



REVISTA
Casa da

ISSN 2316-8056

GEOGRAFIA
de Sobral

VARIABILIDADE ESPAÇO-TEMPORAL DA PRECIPITAÇÃO E DA COBERTURA E USO DA TERRA NO MUNICÍPIO DE GARANHUNS-PE

Spatio-temporal variability of precipitation and land cover and use in the municipality of Garanhuns-PE

Variabilidad espacio-temporal de la precipitación y de la cobertura y uso del suelo en el municipio de Garanhuns-PE

 <https://doi.org/10.35701/rcgs.v27.1090>

Deyvid Luam da Silva Panta¹

Daniel Dantas Moreira Gomes²

Kleber Carvalho Lima³

Histórico do Artigo:

Recebido em 07 de fevereiro de 2025

Aceito em 23 de novembro de 2025

Publicado em 27 de novembro de 2025

RESUMO

As transformações na cobertura e uso da terra são influenciadas por diversos fatores, sendo fundamental entender sua dinâmica para identificar as limitações impostas por processos naturais e socioeconómicos. Este estudo teve como objetivo classificar e analisar a distribuição da cobertura e uso da terra no município de Garanhuns-PE, utilizando dados de sensoriamento remoto, realizando uma avaliação multitemporal para os anos de 2016 e 2022, correlacionando índices de vegetação com dados de precipitação. Para isso, foram selecionadas quatro imagens do satélite Sentinel-2, com instrumento sensor multiespectral (MSI) e dados de acumulados de precipitação para os anos especificados. As análises foram realizadas por meio de técnicas de geoprocessamento. Inicialmente, foi realizada a interpolação da precipitação pelo método do inverso da distância ponderada. Em seguida, foi calculado o SAVI, cujos produtos permitiram a interpretação dos padrões dos alvos nas cenas. Os resultados revelaram diferenças no comportamento das precipitações entre os anos analisados: em 2016, os totais foram inferiores ao esperado, enquanto em 2022, os totais representaram valores acima da média. Junto a isso, tais resultados foram considerados em conformidade com as anomalias da Temperatura da Superfície do Mar (TSM). As classes mapeadas apresentaram diferenças entre os anos (2016 e 2022): reservatórios hídricos (-0,56 km²); ACE, (46,43 km²); BAF, -(0,24 km²); MAF (-2,68 km²) e AAF (-27,54 km²). Por fim, o mapeamento da cobertura e uso passou pela validação por meio do índice kappa. O reconhecimento do comportamento da

¹ Doutorando do Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal de Sergipe - UFS.

Email: luam.panta@gmail.com

 <https://orcid.org/0000-0002-5270-8866>

² Professor adjunto do departamento de Geografia da Universidade de Pernambuco - UPE. Email: daniel.gomes@upe.br

 <https://orcid.org/0000-0001-6868-040X>

³ Professor adjunto do departamento de Geografia da Universidade de Pernambuco - UPE. Email: kleber.carvalho@upe.br

 <https://orcid.org/0000-0002-9468-2473>

cobertura mostrou-se determinado em função das distribuições da precipitação. Assim, o comportamento e a sensibilidade da vegetação no contexto da área de estudo são relevantes, de modo que suas informações podem auxiliar na avaliação ambiental para fins de planejamento e gerenciamento sustentável da paisagem.

Palavras-Chave: Índice de vegetação. Distribuição interanual das chuvas. Cobertura e uso da terra. Análise ambiental. Sensoriamento remoto.

ABSTRACT

Land cover and land use transformations are influenced by several factors, and understanding their dynamics is fundamental to identifying the limitations imposed by natural and socioeconomic processes. This study aimed to classify and analyze the distribution of land cover and land use in the municipality of Garanhuns-PE, using remote sensing data, performing a multitemporal evaluation for the years 2016 and 2022, correlating vegetation indices with precipitation data. To this end, four Sentinel-2 satellite images were selected, with a multispectral sensor instrument (MSI) and accumulated precipitation data for the specified years. The analyses were performed using geoprocessing techniques. Initially, precipitation interpolation was performed using the inverse distance weighted method. Subsequently, SAVI was calculated, whose products allowed the interpretation of target patterns in the scenes. The results revealed differences in precipitation behavior between the analyzed years: in 2016, the totals were lower than expected, while in 2022, the totals represented values above average. In addition, these results were considered consistent with Sea Surface Temperature (SST) anomalies. The mapped classes showed differences between the years (2016 and 2022): water reservoirs (-0.56 km²); ACE (46.43 km²); BAF (-0.24 km²); MAF (-2.68 km²) and AAF (-27.54 km²). Finally, the land cover and land use mapping was validated using the kappa index. The recognition of land cover behavior proved to be determined by precipitation distributions. Thus, the behavior and sensitivity of vegetation in the context of the study area are relevant, so that this information can assist in environmental assessment for the purposes of sustainable landscape planning and management.

Keywords: Vegetation index. Interannual rainfall distribution. Land cover and use, Environmental analysis, Remote sensing.

RESUMEN

Las transformaciones de la cobertura y el uso del suelo se ven influenciadas por diversos factores, y comprender su dinámica es fundamental para identificar las limitaciones impuestas por los procesos naturales y socioeconómicos. Este estudio tuvo como objetivo clasificar y analizar la distribución de la cobertura y el uso del suelo en el municipio de Garanhuns-PE, utilizando datos de teledetección, realizando una evaluación multitemporal para los años 2016 y 2022, correlacionando los índices de vegetación con los datos de precipitación. Para ello, se seleccionaron cuatro imágenes satelitales Sentinel-2, con un instrumento sensor multiespectral (MSI) y datos de precipitación acumulada para los años especificados. Los análisis se realizaron mediante técnicas de geoprocесamiento. Inicialmente, se realizó la interpolación de la precipitación mediante el método de distancia inversa ponderada. Posteriormente, se calculó SAVI, cuyos productos permitieron la interpretación de los patrones objetivo en las escenas. Los resultados revelaron diferencias en el comportamiento de la precipitación entre los años analizados: en 2016, los totales fueron inferiores a lo esperado, mientras que en 2022, los totales representaron valores superiores a la media. Además, estos resultados se consideraron consistentes con las anomalías de la temperatura superficial del mar (TSM). Las clases mapeadas mostraron diferencias entre los años (2016 y 2022): reservorios de agua (-0,56 km²); ACE (46,43 km²); BAF (-0,24 km²); MAF (-2,68 km²) y AAF (-27,54 km²). Finalmente, el mapeo de cobertura y uso del suelo se validó utilizando el índice kappa. El reconocimiento del comportamiento de la cobertura del suelo resultó estar determinado por las distribuciones de precipitación. Por lo tanto, el comportamiento y la sensibilidad de la vegetación en el contexto del área de estudio son relevantes, de modo que esta información puede ayudar en la evaluación ambiental para fines de planificación y gestión sostenible del paisaje.

Palabras clave: Índice de vegetación. Distribución interanual de las precipitaciones. Cobertura y uso de la tierra. Análisis ambiental. Teledetección.

INTRODUÇÃO

A cobertura da terra tem passado por significativas mudanças ao longo das décadas, impulsionadas pelas atividades humanas, com distintas formas de aproveitamento. Tais alterações impactam diretamente os recursos naturais e provocam mudanças processuais expressivas na superfície terrestre (FREIRES et al., 2021; SILVA et al., 2023). Diante disso, o avanço das técnicas de sensoriamento remoto possibilitou observar e monitorar o planeta de forma inovadora (LIU, 2015). Atualmente, uma ampla gama de plataformas e sensores viabiliza diversas aplicações, permitindo diagnósticos detalhados dos sistemas ambientais (NOVO, 2010; FREIRES et al., 2019).

As informações da cobertura e uso da terra são cruciais para a compreensão dos sistemas terrestres, dos serviços ecossistêmicos, das interfaces ecológicas e para a conservação e manejo das paisagens (ALEXANDRE; CANDEIAS; GOMES, 2019; ARAÚJO et al., 2023; FREIRES et al., 2024; SILVA et al., 2023). Os dados obtidos da superfície terrestre fornecem *insights* para o planejamento e a gestão territorial (RAHMAN et al., 2022; FREIRES et al., 2019; TEIXEIRA et al., 2021). Frente às pressões produtivas e às mudanças climáticas, o monitoramento mostra-se essencial para avaliar desequilíbrios ambientais (KUMAR et al., 2020; TAIWO et al., 2023).

Analizar o uso da terra na perspectiva espaço-temporal revela-se fundamental para compreender os conflitos ambientais e avaliar a eficácia da implantação da legislação ambiental na promoção da sustentabilidade (SOUZA et al., 2023). Nessa perspectiva, as modificações na cobertura são mensuradas em diferentes contextos ambientais, utilizando técnicas que qualificam e quantificam as interferências, oferecendo subsídios à implementação de ações de gerenciamento ambiental (COLE; SMITH; BALZTER, 2018; ULLAH et al., 2023; MAPBIOMA, 2023).

O estudo remoto da assinatura espectral permite identificar propriedades químicas e físicas dos alvos por meio do fluxo radiante, sendo fundamental para a análise de áreas naturais e antropogênicas (MARCUSSI et al., 2010; DONG et al., 2021; LIMA; GOMES; GOLDFARB, 2016; RAMOS et al., 2016). Entre as aplicações do sensoriamento remoto, os índices de vegetação destacam-se na detecção das variações da biomassa vegetal, utilizando a combinação de bandas espectrais para medir atributos biofísicos da cobertura terrestre (DIODATO et al., 2021; PESSI et al., 2023; BENEVIDES et al., 2023).

Esses índices fornecem informações sobre vigor fotossintético, percentual de área verde, biomassa, teor de clorofila e os padrões fenológicos. Por serem sensíveis a variações de fatores ecológicos e às pressões antrópicas, constituem um importante instrumento para avaliação da qualidade ambiental (SILVA et al., 2019).

Em regiões como o semiárido do Nordeste, o sensoriamento remoto possibilita identificar alterações na cobertura natural e avalia a influência das atividades produtivas sobre as paisagens (ALMEIDA; CARVALHO; ARAÚJO, 2019; JARDIM et al., 2022; PACHECO; SOUZA; JÚNIOR, 2023). O entendimento multitemporal da cobertura associada à produção do espaço é crucial no planejamento e gerenciamento das paisagens, compreendendo as interações entre fatores desencadeadores de mudanças ambientais (GUEDES, 2023).

Diante desse contexto, o município de Garanhuns, localizado no estado de Pernambuco, apresentou crescimento populacional registrado pelo Censo Demográfico de 2022 (IBGE, 2022), o que pode contribuir para o aumento da pressão sobre os recursos naturais. Além disso, dados do monitoramento de desmatamento indicam a contínua conversão de remanescentes de vegetação natural no município (MAPBIOMAS ALERTA, 2024). Essas questões influem diretamente nos processos ambientais, demonstrando a necessidade de análises que integrem informações sobre fatores naturais e antropogênicos, impressos na cobertura da terra.

Para tanto, o presente estudo teve como objetivo analisar a distribuição espaço-temporal da cobertura e uso da terra no município de Garanhuns-PE. Avaliando sua dinâmica entre os anos de 2016 e 2022, a partir da integração de dados de precipitação e do índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI).

MATERIAIS E MÉTODOS

Contexto da área de estudo

A área de estudo está situada na Macrorregião do Nordeste e na Mesorregião do Agreste Pernambucano (Figura 1). Do ponto de vista geológico, o embasamento regional é composto por litotipos pertencentes a unidades litoestratigráficas de rochas cristalinas, entre as quais estão a Suíte Intrusiva Saloá, os Granitóides, Suíte Intrusiva Ferreira Costa, Suíte Intrusiva Leucocrática Peraluminosa, Suíte Intrusiva Serra da Caatinga Branca, Complexo Belém do São Francisco, Complexo Rio Una, Complexo Cabrobó e Ortognaisse Mucunã. A região também possui sedimentos da Formação Garanhuns, além de coberturas de depósitos colúvio-eluviais. Estruturalmente, a área apresenta falhas, lineamentos e zonas de cisalhamento de natureza compressional e sinistral (SGB, 2015).

