB.

Os resultados estão em consonância com os achados de Lotufo et al. (2020), que verificaram aumento da temperatura superficial em áreas queimadas devido à redução da cobertura vegetal. De forma semelhante, Bezerra et al. (2022a) observaram diminuição dos índices NDVI, EVI e SAVI acompanhada pelo aumento da temperatura da superfície em Pernambuco, destacando a influência das mudanças no uso da terra e da variabilidade pluviométrica sobre a dinâmica ambiental. Complementarmente, Sales et al. (2023) relataram associação entre temperaturas mais elevadas, menor vigor vegetativo e redução da disponibilidade hídrica em regiões semiáridas do Nordeste brasileiro. Em conjunto, esses estudos reforçam a estreita interação entre cobertura vegetal, condições hídricas e temperatura da superfície em ecossistemas secos sujeitos à variabilidade climática.

Conclusão

Os resultados evidenciaram a eficiência dos índices espectrais IVDN, IVAS e IAF no monitoramento da vegetação e na análise da relação entre cobertura vegetal e temperatura superficial no município de Sousa-PB. A dinâmica temporal observada entre 2013 e 2024 apresentou forte influência do regime pluviométrico regional,

caracterizado por estação chuvosa entre janeiro e maio e período seco prolongado nos demais meses do ano.

As mudanças no uso e cobertura da terra, especialmente a redução da formação savânica e a expansão de áreas de pastagem e mosaicos de usos, indicam intensificação das pressões antrópicas sobre a paisagem. Essas transformações podem contribuir para fragmentação de habitats, degradação ambiental e aumento das temperaturas superficiais.

Os índices espectrais demonstraram elevada capacidade em identificar a influência da vegetação sobre a dinâmica térmica da superfície. Áreas com maior densidade vegetal apresentaram temperaturas mais amenas, enquanto regiões com cobertura vegetal reduzida concentraram os maiores valores térmicos. Essa relação foi confirmada pelas fortes correlações negativas entre temperatura e índices de vegetação.

O comportamento espectral e térmico identificado ao longo da série temporal mostrou-se compatível com os padrões climáticos do semiárido paraibano descritos na literatura. Também foram observados indícios de recuperação da vegetação em períodos mais recentes, evidenciando a capacidade de regeneração da Caatinga sob condições favoráveis de umidade.

Dessa forma, este estudo contribui para a compreensão da dinâmica espaço-temporal da vegetação e da temperatura superficial em regiões semiáridas, destacando a importância do sensoriamento remoto e do uso do GEE em análises ambientais e no suporte ao planejamento territorial e à formulação de políticas públicas voltadas à conservação ambiental e mitigação dos impactos das mudanças climáticas.

Referências

AESA – Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba. (2025). Chuvas. <http://www.aesa.pb.gov.br/chuvas/>.

- Allen, R., Waters, R., Tasumi, M., Trezza, R., & Bastiaanssen, W. (2002). SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land). Advance Training and User's Manual-Idaho Implementation, Version, v. 1, p. 97.
- Alves, C. A. (2021). As multidimensionalidades da cadeia produtiva do leite no município de Sousa-Paraíba 2003 a 2021 [Monografia, Universidade Federal de Campina Grande]. SISTEMOTECA-Sistema de Bibliotecas da UFCG.
<https://dspace.sti.ufcg.edu.br/handle/riufcg/29180>
- Araújo, H. F. P., Canassa, N. F., Machado, C. C. C., & Tabarelli, M. (2023). Human disturbance is the major driver of vegetation changes in the Caatinga dry forest region. *Scientific Reports*, 13, 18440. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-45988-8>
- Bezerra, A. C., Silva, J. L. B., Moura, G. B. A., Lopes, P. M. O., Nascimento, C. R., Ribeiro, E. P., Galvêncio, J. D., & Silva, M. V. (2022a). Dynamics of land cover and land use in Pernambuco (Brazil): Spatio-temporal variability and temporal trends of biophysical parameters. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 25, 100677. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100677>
- Bezerra, A. C., Silva, J. L. B., Moura, G. B. A., Lopes, P. M. O., Nascimento, C. R., Ribeiro, E. P., Galvêncio, J. D., & Silva, M. V. (2022b). Environmental degradation of vegetation cover and water bodies in the semiarid region of the Brazilian Northeast. *Journal of South American Earth Sciences*, 121, 104164. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100677>
- Blin, N., Hausner, M., Leray, S., Lowry, C., & Suárez, F. (2022). Potential impacts of climate change on an aquifer in the arid Altiplano, northern Chile: The case of the protected wetlands of the Salar del Huasco basin. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 39, 100996. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2022.100996>
- Cantini, C., Nepi, P. E., Avola, G., & Riggi, E. (2023). Direct and indirect ground estimation of leaf area index to support interpretation of NDVI data from satellite images in hedgerow olive orchards. *Smart Agricultural Technology*, 5, 100267. <https://doi.org/10.1016/j.atech.2023.100267>
- Chander, G.; Markham, B. L.; Helder, D. L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. *Remote Sensing of Environment*, 113(5), 893–903, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.01.007>
- Das, A. C., Shahriar, S. A., Chowdhury, M. A., Hossain, M. L., Mahmud, S., Tusar, M. K., Ahmed, R., & Salam, M. A. (2023). Assessment of remote sensing-based indices for drought monitoring in the north-western region of Bangladesh. *Heliyon*, 9, e13016. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13016>
- Dietz, S., & Lanz, B. (2025). Growth and adaptation to climate change in the long run. *European Economic Review*, 173, 104982. <https://doi.org/10.1016/j.euroecorev.2025.104982>
- Essaadia, A., Abdellah, A., Ahmed, A., Abdelouahed, F., & Kamal, E. (2022). The normalized difference vegetation index (NDVI) of the Zat valley, Marrakech: Comparison and dynamics. *Heliyon*, 8, e12204. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e12204>
- Francisco, P. R. M. (2010). Classificação e mapeamento das terras para mecanização do Estado da Paraíba utilizando sistemas de informações geográficas [Dissertação, Universidade Federal da Paraíba]. EduCAPES. <https://educapes.capes.gov.br/handle/capes/572883>
- Francisco, P. R. M., Pedroza, J. P., Bandeira, M. M., Silva, L. L., & Santos, D. (2016). Mapeamento da insolação do estado da Paraíba utilizando krigagem. *Revista de Geografia (Recife)*, 33(1), 248-262. <https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia/article/view/229221>
- Fu, L., Cao, Y., Kuang, S.Y., & Guo, H. (2021). Index for climate change adaptation in China and its application. *Advances in Climate Change Research*, 12(6), 723–733. <https://doi.org/10.1016/j.accre.2021.06.006>
- Gaida, W., Breunig, F. M., Galvão, L. S., Teles, T. S., & Balbinot, R. (2016). Variações da reflectância e dos índices de vegetação em função dos parâmetros da modelagem topográfica no Parque Estadual do Turvo, Rio Grande do Sul, Brasil. *Investigaciones*