A característica climática do município, em termos médios, é definida com precipitação de 782,5 mm, com maiores índices pluviométricos entre os meses de maio a agosto. As temperaturas médias mínima e máxima são de 18,8 °C e 22,8 °C, respectivamente, nos meses de agosto e fevereiro

(e março com mesma média). O clima é classificado como As'a, clima tropical com chuvas de outono-inverno, de acordo com o sistema climático de Köppen-Geiger (APAC, 2023).

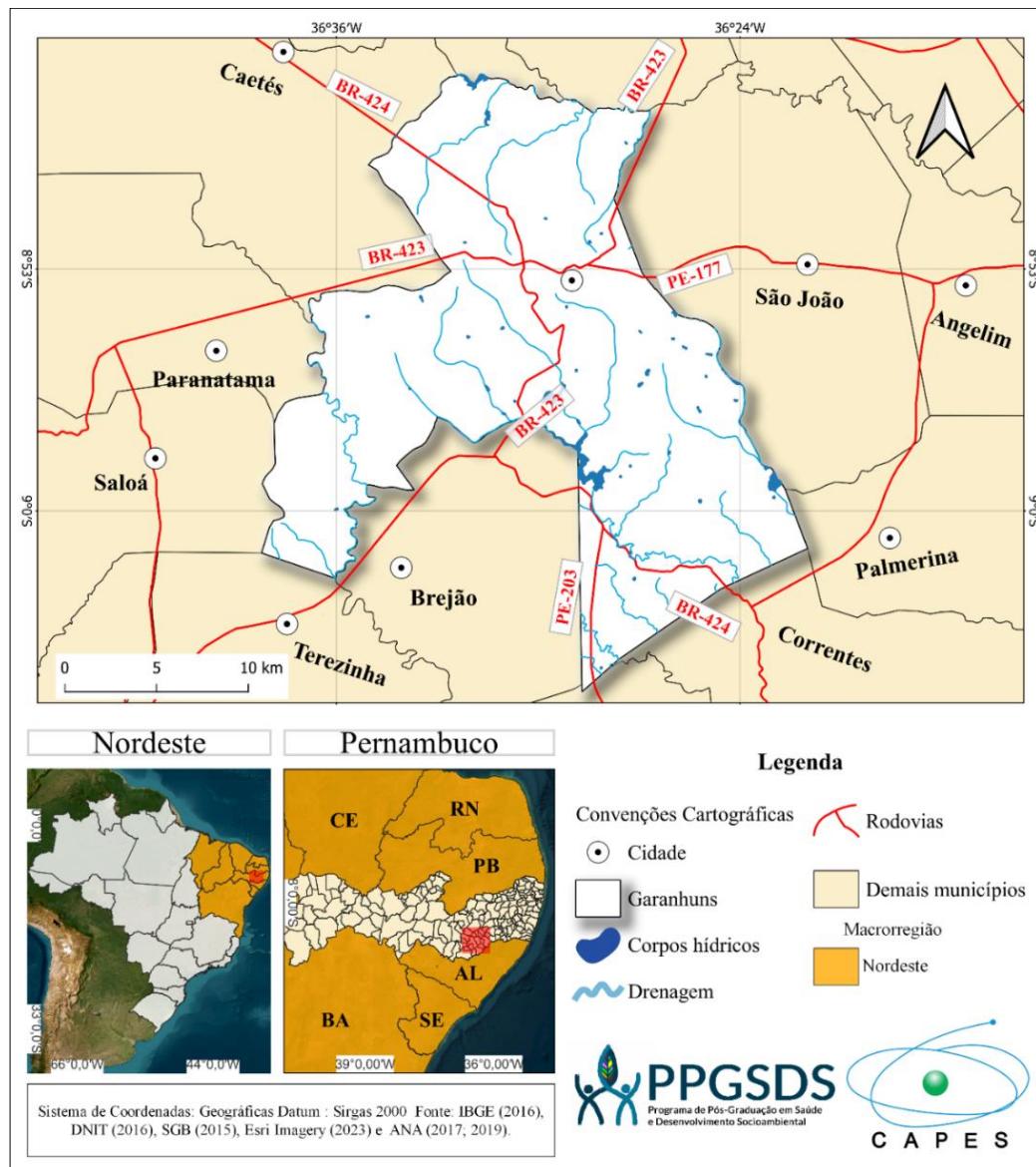
O município integra o Compartimento Geomorfológico do Maciço da Borborema, caracterizado por um relevo afeiçoadado pelos processos erosivos, apresentando modelado com formas de aplainamento, acumulação e dissecação diferencial. As altitudes variam em média de 600 a 800 metros, em alguns pontos ultrapassam a cota de 1.000 metros de altitude (PERNAMBUCO, 2014). A superfície topográfica do município consiste numa cimeira dissecada, com picos elevados, de modo geral, com colinas ao sul e superfícies erosivas aplainadas ao norte. A rede hidrográfica possui padrão de drenagem dendrítica, situando-se no alto curso da Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú, com os principais afluentes sendo os rios Canhoto e Inhaúma (CPRM, 2005).

Em termos pedológicos, conforme o mapeamento realizado pela EMBRAPA (2001), os solos são classificados em subordens como: Neossolos Litólicos e Regolíticos, Planossolos Háplicos, Argissolos Amarelos, Latossolos Amarelos e Argissolos Vermelho-Amarelos.

A cobertura vegetal encontra-se amplamente antropizada, em decorrência das atividades agropecuárias e da expansão urbana. Contudo, ainda são observadas áreas remanescentes (pequenos fragmentos) com característica de ecótono e encraves de Savana-Estépica e/ou Arborizada (Caatinga) e a Floresta Estacional Semidecidual (IBGE, 2012).

Para os aspectos sociodemográficos, o Censo Demográfico de 2022 registrou uma população de 142.506 habitantes, resultando em uma densidade demográfica de 310,77 habitantes por km² (IBGE, 2023). O município integra a Região de Desenvolvimento do Agreste Meridional, cuja economia é baseada principalmente em atividades ligadas à produção agropecuária, ao turismo e ao artesanato (PERNAMBUCO, 2020).

Figura 1: Mapa de localização do município de Garanhuns, Pernambuco.



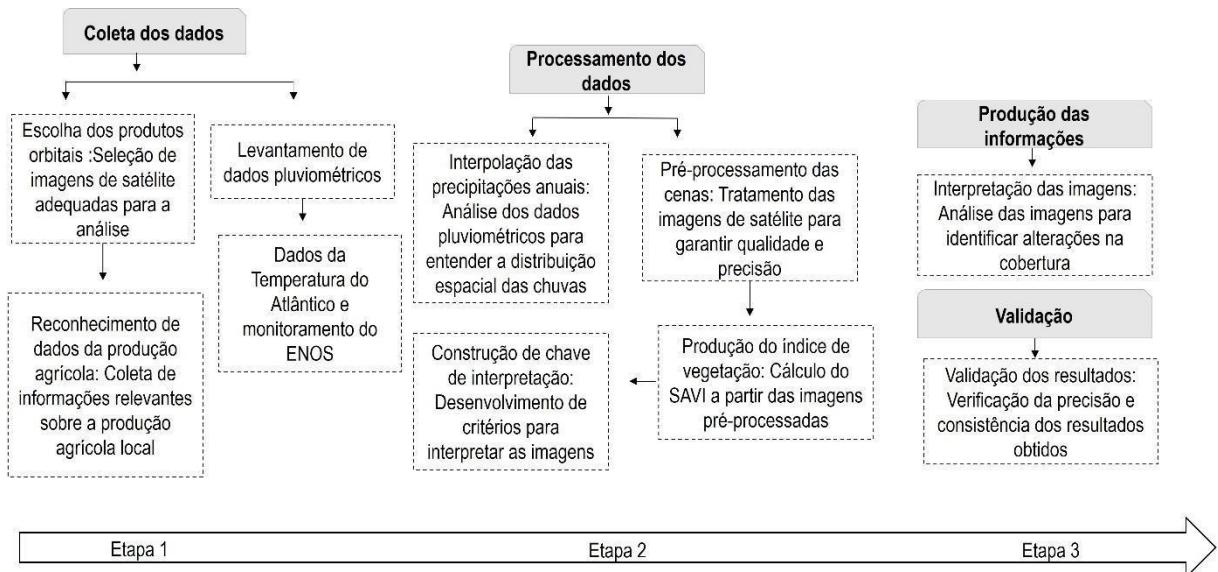
Procedimentos

A pesquisa foi conduzida a partir da análise de um conjunto de dados, relacionando essas informações ao contexto ambiental da área. Para isso, utilizou-se o Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (*Soil Adjusted Vegetation Index-SAVI*) combinado com dados de precipitação e produção agrícola, o que possibilitou avaliar de forma mais acurada os contrastes espectrais da cobertura. As etapas da análise estão sintetizadas no fluxograma apresentado na Figura 2.

O uso das geotecnologias, como o sensoriamento remoto, possibilitou realizar a análise espacial, visualizando a distribuição e transformação da cobertura da terra ao longo do tempo. O

mapeamento foi realizado em dois períodos (2016 e 2022), com o propósito de identificar as mudanças temporais na paisagem.

Figura 2: Fluxograma das etapas procedimentais da pesquisa.



Fonte: autores (2025)

Seleção da base de dados

Os dados orbitais foram selecionados a partir do satélite Sentinel-2, devido às características do sensor *Multi-Spectral Instrument (MSI)*, disponibilizados pela Agência Espacial Europeia (ESA). Os dados foram escolhidos pelos aspectos ligados à capacidade de monitorar a dinâmica da cobertura terrestre adequadamente ao contexto da área analisada.

Para isso, quatro cenas do Sentinel-2 foram selecionadas nas seguintes datas: 24/02/2022, 16/12/2022, 08/10/2016 e 11/02/2016, de acordo com a disponibilidade de dados e considerando também as informações pluviométricas fornecidas pela Agência Nacional de Águas e Clima (APAC), uma vez que os *inputs* pluviais influenciam no comportamento da cobertura e uso da terra em diferentes aspectos. Ressalta-se que apenas as cenas correspondentes ao período com chuvas (11/02/2016 e 16/12/2022) foram utilizadas na representação cartográfica, enquanto as demais auxiliaram a interpretação.

Além disso, as condições sazonais influenciam a radiação refletida e absorvida pelos alvos. Dessa forma, foram usadas cenas correspondentes aos períodos secos e úmidos de 2016 e 2022, considerando a série de totais mensais (Tabela 1), a fim de compreender de forma mais precisa a dinâmica da cobertura e uso.

Tabela 1: Total de precipitação mensal para o município de Garanhuns nos anos de 2022 e 2016.

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2016(mm)	127,9	43,6	24	42,8	77,6	72,1	74,5	41,3	20,4	12,7	2	2,4
2022(mm)	78	4,5	94,1	60,5	270,4	348,4	313,5	129	32	28	186,7	39

Fonte: Apac (2025), organizado pelos autores (2025).

Cabe salientar que a assinatura da cobertura varia entre as estações (ou após eventos de precipitação) chuvosa e seca, por essa razão, a presença de espécies caducifólias e subcaducifólias, bem como associada aos ciclos de cultivo e preparo do solo, pode causar incongruências ao mapeamento. Nesse sentido, Souza (2008) recomenda a escolha da cena após determinado período chuvoso, quando a vegetação natural e cultivada apresenta maior atividade biofísica, favorecendo interpretações mais precisas.

Desse modo, a seleção das cenas foi realizada considerando o mês anterior, com eventos pluviométricos significativos que ultrapassaram os 100 mm. Junto a isso, tendo a cobertura de nuvem igual ou inferior a 10%. As imagens do período escolhido não estão associadas à estação chuvosa da climatologia do município, porque a cobertura de nuvens nesse período inviabilizou a sua utilização.

Com o objetivo de auxiliar a análise, foram extraídos dados da produção agrícola municipal (PAM), referente às áreas plantada e colhida dos cultivos temporários e permanentes. Esses dados foram utilizados para os anos observados, sendo coletados do Sistema IBGE de Recuperação Automática-SIDRAS (<https://sidra.ibge.gov.br/home/pimpfbr/brasil>). A produção agrícola foi selecionada por fornecer informações sobre a dinâmica da cobertura e o tipo de atividade, corroborando para a compreensão da variação espacial do índice de vegetação.

A precipitação é uma importante variável nos ciclos fenológicos e, como fenômeno espacial, pode ser reconhecida a partir de pontos amostrais. A estimativa da precipitação em locais não amostrados é realizada por meio de interpolação, que consiste na inferência de valores desconhecidos a partir de funções matemáticas (YAMAMOTO e LANDIM, 2009). Esse processo distribui os dados em uma superfície contínua a partir de vetores de natureza pontual.

O modelo de interpolação Inversa da Distância Ponderada (IDW) atribui maior peso às amostras mais próximas, destacando os efeitos locais na estimativa (VARELLA e JÚNIOR, 2008; ANJOS, CANDEIAS e NÓBREGA, 2017). A escolha desse método ocorreu pela distribuição e quantidade de postos pluviométricos circunvizinhos à área de estudo, uma vez que o procedimento apresenta

dependência espacial, de modo que as amostras mais próximas exercem maior influência sobre as mais distantes (FILHO, CELESTINO e QUINA, 2016).

Os dados pluviométricos utilizados são de acesso livre, fornecidos pela APAC. Junto a isso, as respectivas localizações dos postos pluviométricos foram extraídas a partir do Atlas Climático de Pernambuco. Em seguida, sendo organizados e tabulados no software *Excel*, preparados do seguinte modo: localização e total pluviométrico anual para os anos de 2016 e 2022. Portanto, quatorze postos foram considerados (Tabela 2). Após a espacialização dos pontos em *shapefiles* esses dados passaram pela interpolação no software *Qgis*.

Tabela 2: Dados pluviométricos dos municípios considerados para interpolação, com valores do acumulado anual.

Município	Horizontal (N)	Vertical (E)	Total 2016 (mm)	Total 2022 (mm)
Caetés	9029415.09 m	761718.54 m	364,2	1.044,8
Paranatama	9013286.53 m	757544.30 m	486	1.274,3
Correntes	8989798.80 m	793687.18 m	927,6	2.326,7
Jaci	9035906.50 m	784220.55 m	470,4	1.223,6
Angelim	9016437.27 m	798504.78 m	465,4	1.271,9
Brejão	9002464.92 m	771006.10 m	583,6	1.753,1
Capoeiras	9033734.49 m	761085.32 m	505	1.320,3
Jucati	9036626.79 m	775857.08 m	337,5	1.368,6
Lagoa do Ouro	8990154.91 m	774881.80 m	421,6	1.707,5
Palmerina	9003631.28 m	794008.97 m	832,3	1.791,8
Terezinha	8997993.18 m	761186.26 m	585,9	1.619,3
São João	9017718.94 m	789598.37 m	479,8	1.470,5
Saloá	9007777.94 m	753768.78 m	411,8	1.748,6
Garanhuns	9017147.32 m	776276.95 m	541,3	1.584,1

Fonte: APAC (2025), organizado pelos autores (2025).

Também foram reunidos dados da temperatura do Atlântico, compilados e disponibilizados pela *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA, 2024). Esses dados corresponderam ao índice *Tropical Northern Atlantic Index* (TNA) e ao *Tropical Southern Atlantic Index* (TSA), sendo empregados no intuito de analisar a condição de Temperatura da Superfície do Mar (TSM) em função das variações pluviométricas.

Para avaliar a influência da temperatura sobre as precipitações, foram analisadas as diferenças nos valores do índice igual ou superior a 0,2 °C e/ou igual ou inferior a -0,2 °C, permitindo identificar as fases do dipolo, no índice da TNA e TNS. Para considerar a influência através do resultado, observando a variação sucessiva de no mínimo quatro meses consecutivos (GOMES, BELTRÃO E DIAS, 2024).

Combinado a isso, foram utilizados valores do *Oceanic Niño Index* (ONI) para aferição do *El Niño Oscilação Sul* (ENOS). Complementar a isso, recorreu-se ao uso dos dados históricos de monitoramento do fenômeno *El Niño*, disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INPE).

Processamento digital das imagens

Nessa etapa, foi realizado o pré-processamento e processamento digital das imagens, iniciando-se com a reprojeção das cenas para o Datum Sirgas 2000 zona 24 S, seguido do recorte da área de estudo. Cabe destacar que, para estudos da vegetação, é necessária a transformação dos números digitais (ND) em radiância, assim como corrigir a interferência atmosférica ao nível de reflectância de superfície, de modo que os produtos dos sensores sejam compatíveis com a radiância emanada pelos materiais terrestres durante as medições (MENEZES; ALMEIDA, 2012).

Por essa razão, utilizaram-se dados com correções atmosféricas que atenuam o espalhamento e absorção dos aerossóis e gases. Os resultados pós-correção podem ser utilizados para estudos de parâmetros biofísicos e bioquímicos dos alvos, além de apresentarem vantagem de serem passivos de comparação, imagens de diferentes temporalidades e instrumentos imageadores (ZANOTTA; FERREIRA; ZORTEA, 2019). A Agência Espacial Europeia-ESA distribui os dados em processamento Nível (L) 2A, que inclui correção atmosférica aplicada a produtos de *Ortoimagem Top-of-Atmosphere* (TOA) Nível 1C, resultando em um produto com reflectância de Superfície (ESA, 2023).

A ESA utiliza o algoritmo *Sen2Cor*, método empírico-estatístico, que associa aspectos externos e internos da cena no momento da aquisição, minimizando as interferências. No caso do índice de vegetação, o algoritmo corrige os erros de contraste (GAIDA et al., 2020).

Portanto, utilizando os produtos L2A em todas as datas, realizou-se apenas a normalização da escala de valores, visto que a ESA coleta os dados com sensor MSI, com resolução radiométrica de 12 bits, mas, que durante o pré-processamento, as cenas são convertidas para os números inteiros de 16 bits. Desse modo, executou-se uma razão entre as bandas e os valores da resolução radiométrica, resultando na imagem normalizada em valores variando entre zero a um em reflectância de superfície.

Após o reconhecimento dos dados mencionados e do pré-processamento, aplicou-se a técnica de aritmética de bandas. Pelas condições geoecológicas do município, foi aplicado o SAVI como procedimento, em razão da situação da área de estudo, que apresenta condição mesoclimática e por estar inserida na delimitação do semiárido (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007). Embora seja uma área de exceção, levou-se em conta a influência da circulação dos ventos e umidade entre a área mais elevada e a sombra pluvial adjacente. Essa configuração destaca-se entre os municípios circundantes e à própria topografia intramunicipal.

Desse modo, o SAVI, proposto por Alfredo R. Huete (1988), deriva do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), adaptado para minimizar os efeitos da interferência do solo, principalmente em áreas com cobertura vegetal aberta (SANO et al., 2019). Para corrigir as variações nos valores de reflectância, foi estabelecido o fator de ajuste “L”, que varia de 1 para vegetação com cobertura esparsa, 0,25 para áreas com dosséis fechados e 0,5 como valor intermediário (HUETE, 1988).

O autor expressa a equação considerando as faixas do visível correspondente ao vermelho e a faixa do infravermelho próximo, calculadas junto ao fator de correção (Equação 1). Para a pesquisa, considerou a constante 0,5, valor intermediário, devido às características climáticas e ao histórico de ocupação marcado pela remoção da vegetação para uso agropecuário.

$$\text{SAVI} = \frac{(\text{Nir} - \text{Red})}{(\text{Nir} + \text{Red} + L)} * (1+L)$$

Equação 1

Onde:

L= constante de ajuste aos efeitos do solo, podendo variar de 0 a 1.

NIR = Infravermelho próximo.

RED = vermelho.

Interpretação do índice de Vegetação

A classificação do índice aconteceu por meio do recorte dos valores do SAVI, associados a unidades distinguíveis nas cenas. Para tanto, recorreu à elaboração de uma chave de interpretação com o objetivo de identificar não apenas o gradiente do vigor fotossintético, mas também de discernir diferentes coberturas e usos.

Desse modo, elaborou-se a chave de interpretação a partir da composição em falsa cor do período úmido e seco de 2022. Essa data foi considerada por se tratar da cena mais recente, permitindo obter um controle de campo mais preciso. A validação do mapeamento e análises das informações em

campo foram realizadas no mês de junho de 2023. Entretanto, o padrão dos objetos escolhidos a partir da cena de 2022 foi aplicado para as cenas de 2016.

A chave de interpretação teve como referência Florenzano (2011), que utiliza uma série de critérios para distinguir os diferentes alvos. Foram usadas a composição colorida falsa cor 8-4-5 (do período úmido e seco) e a imagem de satélite na cor natural do *Google Earth Pro*, compondo assim o quadro interpretativo (Figura 3). A escolha da inclusão da banda do infravermelho próximo no canal *red* permitiu estabelecer um contraste marcante entre os objetos naturais em suas variações de reflectância, além de facilitar a identificação dos alvos antropogênicos.

Figura 3: Chave de interpretação da cobertura e uso da terra.

Classes	Descrição	Úmido	Seco	Cor natural
Reservatórios hidrícos	Tonalidade forte, cor escura variando de preto ao ciano em vista da material em suspensão ou águas rasas, textura lisa, a forma segue padrão alongado onde as laterais não possuem formas definidas, os reservatórios de maiores dimensões estão localizados dentro do sistema fluvial, outras reservatórios de menores dimensões ficam próximo ao canal ou nas encostas sem padrão de formas.			
Áreas antrópicas construídas e solo exposto (ACE)	Tonalidade forte, com cores ciano e marrom, textura lisa, com diferentes dimensões, os objetos construídos com 100m ² ou acima ocupando pixel puros foram melhor observados nas cenas, as formas geométricas bem definidas, com localização geográfica próximas a estradas pavimentadas e não pavimentadas, distribuídas nas áreas rural e urbana.			
Baixa atividade fotossintética cobertura natural esparsa/semiaberta herbácea-arbustiva e uso agrícola (BAF)	Tons variando de intensidade, com coloração entre vermelho (as cores de vermelho mais intensa apresentam uma cobertura natural esparsa/ arbusto) e marrom, textura entre lisa (áreas agrícolas em fase de crescimento) formas geométricas sem um único padrão, definidas apenas quando são áreas cultivadas, localizadas predominantemente na zona rural.			
Média atividade com cobertura Natural semiaberta arbórea- arbustiva e uso agrícola/ pecuária (MAF)	Tons variando de claros a escuro na cor vermelha, áreas de atividade antrópica que apresentam manejo do solo/ pastagens naturais possuem textura lisa, áreas com cobertura vegetal natural tem textura rugosa (diferença de alturas e dimensão aérea semiaberta- fechada, arbóreo-arbustivo), formas regulares em áreas antrópicas com geometria bem marcada, áreas naturais fragmentos sem padrão definido, localização predominante na zona rural próximo a vias pavimentadas e não pavimentadas.			
Alta atividade fotossintética cobertura densa natural e áreas de cultivo com elevada fotossíntese (AAF)	Tonalidade forte na cor vermelha, com tendência de textura lisa em áreas com vegetação natural (sobre e as margens dos canais fluviais) e cultivo, e textura rugosa para vegetação de estrado arbóreo, predominio de formas geométrica não definida, no entanto trechos associada a paisagem fluvial seguem certa regularidade (lineares-curvaturas) e nos cultivos são dominantes formas retangulares ou quadrado.			