- Geográficas, 91, 105–123.
<https://doi.org/10.14350/rig.52159>
- Gavilán-Acuna, G., Coops, N. C., Tompalski, P., Mena-Quijada, P., Varhola, A., Roeser, D., & Olmedo, G. F. (2024). Characterizing annual leaf area index changes and volume growth using ALS and satellite data in forest plantations. *Science of Remote Sensing*, 10, 100159.
<https://doi.org/10.1016/j.srs.2024.100159>
- Ghimire, P., Karki, S., Pandey, V. P., & Pradhan, A. M. S. (2025). Mapping spatio-temporal dynamics of irrigated agriculture in Nepal using MODIS NDVI and statistical data with Google Earth Engine: A step towards improved irrigation planning. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 136, 104345.
<https://doi.org/10.1016/j.jag.2024.104345>
- IBGE. (2022). Estimativas da População dos Municípios. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. <https://www.ibge.gov.br>
- Ihlen, V.; & Zanter, K. (2019). Landsat 8 (L8) data users handbook. US Geological Survey, v. 670.
https://d9-wret.s3.us-west-2.amazonaws.com/assets/palladium/production/s3fs-public/atoms/files/LSDS-1574_L8_Data_Users_Handbook-v5.0.pdf
- Imtiaz, F., Farooque, A. A., Randhawa, G. S., Hashemi Garmdareh, S. E., Wang, X., Esau, T. J., Acharya, B., & Sadiq, R. (2025). Remote sensing-based spatiotemporal dynamics of agricultural drought on Prince Edward Island using Google Earth Engine. *Ecological Informatics*, 86, 103073.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2025.103073>
- Jardim, A. M. R. F., Araújo Júnior, G. N., Silva, M. V., Santos, A., Silva, J. L. B., Pandorfi, H., Oliveira-Júnior, J. F., Teixeira, A. H. C., Teodoro, P. E., Lima, J. L. M. P., Silva Junior, C. A., Souza, L. S. B., Silva, E. A., & Silva, T. G. F. (2022). Using remote sensing to quantify the joint effects of climate and land use/land cover changes on the Caatinga biome of Northeast Brazilian. *Remote Sensing*, 14(8), 1911. <https://doi.org/10.3390/rs14081911>
- Justino, S. T. P., Paganini, E. A. L., Silva, R. B., Silva, R. P. S., Zabotto, A. R., & Roder, L. R. (2025). Spatial-temporal analysis of vegetation cover and soil degradation from Landsat time-series – A case study in the Caatinga, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 160, 105528.
<https://doi.org/10.1016/j.jsames.2025.105528>
- Khan, A., Alamgir, A., & Fatima, N. (2025). Spatiotemporal analysis of land use and land cover changes, LST and NDVI in Thatta district, Sindh, Pakistan. *Kuwait Journal of Science*, 52.
<https://doi.org/10.1016/j.kjs.2024.100326>
- Kreri, S., Farhi, N., Bennia, A., Derdour, A., Kébir, L. W., Alharbi, K. M., Bojer, A. K., & Arafat, A. A. (2026). Remote sensing assessment of vegetation and moisture dynamics in semi-arid regions. *Scientific Reports*, 16.
<https://doi.org/10.1038/s41598-026-37781-8>
- León-Muñoz, J., Aguayo, R., Soto, D., Avendaño-Herrera, R., Nimptsch, J., Wolfl, S., Simon, J., Echeverría, C., Aguayo, M., Salazar, C., Garay, O., & Fox, S. (2023). Landscape dependency of land-based salmon farming under climate change. *Climate Risk Management*, 40, 100504.
<https://doi.org/10.1016/j.crm.2023.100504>
- Lima, V. H. S., Pacheco, F. A. L., Moura, J. P., Pissarra, T. C. T., Valle Junior, R. F., Silva, M. M. A. P. M., Valera, C. A., Melo, M. C., & Fernandes, L. F. S. (2024). Role of backwater effects on the attenuation of metal spreading in rivers: A study in the Paraopeba River after the B1 tailings dam collapse in Brumadinho. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 9, 100740.
<https://doi.org/10.1016/j.cscee.2024.100740>
- Llauca, H., Leon, K., & Lavado-Casimiro, W. (2023). Construction of a daily streamflow dataset for Peru using a similarity-based regionalization approach and a hybrid hydrological modeling framework. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 47, 101381.
<https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2023.101381>
- Lotufo, J. B. S., Machado, N. G., Taques, L. M., Mützenber, D. M. S., Neto, N. L., & Biudes, M. S. (2020). Índices espectrais e temperatura de superfície em áreas queimadas no Parque Estadual do Araguaia em Mato Grosso. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 13(2).
<https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.2.p648-663>
- Malley, C. S., Omotosho, D., Bappa, B., Jibril, A., Tarfa, P., Roman, M., Hicks, W. K., Kuylenstierna, J. C. I., Sota Sandez, C. de la, &