Fonte: ESA (2016 e 2022) e Google Earth (2024), organizado pelos autores (2025).

As classes escolhidas e os padrões de densidade dos estratos foram adaptados de acordo com Pereira (2021), considerando áreas com cobertura natural e uso antrópico (agrícola e pecuária). A separação das classes em ambiente SIG foi realizada por meio do método discreto, que melhor se adequou aos ajustes definidos para classes e intervalos selecionados na interpretação visual, juntamente com os valores biofísicos do índice.

Validação do mapeamento

Por fim, realizou-se a validação a partir da seleção de áreas homogêneas com extensão mínima de 800m² (correspondente a 8 pixels), apresentando valores de índice de vegetação semelhantes ou tendo uma transição gradual. A extensão referida foi selecionada pelo agrupamento dos pixels, permitindo visualizar de forma nítida os objetos, de acordo com as características espaciais do sensor e os diferentes alvos identificados.

Para o ano de 2022, as amostras foram obtidas por meio do uso do GPS *Garmin Etrex*, coletando 70 pontos distribuídos no município. A identificação para o ano de 2016 foi complementada pelas classes de uso e cobertura da terra, com 10 m de resolução espacial do Projeto Mapbiomas (<https://brasil.mapbiomas.org/mapbiomas-cobertura-10m/>), cujas classes foram adaptadas ao mapeamento realizado. A classe agropecuária esteve presente junto a outras coberturas, no entanto, considerando as diferentes fases de crescimento e o seu vigor.

Os pontos amostrados em campo compuseram a matriz de confusão. A acurácia é normalmente expressa por meio de índices, formulados a partir da relação entre dados de referência e o mapeamento (MENESES; ALMEIDA, 2012). Com base nisso, foi calculado o índice de concordância Kappa, seguindo a classificação de Landis e Koch (1977), a fim de determinar o grau de confiabilidade do mapeamento (Tabela 3).

Tabela 3: Graus de concordância do índice Kappa.

Índice Kappa	Concordância
<0,00	Péssimo
0,00-0,20	Ruim
0,21-0,40	Razoável
0,41-0,60	Bom
0,61-0,80	Muito Bom
0,81-1,00	Excelente

Fonte: Landis e Koch (1977).

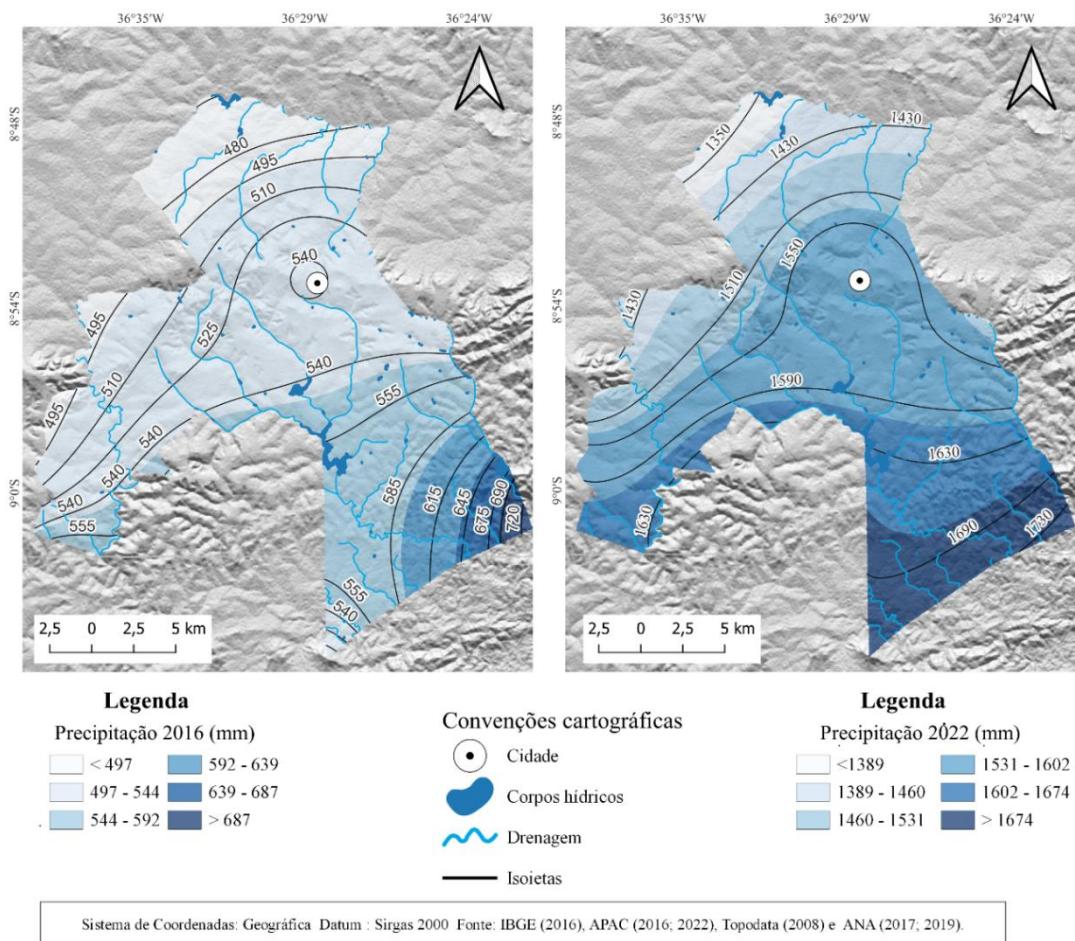
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Variabilidade da precipitação

A entrada da precipitação no sistema corresponde a um dos fatores que interferem diretamente no comportamento da vegetação natural e na produção agropecuária. Para as áreas do Nordeste semiárido e subúmido, as populações historicamente convivem com as irregularidades espaciais e temporais das chuvas.

A distribuição do acumulado de precipitação contribui para a delimitação de áreas favoráveis a diferentes atividades que dependem e são reguladas pela disponibilidade hídrica. Assim como a colonização da vegetação natural, que associada a outras propriedades ambientais, assegura a composição fitogeográfica e fitofisionômica adaptada, desde que não seja comprometida por atividades antrópicas. A Figura 4 indica a distribuição pluviométrica para o município de Garanhuns-PE, para os dois anos analisados.

Figura 4: Distribuição pluviométrica para os anos de 2016 e 2022.



Fonte: APAC (2016 e 2022), organizado pelos autores (2025).

Para a caracterização das chuvas, quatorze postos pluviométricos foram selecionados. Destes, treze são de municípios circunvizinhos, com posto pertencendo à área de estudo. Com base nos acumulados anuais, a seleção temporal dos dados pluviométricos está de acordo com a escala temporal adotada na definição das cenas orbitais.

Em 2016, a variação entre os postos apresentou valores mínimos de 337,5 mm e máximo de 927,6 mm, correspondentes, respectivamente, aos municípios de Jucati e Correntes. Em geral, essa diferenciação corresponde ao gradiente de direção norte-sul, entre valor mínimo e máximo. A média pluviométrica anual para todos os postos foi de 617,7 mm, sendo que o município de Garanhuns apresentou valores inferiores, em seu acumulado anual, com 541,3 mm. De modo descriptivo, notou-se uma tendência gradual de acréscimo de precipitação ao sudeste e decréscimo ao norte e oeste no contexto municipal.

A amplitude da precipitação na área de estudo foi de 590,1 mm, em termos de pluviometria, consiste em valor expressivo. Considerando o quadro ambiental de brejo de altitude, esse quantitativo indica tensões ambientais determinadas por fenômenos atmosféricos, que podem alterar a dinâmica natural da cobertura, bem como afetar as atividades desenvolvidas. Na porção semiárida e subúmida do Nordeste, a pluviometria apresenta variabilidade, mesmo nos locais subordinados a fatores topográficos e com exposição orográfica.

Em termos de espacialização dos totais acumulados, mais da metade das chuvas (52%) corresponde ao intervalo 497-544 mm, situado na porção centro – oeste. Em contraponto, o menor valor em dimensão espacial foi indicado pela classe > 687 mm, significando apenas 1% da área total localizada na extremidade sul. As demais classes ficaram entre: 3% para 639 – 687 mm; 6% para 592 - 639 mm; 23% para 544-592 mm; e 15% para < 497 mm. Em comparação com os dados médios e o ano observado, o município apresentou valores abaixo do esperado, registrando, em 2016, precipitações inferiores à média climatológica histórica anual de 782,5 mm (APAC, 2023).

Em 2022, os valores de precipitação observados para os quatorze postos pluviométricos variaram de 1.044,8 mm, no município de Caetés, a 2.326,7 mm, em Correntes. A orientação entre essas cidades é noroeste-sudeste. Para Garanhuns, o total anual foi de 1.584,1 mm, acumulado anual, com o valor médio anual para todos os postos de 1.792 mm. Comparando a distribuição das chuvas na área estudada, ocorreu uma disposição crescente da precipitação no sentido de norte a sul no município.

Os valores máximos e mínimos de precipitação indicam uma amplitude de 1.281,9 mm. Apenas três postos tiveram quantitativo abaixo da amplitude (Angelim, Caetés, Jupi e Paranatama). No município de Garanhuns, não houve a dominância de uma classe de precipitação com área acima de

cinquenta por cento. A maior dimensão é referente a 39% (1.531 – 1.602 mm) da área total, o menor intervalo em extensão foi > 1.389 mm (4%), as demais classes: 10% para 1.389 – 1.460 mm; 16% para 1.460 – 1.531 mm; 19% para 1.602 -1.674 mm; e 12% para > 1.674mm.

A partir dos dados anuais do período analisado, observou-se uma diferenciação no total anual dos postos analisados. Dadas dissemelhanças verificadas na interpolação com máxima (1.010 mm) e mínima (286 mm). É importante destacar que os elementos climáticos de uma região fornecem uma série de indicadores essenciais sobre a dinâmica e funcionamento das paisagens, refletindo as variações nos fluxos hidrológicos, seja na condição de déficit ou excedente hídrico.

Outro aspecto que caracterizou a precipitação para o município foi a relação entre o gradiente de precipitação, considerando dois perfis de norte a sul e oeste a leste, com acréscimo de precipitação. Todavia, as chuvas dependem de uma série de fatores geográficos e elementos climáticos, assim como das variabilidades interanuais de sistemas e fenômenos em escala global-regional.

Dentre os fatores que inscrevem o clima de Garanhuns, a topografia responde de maneira particular, determinada pela elevação, a qual sofre influência da circulação atmosférica regional pelo direcionamento dos ventos. Esses subespaços são reconhecidos como áreas de exceção, em especial para Garanhuns, como Brejos de altitude, caracterizados pela configuração físico-natural particular em relação às áreas circundantes (RODRIGUES; PIMENTEL, 2008). O complexo físico, além de valor ecológico, se destaca pela relevância econômica no aproveitamento ambiental, em detrimento das áreas circunjacentes (MEDEIROS; CESTARO, 2019).

Os brejos de altitude caracterizam-se pela composição forçante da subida do ar em vista da topografia, desencadeando a sua expansão, produzindo maior condensação favorecida pela pressão e temperatura, assim estabelecendo aspectos bioclimáticos próprios, bem como apresentando maior instabilidade nas encostas expostas à advecção dos ventos úmidos (TORRES; MACHADO, 2008; CORRÊA et al., 2019). As chuvas sob tais efeitos contam com certa particularidade, pois o alinhamento entre as massas úmidas e as vertentes a barlavento determina o grau de precipitação, e quando associados a sistemas com maior umidade, intensificam a distribuição espacial e volume (AYOADE, 1996).

Outro elemento que auxilia na interpretação da dinâmica das chuvas é a direção dos ventos. O município de Garanhuns está subordinado às condições regionais de deslocamento do anticiclone semifixo do Atlântico Sul, os ventos na maioria do ano advêm do Sudeste (os Alísios) e com menor frequência anual a leste (INMET, 2010). Portanto, corroborando com essas informações, a precipitação segue o sentido médio dos ventos.

Combinado a isso, os sistemas que provocam instabilidade determinando os tempos atmosféricos no Nordeste Brasileiro (NEB) são: Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), os Vórtices Ciclônicos de Alto Níveis (VCAN), Ondas de Leste (DOLs), Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), Frentes frias, Linhas de estabilidade (LI), Complexos convectivos de Mesoescala (CCM) (FERREIRA e MELLO, 2005; MACHADO et al., 2012; NÓBREGA et al., 2024). Portanto, denotam o comportamento atmosférico e suas condições de temperatura e precipitação, que se distinguem na região, visto que a variação sazonal dos elementos climáticos está associada à posição geográfica, relevo, natureza da superfície e os sistemas de pressão que atuam no Nordeste brasileiro (Kayano e Andreoli, 2021).

Mesmo considerando a influência climática local, a distribuição das chuvas apresenta forte variabilidade interanual entre os períodos analisados, evidenciando alteração nos regimes quantitativos associados à dinâmica do sistema superfície-atmosfera-SSA. Essas relações incluem influências remotas (Teleconexões), originadas por um conjunto de fenômenos que interagem de modo espaço-temporal, destacando-se: *El niño* Oscilação Sul (ENOS), dipolo do Atlântico, Oscilação Madden-Julian (MJO), entre outros. Tais fenômenos provocam distúrbios e oscilações na pressão, temperatura e precipitação, afetando especificamente a frequência e a intensidade das chuvas no Nordeste (MONTEIRO, 2022).

Em função disso, a diminuição dos acumulados pode ser explicada pelas anomalias de temperatura no Pacífico equatorial e pelas alterações correspondentes na interação oceano-atmosfera, sendo que o ano de 2016 esteve sob fase positiva (quente) do *El niño* oscilação Sul (ENOS). Na região Nordeste, esse fenômeno provoca estiagens e secas recorrentes pelas alterações na célula de circulação pacífica equatorial. No referido ano, de acordo com o monitoramento da Temperatura da Superfície do Mar (TSM), no Pacífico Equatorial, a anomalia da TSM foi superior a 1,5 °C, considerada como *el niño* com intensidade forte (INPE, 2016).

No contexto do Agreste, eventos de ENOS de maior intensidade influenciam de maneira acentuada a ocorrência de menores precipitações. De acordo com Rodrigues, Souza, Costa e Pereira (2017), essas influências não funcionam de maneira isolada, mas integram intercâmbios e variações da temperatura do Atlântico. No tocante, o dipolo do Atlântico positivo reforça a tendência das chuvas diminutas (ALVES, 2012), assim, as variações TSM do Atlântico integram as complexas interrelações da circulação oceano-atmosfera e os efeitos sobre a precipitação regional (KAYANO; ANDREOLI, 2021).

Nesse contexto, a componente do sistema superfície-atmosfera favorece a elevação das chuvas, em relação ao aumento da TSM no Atlântico Sul, destacando-se pela intensificação da

convecção e pelo maior aporte de umidade na atmosfera (GOMES, BELTRÃO e DIAS, 2024). A fase negativa do Dipolo do Atlântico, observada em 2022, contribui para o aumento das precipitações acima da média histórica.

A inclusão dos dados TSM auxilia na explicação da variação das precipitações e na resposta do índice de vegetação. Na tabela 4, constam as anomalias da temperatura do Atlântico (norte e sul), para os anos de 2016 e 2022. Ademais, como mencionado, as datas escolhidas têm relação com ENOS, para o ano de 2016 correspondeu à fase positiva, enquanto que em 2022 esteve sob os efeitos da *la niña*.

Tabela 4: TSM do Atlântico Norte e Sul para os anos 2016 e 2022.

Atlântico tropical Norte (TNA)												
Anos	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2016	0,50	0,45	0,39	0,32	0,38	0,39	0,37	0,49	0,39	0,55	0,46	0,52
2022	0,61	0,57	0,08	0,04	0,34	0,48	0,32	0,47	0,62	0,50	0,33	0,47
Atlântico tropical Sul (TSA)												
Anos	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
2016	<u>0,81</u>	<u>0,59</u>	<u>0,60</u>	<u>0,39</u>	<u>0,35</u>	<u>0,68</u>	<u>0,63</u>	0,52	0,26	0,46	0,28	0,67
2022	0,47	<u>0,73</u>	<u>0,57</u>	<u>0,46</u>	<u>0,36</u>	<u>0,61</u>	<u>0,34</u>	0,38	0,35	0,52	0,51	0,60

O sublinhado indica a diferença entre as temperaturas dos oceanos com condições para estabelecimento da fase positiva ou negativa do dipolo do Atlântico.

Fonte: NOAA (2024), organizado pelos autores (2025).

Portanto, ainda que em 2016 a Temperatura da Superfície do Atlântico Sul (TSA) tenha valores consecutivos maiores em relação à Superfície do Atlântico Norte (TNA), deve-se considerar que a intensidade do ENOS, em sua fase quente, exerceu influência mais significativa, especialmente durante os três primeiros meses do ano, quando apresentou forte intensidade. Em 2022, a TSA registrou nove meses com temperaturas favoráveis, sendo os meses de fevereiro a julho consecutivos em relação à TNA. Paralelamente, a anomalia de temperatura do Pacífico Equatorial e o ENOS (fase fria) persistiram durante todo o ano de 2022, mantendo-se abaixo da média (NOAA, 2023).

Nóbrega e Santiago (2016) explicam que a diferenciação de temperatura e pressão do Atlântico Sul, especialmente próximo à região Nordeste, intensifica a convecção e, consequentemente, o potencial de ocorrência de chuvas no semiárido. Dessa forma, a conjugação entre a resposta oceânico-atmosfera do Pacífico Equatorial, associada ao ENOS em sua fase fria, e do Atlântico Sul (dipolo negativo), proporciona condições favoráveis de variabilidade das precipitações.

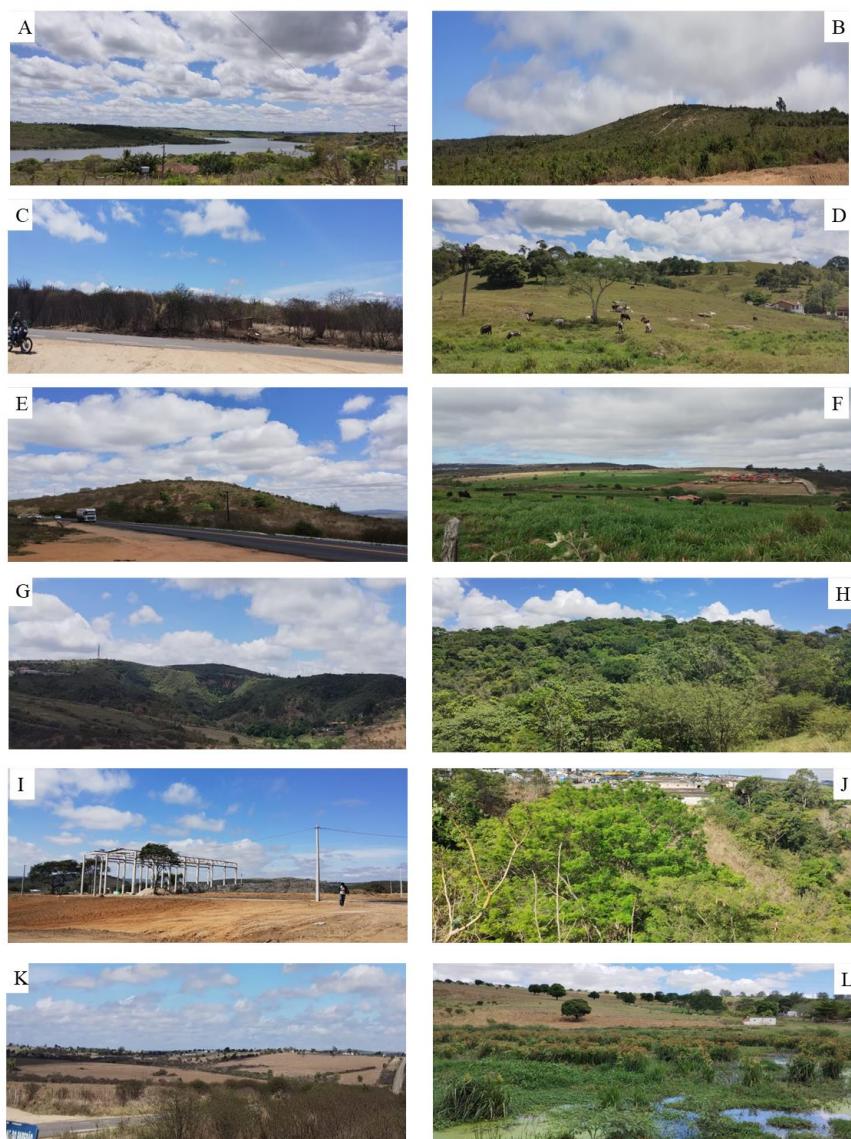
Desse modo, a diferenciação das precipitações entre os anos analisados reflete a variabilidade recorrente nas regiões subúmido e semiárido do Nordeste, podendo ser explicada pelas

interações remotas e locais, associadas às anomalias de temperatura dos oceanos e às variações na circulação atmosférica.

Índice de vegetação e mapeamento da cobertura e uso da terra

Com base nos trabalhos de campo e nas análises dos dados de sensoriamento remoto, foram definidas cinco classes para cobertura e uso da terra: reservatórios hídricos; áreas antrópicas construídas e solo exposto (ACE); baixa atividade fotossintética com cobertura natural esparsa/semiaberta herbácea-arbustiva e uso agrícola (BAF); média atividade fotossintética com cobertura natural semiaberta arbórea-arbustiva e uso agrícola/pecuária (MAF); e alta atividade fotossintética com cobertura densa natural e áreas de cultivo com elevado vigor fotossintético (AAF). Os locais amostrados estão indicados na Figura 5.

Figura 5: Classes de cobertura e uso da terra observadas em campo.