- Lefèvre, E. N. (2021). Integration of climate change mitigation and sustainable development planning: Lessons from a national planning process in Nigeria. *Environmental Science and Policy*, 125, 66–75. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2021.08.022>
- Markham, B. L.; & Barker, J. L. (1987). Thematic Mapper bandpass solar exoatmospheric irradiances. *International Journal of Remote Sensing*, 8(3), 517–523. <https://doi.org/10.1080/01431168708948658>
- Mendes, J. R. L. (2023). Análise do panorama atual da gestão de resíduos sólidos no município de Sousa-PB. *Revista Interdisciplinar e do Meio Ambiente*, 5(1), 1–20. <https://doi.org/10.52664/rima.v5.n1.2023.e215>
- Mousavi, Z. S., Mohammadi, J., & Darvishzadeh, R. (2026). Linking drought indices and climatic variables to leaf area index dynamics using ground-based observations (2019–2024) in the broad-leaved Hyrcanian forests of Iran. *Forest Ecology and Management*, 609, 123612. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2026.123612>
- Ibarra-Bonilla, J. S., Pinedo-Alvarez, A., Prieto-Amparán, J. A., Siller-Clavel, P., Santellano-Estrada, E., Álvarez-Holguín, A., & Villarreal-Guerrero, F. (2024). Post-fire vegetation dynamics of a temperate mixed forest: An assessment based on the variability of Landsat spectral indices. *Trees, Forests and People*, 17, 100648. <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2024.100648>
- Rocha, W. J. S. F., Vasconcelos, R. N., Costa, D. P., Duverger, S. G., Lobão, J. S. B., Souza, D. T. M., Herrmann, S. M., Santos, N. A., Franca Rocha, R. O., Ferreira-Ferreira, J., Oliveira, M., Barbosa, L. S., Cordeiro, C. L., & Aguiar, W. M. (2024). Towards uncovering three decades of LULC in the Brazilian drylands: Caatinga biome dynamics (1985–2019). *Land*, 13(8), 1250. <https://doi.org/10.3390/land13081250>
- Rodriguez-Jimenez, F., Lorenzo, H., Novo, A., Acuña-Alonso, C., & Alvarez, X. (2023). Modelling of live fuel moisture content in different vegetation scenarios during dry periods using meteorological data and spectral indices. *Forest Ecology and Management*, 546, 121378. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121378>
- Sales, E. S. G., Araujo, F. D. S., Matsunaga, W. K., & Brito, J. I. (2023). Relação do NDVI e EVI com os índices climáticos do Nordeste do Brasil. *Geoambiente On-line*, (47). <https://orcid.org/0000-0002-1845-935X>
- Silva, E. A., Moraes Neto, J. M., Firmino, M. C., & Silva, E. A. (2018). Influência dos Eventos ENOS nas Classes de Vegetação do Município de Sousa-PB. In *Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia - CONTECC'2018*. https://www.confex.org.br/sites/default/files/antigos/contecc2018/agrimensura/3_ideencdvmds.pdf
- Silva, M. V., Pandorfi, H., Oliveira-Júnior, J. F., Silva, J. L. B., Almeida, G. L. P., Montenegro, A. A. A., Mesquita, M., Ferreira, M. B., Santana, T. C., Marinho, G. T. B., Costa, A. R., & Giongo, P. R. (2022). Remote sensing techniques via Google Earth Engine for land degradation assessment in the Brazilian semiarid region, Brazil. *Journal of South American Earth Sciences*, 120, 104061. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2022.104061>
- Tasumi, M., Allen, R. G., & Trezza, R. (2008). At-surface reflectance and albedo from satellite for operational calculation of land surface energy balance. *Journal of Hydrologic Engineering*, 13(2), 51–63. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1084-0699\(2008\)13:2\(51\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1084-0699(2008)13:2(51))
- Thomas, J., Mohan, S., Mallik, S., Oommen, T., Xue, P., Meadows, G., Thalakkottukara, N. T., & Williams, R. (2025). Development of a HAND-based flood risk assessment tool in Google Earth Engine for a data-scarce region in the US. *Journal of Great Lakes Research*, 51, 102510. <https://doi.org/10.1016/j.jglr.2025.102510>