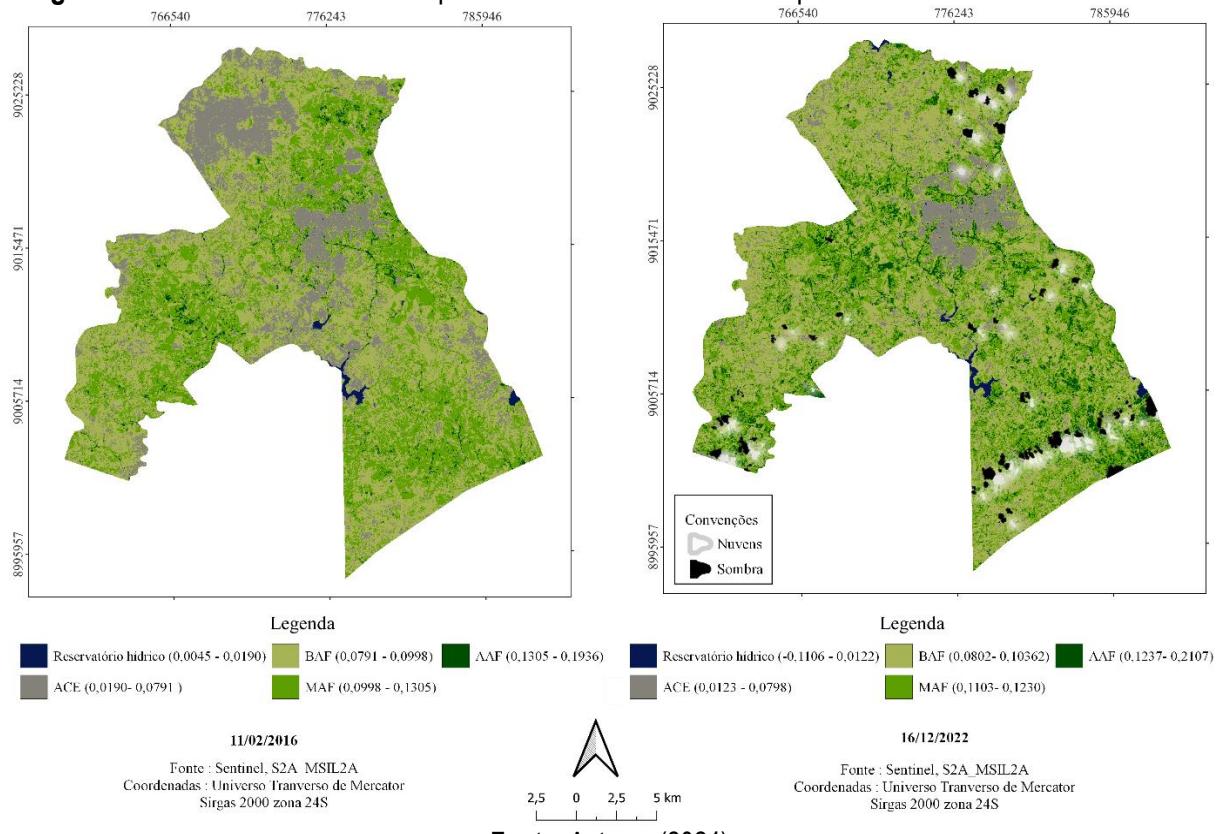
- A) Reservatório hídrico (Barragem do Mundaú), B) caatinga, arbustiva com gramínea, semiaberta com pequenas áreas de solo exposto (encosta sul na localidade do Cristo do Magano), C) Caatinga natural decidua (ao norte do município), D) Pastagem natural, E) Caatinga arbustiva com indivíduos arbóreos, F) vegetação alto vigor com uso destinado a pastagem irrigada, G) Vegetação densa arbórea-arbustiva, em área de ruptura topográfica inserido no perímetro urbana, H) Fragmento de vegetação de porte arbóreo com dossel fechado, I) Área de uso antrópico, J) cobertura arbórea-arbustiva, área urbana às margens da BR-423 , K) Caatinga Arbustivo e áreas de cultivo de sequeiro, e L) Calha fluvial com cobertura vegetal de alta atividade fotossintética, margeada por pasto natural.

Fonte: autores (2024).

A espacialização da classificação da cobertura e uso da terra teve como princípio a assinatura espectral. Para discernir as diferentes tipologias de usos na série de alvos, assim como, adotou-se a interpretação visual dos padrões dos objetos (Figura 3). O mapeamento apresenta um conjunto de informações derivadas do SAVI referente ao período úmido nas duas cenas (11/02/2016 e 16/12/2022). Enquanto a seleção da imagem no período seco (08/10/2016 e 24/02/2022) foi útil no exame do comportamento intra-anual dos alvos, no tocante às transformações sazonais.

O intervalo do índice variou entre 0,0122 a 0,1936 para o ano de 2016. Em 2022, os valores encontrados variaram entre -0,1106 a 0,2107, indicando maior amplitude. A Figura 6 tem a espacialização da cobertura e uso da terra associado ao índice de vegetação.

Figura 6: Cobertura e uso da terra para o ano de 2016 e 2022 no período estabelecido como úmido.



Na cena correspondente ao período seco de 2016 (representada na Figura 2, pelo quadro interpretativo), foram observados os menores valores de reflectância, especialmente em função da intensidade do filtro Red (com a banda NIR). A diminuição das chuvas ocasionou uma resposta baixa da biomassa, pois, em condição de maior umidade, ocorre o aumento dos tons de vermelho, indicando alvos fotossinteticamente ativos que refletem com maior intensidade na faixa infravermelho próximo (NIR), em contraste com o comportamento observado na região do visível (banda do vermelho).

A interpretação das cenas no período interanual úmido e seco evidenciou mudanças visualmente marcantes na composição colorida (R8-G3-B4), com maior intensidade em áreas específicas. No período seco, os locais próximos ou sobre os cursos d'água, devido à disponibilidade de umidade no solo em superfície e em subsuperfície, mantiveram a atividade fototrófica. Além disso, notou-se variações nos tons de vermelho (no canal com a banda NIR) em outros pontos na imagem, particularmente na porção sul do município, diante dos maiores valores de precipitação sobre essa área, ainda que no período de menores totais pluviais.

No período úmido, em razão do estímulo hídrico, a cobertura vegetal exibiu maior extensão. Como exceção a esse contexto, destacam-se as áreas urbanizadas na região central, na porção norte e em pequenas manchas dispersas no município, que se sobressaem pelo brilho mais claro, indicando solo desnudo ou com vegetação esparsa. Por outro lado, as superfícies mais escuras na composição empilhada (com exceção dos reservatórios) encontram-se com vegetação de média atividade fotossintética, ainda que seus dosséis sejam perceptíveis (fitofisionomia arbustiva-arbórea). Valores espectrais se assemelham ao que foi interpretado como média atividade fotossintética-MAF.

A classificação é um indicador restrito temporalmente ao momento do deslocamento orbital do satélite. Nesse sentido, o SAVI expressa a resposta espectral dos materiais no instante da aquisição da imagem. Embora a cobertura do solo exposto no momento da captura do dado tenha tido maior concentração ao norte. Essa interpretação pode ser complementada considerando aspectos de natureza fenológica das espécies predominantemente arbustivas (Figura 5 C), bem como pelo aproveitamento definido pelo cultivo de sequeiro (Figura 5 K).

Cabe destacar que a categoria AAF, caracterizada por cobertura densa natural e área de cultivo com elevada fotossíntese, não significou, exclusivamente, cobertura arbórea (Figura 5 L-J). A disponibilidade hídrica desempenhou papel determinante, favorecendo elevado vigor vegetal próximo às drenagens, ocorrendo o mesmo para algumas áreas de cultivo irrigado.

A inclusão de áreas na categoria AAF está associada à ausência de solo exposto, ou com dimensões que não interferem nos valores captados por cada unidade de pixels (10×10 m). Essas áreas

são caracterizadas pela baixa mistura espectral dos objetos da superfície. Quanto maior for o número de pixels com sinal espectral homogêneo, melhor definida fica a classificação na cena, permitindo uma distinção mais precisa das coberturas vegetais.

Para vegetação densa e semiaberta, que significam AAF e MAF, tiveram um resultado gradativo entre os valores, que corresponderam ao estrato arbóreo e/ou arbustivo (dominância de estrato arbustivo nos pontos de validação em campo), a textura rugosa observada nas imagens indica as diferenças das alturas e dimensões entre as copas, aspecto próprio da cobertura natural, incluindo, em alguns casos, herbáceas em fase de desenvolvimento. Diferentemente, as áreas sob práticas de manejo agrícola (MAF e AAF) exibem formas geométricas bem delineadas e textura lisa.

Em relação à vegetação mais densa, a interpretação visual revelou segmentos localizados ao sul do município, caracterizado por dossel fechado, que mantém as folhas entre os períodos úmido e seco com padrão semidecíduo e perenifólio (Figura 3 H). Essa tipologia teve caráter descontínuo, margeado principalmente por pastagem, formando assim fragmentos de vegetação arbórea isoladas.

Ainda sobre a cobertura fechada natural (Figura 3 H), devido à diminuição pluviométrica no ano de 2016, se estabeleceu a assinatura espectral com range de MAF (mas, estando na cena de 2022 em AAF). Essa resposta espectral pode estar condicionada ao estresse hídrico, que altera temporalmente a atividade fotossintética da vegetação natural.

A recorrência do uso da terra pela agropecuária nas categorias BAF, MAF e AAF. É determinada pelo estágio de crescimento das culturas ou pela irrigação, fatores que modificam diretamente os valores do índice de vegetação.

Entre as datas observadas, é possível comparar o comportamento da cobertura e uso da terra para os anos analisados. O padrão de alta atividade fotossintética apresenta distribuição consistente, concentrando-se às margens e ao longo dos canais fluviais, bem como em áreas agrícolas com culturas em fase de crescimento, refletindo nos valores e intensidade do índice de vegetação.

Analizando as áreas construídas e solo exposto (ACE), percebeu-se uma redução. Em consonância a isso, ao norte, apresentou mancha de ACE em 2016. Em 2022, nessa porção, predominou a BAF e MAF, com cobertura de caatinga arbustiva (Figura 5 C), vegetação rala (pastagens) e cultivos em fase inicial de desenvolvimento (BAF).

Na área urbana, a diversidade de alvos com diferentes níveis de absorção, transmissão e reflexão, sejam materiais construídos ou naturais (em menor quantidade), resultou em maior confusão entre os objetos no interior da área. Apesar disso, foi possível identificar os limites da área urbana em termos de perímetro, isso vale para todas as datas consideradas.

Circundando a sede municipal, áreas com relevo elevado com formação de cabeceiras de drenagem ou em locais com rupturas topográficas (Figura 5 G), apresentaram nas encostas AAF e MAF (Figura 5 G-J), com a dominância de vegetação arbustiva.

Outro ponto a destacar, mesmo com imagens temporárias, o cultivo de sequeiro e permanente apresentou assinatura espectral semelhante. No entanto, na interpretação visual das imagens em falsa cor, o padrão de textura e a extensão das áreas mostraram-se diferentes. Os valores do índice mantiveram-se próximos, variando entre as classes e devido ao ciclo de crescimento.

A classe pastagem indicou características de áreas de maior dimensão, com vegetação herbácea predominando ao sul e oeste (em menores áreas). Independente da pastagem ser natural ou irrigada, a classe variou entre a BAF e a AAF.

A diferença na cobertura e uso da terra na temporalidade de 2016 e 2022 (Tabela 5) permite comparar o crescimento ou diminuição das classes, passíveis de interpretação em conjunto com as variações da precipitação.

Tabela 5: Quantificação e mudanças das classes de cobertura e uso da terra para os anos de 2016 e 2022.

Classes	Área (Km ²)		Área (%)		Mudança (2016-2022)
	2016	2022	2016	2022	
Reservatório hídrico	2,59	3,15	0,56	0,65	-0,56
ACE	84,09	37,66	18,34	11,56	46,43
BAF	212,25	212,49	46,29	46,24	-0,24
MAF	150,52	153,20	32,83	33,37	-2,68
AAF	9,08	36,62	1,98	8,07	-27,54

Fonte: autores (2024).

Em termos quantitativos, ocorreram modificações na cobertura e uso da terra, mesmo com o período de análise restrito a menos de uma década. A cobertura sofreu algumas variações (ou mudanças). Os reservatórios hídricos, cujo comportamento está relacionado à vazão dos rios e riachos, e os reservatórios em encostas, são dependentes da frequência das chuvas. A respeito disso, no ano de 2022, indicou aumento dessa tipologia (-0,56 km²).

As classes ACE e BAF representaram os respectivos valores de 46,43 km² e -0,24 km². Em 2016, predominou a classe ACE, indicando maior exposição de solo e cobertura fotossinteticamente rarefeita. A classe BAF apontou variação negativa devido ao aumento em 2022 da cobertura esparsa/semiaberta.

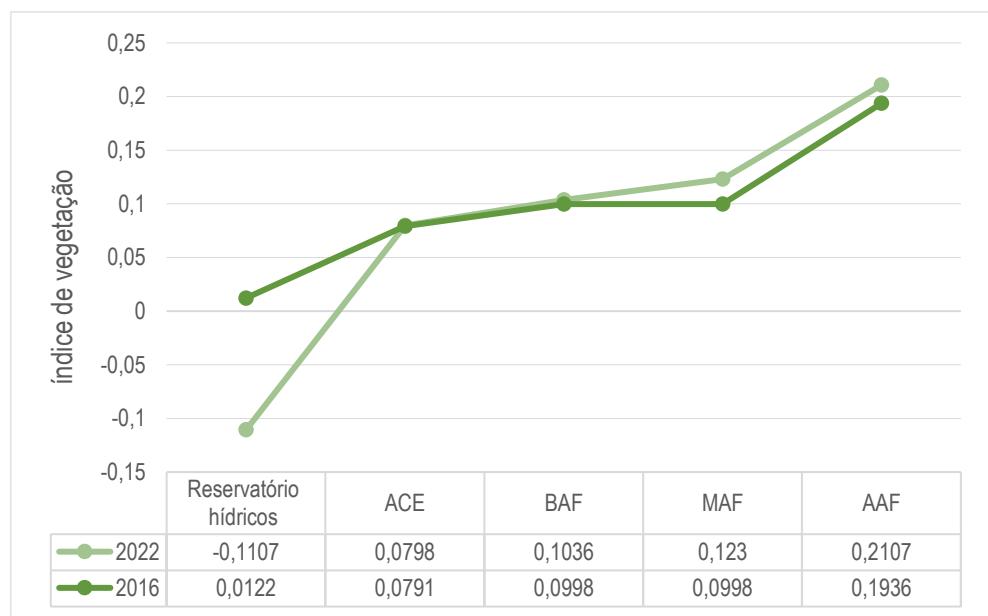
As categorias MAF e AAF demonstraram valores mais expressivos em 2022, indicando crescimento significativo da cobertura com alta atividade fotossintética (-27,54Km²). De acordo com as classes adotadas, o aumento está relacionado à expansão da cobertura e uso agropecuário (fotossinteticamente ativo) e da cobertura natural. De forma semelhante, a MAF (-2,68Km²) ocupou maior extensão em 2022.

Diante disso, observa-se o caráter dinâmico da cobertura e uso da terra. As análises quantitativas informam que as mudanças não ocorreram de forma linear. Nesse contexto, a mensuração pode ser interpretada à luz das variabilidades da precipitação, exercendo influência na dinâmica natural da vegetação e no aproveitamento das atividades ligadas ao solo, dadas sobretudo pela agricultura temporária e pelas pastagens (irrigadas ou sem o sistema de irrigação).

Comparação espectral, produção agrícola e validação do mapeamento

Comparando os valores do índice de vegetação, nota-se variações na assinatura espectral entre as classes consideradas no mapeamento e seus respectivos anos analisados (Figura 7).

Figura 7: Comparação dos valores espectrais do índice de vegetação para os anos de 2016 e 2022.



Fonte: Autores (2024).

A distinção dos valores indica diferentes intensidades de reflectância dos alvos considerados pelo SAVI. O aumento do índice acontece gradualmente nas classes, iniciando nos

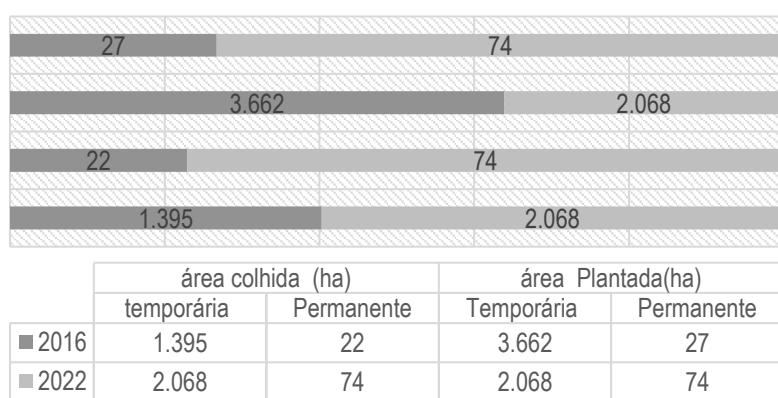
segmentos à esquerda, com ausência de produção primária, e elevando-se para os materiais com biomassa. O contraste mais acentuado na comparação espectral está na categoria reservatórios hídricos, pois as interferências decorrem em razão tanto da profundidade quanto dos materiais em suspensão nesses corpos hídricos, incidindo em uma resposta positiva próximo às estimativas de solo exposto e áreas construídas, em especial no ano de 2016.

Os resultados mostram-se concordantes, seguindo um sentido com tendência crescente. Ainda assim, os menores quantitativos estão em 2016 (com exceção para reservatórios hídricos). Essa constatação reforça a interpretação da influência da pluviometria entre os anos considerados. Mesmo as cenas estando em conformidade com o período úmido em relação ao contexto de precipitação para 2016 e 2022. Em função da diferença quantitativa dos acumulados de precipitação, observam-se diferenças nos valores para coberturas semelhantes.

Notou-se, na primeira data analisada (ano de 2016), certa diferenciação no comportamento das coberturas naturais identificadas. Seja na condição decídua (classificada como ACE-BAF), bem como para as áreas compostas de maior densidade (cobertura fechada). A baixa disponibilidade hídrica provocou a diminuição do potencial fotossintetizante. Tratando da morfologia da cobertura natural, a estrutura e densidade respondem distintamente às condições ecológicas, particularmente ao excesso ou à escassez de chuvas (JESUS et al., 2020).

Decorrente do caráter de transformações antrópicas e naturais, contribuindo para a interpretação ao longo dos anos observados, a Figura 8 apresenta a quantificação da produção agrícola em extensão (hectare) para cultivo temporário e permanente, abrangendo os valores de área plantada e colhida no município de Garanhuns. A utilização dessas informações permite a combinação de aspectos ligados à produção agrícola com dados extraídos do sensoriamento remoto.

Figura 8. Produção Agrícola Municipal (PAM)2016 e 2022.



Fonte: IBGE (2024), organizado pelos autores (2025).

A série de dados indicou distinções interanuais nos cultivos, tanto em área plantada quanto colhida. Houve o aumento da cobertura permanente em 2022, sem perda da produção colhida com base na coleta de dados realizada e disponibilizada. Em contraste, o cultivo em 2016 apresentou perdas acentuadas, onde menos da metade plantada foi efetivamente colhida, demonstrando uma redução severa na produção. O cultivo permanente também sofreu impactos, ainda que menos expressivos.

Considerando a precipitação, o índice de vegetação e o PAM. Para as duas últimas variáveis, tem-se dependência direta da primeira (independente). Sobre isso, Rodrigues, Souza, Costa e Pereira (2018) apontam que as estiagens e secas provocam impactos na agropecuária, ainda mais quando a condição de produção está sujeita exclusivamente à estação chuvosa. Nesse caso, as populações tornam-se vulneráveis aos fenômenos que provocam a diminuição ou até mesmo ausência das chuvas, causando problemas econômicos e de subsistência.

Batista e Albuquerque (2022) constatam uma correlação entre a produção agrícola e as secas, com impactos ligados à sua magnitude, destacando a queda produtiva de grãos. Contudo, é fundamental ressaltar que os impactos provocados pela diminuição da produção na região semiárida decorrem de interfaces sociais, econômicas, políticas e ambientais, e não única e exclusivamente de variabilidades de precipitação já conhecidas e monitoradas (SANTANA e SANTOS, 2020).

Os dados do PAM elucidam o aumento do cultivo permanente em 2022, implicando na maior cobertura da vegetação. Dependendo do espaçamento entre as plantas e das características do dossel, essas áreas são incluídas nas classes de maior atividade fotossintética (MAF / AAF), visto que o aumento em área desse manejo de terra indica maior produção primária e, por sua vez, cobertura fechada, ainda que destinada ao uso agrícola.

A classe com ausência de atividade primária, em 2016, reflete as relações supracitadas, podendo ser explicada a partir do cultivo temporário e a diferença entre o que foi plantado e colhido. Além disso, dois fatores podem ser filiados aos resultados: o primeiro refere-se ao calendário agrícola, incluindo atrasos no cultivo, que explica a ocorrência de solo exposto capturado nas imagens; o segundo está relacionado à sensibilidade solo-planta, na qual a diminuição das chuvas interfere nos processos biológicos. Esses efeitos são particularmente evidentes em agroecossistemas que não utilizam irrigação.

No contexto da área de estudo, para o ACE (com exceção das áreas construídas), é possível afirmar que não são todas as áreas delimitadas nesta classe que correspondem a áreas desmatadas ou destinadas ao aproveitamento produtivo. Sobre isso, Nascimento et al., (2020) observam o processo de recuperação foliar em função da precipitação e da temperatura, ao analisar a vegetação da Caatinga em diferentes períodos. Os autores ressaltam que a conversão aparente da cobertura não

pode ser explicada unicamente pela supressão antrópica, coexistem relações decorrentes dos ciclos de deciduidade. Portanto, necessitando de interpretações para além dos índices gerados.

Galvino et al., (2016) ao analisar o município de Belo Jardim, no Agreste pernambucano, encontram forte interação entre o comportamento das chuvas e da vegetação, além do aumento do parâmetro físico do Albedo, em correspondência com as condições meteorológicas.

Desse modo, embora não seja o objetivo da pesquisa, é relevante apontar que a recomposição da vegetação semiaberta e os cultivos agrícolas em preparo deixam os solos por determinados períodos expostos. Esses solos tornam-se susceptíveis à erosão, vista às irregularidades espaço-temporais das precipitações passíveis de causar efeitos nos solos, alterando suas propriedades físico-químicas, além do aumento do escoamento e a perda dos horizontes superficiais, com maior ou menor intensidade em função das características da erodibilidade e da Erosividade. Especialmente em eventos de forte intensidade e consecutivos, tais processos podem gerar consequências na agricultura, fragilizando as atividades.

Inclusive, próximo aos reservatórios hídricos e cursos fluviais, em todos os anos observados foram visualizados trechos sem vegetação ou com baixa sanidade, em vista disso, havendo desacordo normativo em relação ao Código Florestal a respeito de Áreas de Preservação Permanente (APP) às margens de cursos fluviais e reservatórios. Entre os efeitos diretos estão o assoreamento e a perda de volume hídrico.

Outra questão importante se refere aos fragmentos remanescentes das coberturas arbóreas, não existindo nenhum enquadramento como unidade de conservação segundo a Agência Estadual de Meio Ambiente (CPRH) e Sistema Nacional de Unidade de Conservação (SNUC), deixando esse ecossistema propenso à perda de biodiversidade e aos serviços fornecidos.

Diante disso, constatadas as variações temporais na assinatura espectral. A etapa após definição das classes foi validar o mapeamento, para isso, calculou-se o índice *kappa* utilizando a matriz de confusão (Tabela 5), com o objetivo de fornecer maior confiabilidade, considerando as generalizações decorrentes da resolução do sensor e da padronização das informações da superfície adotadas como classes mapeáveis.

Tabela 5: Matriz de confusão para as classes mapeadas.

2016						2022							
	água	área não vegetada (ACE)	Campestres e agricultura (BAF)	F. Savântica e agropecuária (MAF)	Florestal densa e agropecuárea	Total		água	ACE	BAF	MAF	AAF	Total
R. hídricos	8	0	1	1	0	10	R. hídricos	4	0	0	0	0	4
ACE	0	1	7	0	2	10	ACE	0	4	4	1	0	9
BAF	0	0	31	2	0	33	BAF	0	0	27	1	0	28
MAF	0	0	4	9	0	13	MAF	0	0	6	14	0	20
AAF	0	0	1	0	3	4	AAF	1	0	2	1	5	9
Total	8	1	44	12	5		Total	5	4	39	17	5	
Diagonal principal		52	Amostras		70			Diagonal principal	54	Amostras		70	

Fonte: autores (2025).

O índice Kappa indicou consistência aceitável, mesmo com erros de comissão e omissão. As classificações ficaram em “bom” e “muito bom” simultaneamente para os anos de 2016 (0,60) e 2022 (0,67), tendo uma concordância considerável na escala dos dados de referência no mapeamento.

Nesse contexto, percebe-se que as faixas específicas da REM permitem separar materiais com alto brilho, mesmo diante dos efeitos de mistura espectral dos alvos por unidade do pixel (SHIMABUKURO e PONZONI, 2017). Assim, o uso das bandas do infravermelho e vermelho, ainda que limitados à resolução espacial de 10 m, o sinal de reflectância, permitiu uma aproximação à realidade terrestre, discernindo uma diversidade de alvos.

Embora haja algumas restrições, os índices de vegetação dão suporte para estudos da dinâmica ambiental, sua análise permite interpretar estresse no vigor vegetativo e o comportamento espaço-temporal da cobertura, servindo a múltiplos propósitos. Esses índices são produzidos de forma simples, obtendo dados consistentes e comparáveis com outros instrumentos e informações, porém os ambientes têm variáveis próprias que precisam ser interpretadas em conjunto (XUE e SU, 2017).

Com base nos resultados, verificam-se alterações na dinâmica interanual da precipitação, com efeitos nas transformações que impactam diretamente a produção, salientando que as atividades agropecuárias ocupam maiores extensões, quando comparadas à cobertura natural no município. Em relação à vegetação natural, pode-se estabelecer que, no ano de 2022, apresentou maior percentual, juntamente com maior lâmina d'água nos reservatórios (Tabela 5).

Certamente, devido à sensibilidade da cobertura vegetal, tanto natural quanto manejada, os índices corroboram com o reconhecimento do comportamento dessas coberturas. Quando associados a outros atributos, tornam-se importantes para os diagnósticos da vulnerabilidade, da fragilidade, do risco

e da susceptibilidade. Fornecendo informações sobre a cobertura e suas transformações em determinado contexto socioambiental e, sobretudo, adotando a dinâmica de fatores climáticos em múltiplas escalas que interferem na cobertura e uso da terra.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O roteiro metodológico adotado na pesquisa atendeu ao objetivo proposto, possibilitando identificar o comportamento multitemporal da cobertura e uso da terra nos anos de 2016 e 2022. O uso do sensoriamento remoto no reconhecimento da cobertura mostrou-se como uma importante ferramenta para o monitoramento ambiental, adequado ao contexto da área de estudo. A partir da análise das variações na cobertura, verificou-se de maneira geral que, em 2016, na data considerada, ocorreu um menor quantitativo de superfície fotossinteticamente ativa, em comparação ao ano de 2022.

As informações obtidas contribuíram para a compreensão do funcionamento da cobertura, que se configura conforme a influência da variabilidade das precipitações. Embora com recorte temporal reduzido, foi possível identificar a cobertura natural, que apresenta dominância decídua e semidecídua. Para as atividades produtivas, predomina a agropecuária, com extensas áreas destinadas à pastagem e menores parcelas de uso da terra utilizadas para o cultivo.

Vale destacar que a identificação dos diferentes graus de vigor vegetativo demonstrou condições de estresse representadas pela diminuição do volume pluviométrico. As paisagens compreendidas como sistemas físico-naturais e socioeconômicos possuem limiares de alteração, que implicam na capacidade de resistir às mudanças sem perder as suas qualidades e funções. De modo geral, também foram observados impactos na produção agrícola, os quais acarretam desdobramentos sociais e econômicos.

Desse modo, a aplicação dos índices de vegetação representa um recurso eficiente de monitoramento e diagnóstico em estudos de caráter ambiental. Possibilitando a obtenção de informações que subsidiem ações de conservação e aproveitamento das paisagens de modo adequado à sua capacidade de suporte. Apesar das limitações existentes (as quais devem ser compreendidas e consideradas), a sistematização das informações e dos dados não deve restringir-se às imagens dos sensores, mas incorporar informações de outros aspectos como: fenômenos naturais da dinâmica atmosférica e dados socioambientais da área, a fim de explorar o potencial analítico e as aplicabilidades dos índices de vegetação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa ao primeiro autor, Processo nº 88887.870354/2023-00, do Programa PDPG-FAPIII. Ao Programa de Pós-Graduação em Saúde e Desenvolvimento Socioambiental (PPGSDS). A pesquisa contou com apoio do Laboratório de Geoprocessamento e Modelagem Ambiental (LAGMA) e do Grupo de Trabalho em Geomorfologia (GT-Geomorfo).

REFERÊNCIAS

- Agência Pernambucana de Água e Clima-APAC. **Monitoramento pluviométrico.** 2023. Disponível: <http://old.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php>. Acesso em : 20 Dezembro de 2023.
- ALEXANDRE, F. da S.; CANDEIAS, A. L. B.; GOMES, D. D. M. Modelagem cartográfica para a delimitação das paisagens da bacia hidrográfica do Alto Curso do Rio Mundaú - Pernambuco/Alagoas, Nordeste, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [s. l.], v. 12, n. 07, p. 2489–2502, 2019.
- ALVES, José Maria Brabo. Recentes variações climáticas no Nordeste do Brasil com ênfase a precipitação: relações com o ENOS, dipolo de temperatura da superfície do mar no Atlântico Tropical e a oscilação decadal do Pacífico. **Revista de Geografia**, v. 29, n. 3, 2012.
- ANDREOLI, Rita Valéria; KAYANO, Mary Toshie. Clima da Região Nordeste .In: ALBUQUERQUE CAVALCANTI , Iracema Fonseca de ; FERREIRA, Nelson Jesuz. **Clima das regiões brasileiras e variabilidade climática**. Oficina de Textos, p. 25-41. 2021.
- ANJOS, Rafael Silva dos; CANDEIAS, Ana Lúcia Bezerra; NÓBREGA, Ranyré Silva. Mapeamento da precipitação estimada e observada no semiárido pernambucano e sua relação com a modelagem de dados espaciais. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 69/3, p. 447-462, 2017.
- APAC, Agência Pernambucana de Águas e Clima. **Atlas climatológico do Estado de Pernambuco: normais climatológicas 1991-2020.** /– Recife: APAC, GMMC, 2023.
- ARAÚJO, R. C.; GOMES, D. D. M.; DOS SANTOS, J. Y. G.; DE MOURA-FÉ, M. M. Mapeamento de Vulnerabilidade Ambiental da Sub-bacia do Rio Bodó, na região da Serra de Santana, estado do Rio Grande do Norte, Brasil. **Revista de Geociências do Nordeste**, [s. l.], v. 9, n. 1, p. 71–87, 2023.
- AYOADE, Johnson Olaniyi. **Introdução à climatologia para os trópicos**. Difel, 1986.
- BATISTA, Daniela Ferreira; ALBUQUERQUE, Tatiana Máximo Almeida. Impacto da Seca na Agricultura dos Territórios Agreste Central, Alto Sertão e Centro-Sul de Sergipe. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 37, p. 81-88, 2022.
- BENEVIDES, Jorgeana de Almeida Jorge et al. Estudo espaço-temporal comparativo da resposta espectral da vegetação da APA do estuário do rio curu e entorno com uso de imagens multiespectrais. **Geosaberes: Revista de Estudos Geoeducacionais**, v. 14, n. 1, p. 1-20, 2023.
- COLE, Beth; SMITH, Geoff; BALZTER, Heiko. Acceleration and fragmentation of CORINE land cover changes in the United Kingdom from 2006–2012 detected by Copernicus IMAGE2012 satellite data. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 73, p. 107-122, 2018.
- CORRÊA, Antonio Carlos de Barros et al. The semi-arid domain of the Northeast of Brazil. In: SALGADO, André Augusto Rodrigues ; SANTOS, Leonardo José Cordeiro Santos; PAISANI, Júlio César. **The Physical Geography of Brazil: Environment, Vegetation and Landscape**, p. 119-150, 2019.
- CPRM, Serviço Geológico Brasileiro. **Diagnóstico do município de Garanhuns**. Recife, 2005.
- DE ALMEIDA, Cicero Lima; DE CARVALHO, Thaysian Renato Anchietá; DE ARAÚJO, José Carlos. Leaf area index of Caatinga biome and its relationship with hydrological and spectral variables. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 279, p. 107705, 2019.

DIODATO, Marco Antonio et al. Índice de vegetação. In: FILHO ,Antonio Conceição Paranhos et al (Org). **GEOTECNOLOGIAS PARA APLICAÇÕES AMBIENTAIS**. Maringá, PR, Uniedusul, 2021.p. 285-298.

DONG, Yi et al. Spatial-temporal evolution of vegetation NDVI in association with climatic, environmental and anthropogenic factors in the loess plateau, China during 2000–2015: Quantitative analysis based on geographical detector model. **Remote Sensing**, v. 13, n. 21, p. 4380, 2021.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Zoneamento agroecológico de Pernambuco (ZAPE). Recife: Embrapa Solos - UEP, 2001.

European Space Agency (ESA). *The Sentinel missions*. 2023. Disponível em: https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth/Copernicus/The_Sentinel_missions. Acesso 10 janeiro de 2023.

FERREIRA, A.G.; MELLO, N.G.S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.1, n.1, p 15-28, 2005.

FIALHO, Edson Soares; CELESTINO JUNIOR, E.; QUINA, R. D. O campo térmico em situação episódica de primavera em uma cidade de pequeno porte, na zona da mata mineira: Um estudo de caso em Cajuri-MG. **Revista Geografia, Recife**, v. 13, n. 4, p. 300-318, 2016.

FLORENZANO, Teresa Gallotti. **Iniciação em sensoriamento remoto**. Oficina de textos, 2011.

FREIRES, E. V.; DA SILVA NETO, C. Â.; DUARTE, C. R.; VERÍSSIMO, C. U. V.; GOMES, D. D. M.; DA SILVA, M. T.; DA SILVA NETO, T. A. Análise da vulnerabilidade ambiental à degradação dos solos na vertente úmida do Maciço de Uruburetama/CE. **Quaternary and Environmental Geosciences**, [s. l.], v. 15, p. 20–33, 2024.

FREIRES, E. V.; NETO, C. Â. da S.; CUNHA, D. S. R.; DUARTE, C. R.; VERÍSSIMO, C. U. V.; GOMES, D. D. M. Comparação de Imagens OLI/Landsat-8 e MSI/Sentinel-2 no Mapeamento de Cobertura e Uso da Terra no Maciço de Uruburetama, Ceará. **Anuario do Instituto de Geociencias**, [s. l.], v. 42, n. 4, p. 427–442, 2019. a.

FREIRES, E. V.; NETO, C. Â. da S.; SILVA, M. T. Da; DUARTE, C. R.; VERÍSSIMO, C. U. V.; GOMES, D. D. M. Analysis of the natural vulnerability of soil loss in the Uruburetama Massif/CE. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, [s. l.], v. 9, n. 3, p. 116–130, 2019. b. Disponível em: <www.periodicos.ufpe.br/revistas/jhrswww.ufpe.br/jhrs>

FREIRES, E. V.; SILVA NETO, C. Â. Da; DUARTE, C. R.; VERÍSSIMO, C. U. V.; GOMES, D. D. M.; MAIA, A. D. O. Diagnóstico da degradação ambiental na Vertente Úmida do Maciço de Uruburetama/CE e seu entorno. **Ciência e Natura**, [s. l.], v. 43, p. e18, 2021.

GAIDA, William et al. Correção atmosférica em sensoriamento remoto: uma revisão. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 01, p. 229-248, 2020.

GALVINCIO, Josicleda D. et al. Análise da variação da vegetação dos períodos secos e chuvosos através de SAVI e albedo de superfície no município de Belo Jardim-PE. **REDE-Revista Eletrônica do PRODEMA**, v. 10, n. 2, 2017.

GOMES, Dênis José Cardoso; BELTRÃO, Norma Ely Santos; DIAS, Yuri Alefh Saraiva; MAIA, Edite Torres. Eventos de inundação em anos extremos de Dipolo do Atlântico e La Niña no Arquipélago do Marajó. **Revista Brasileira de Climatologia**, [S. l.], v. 35, n. 20, p. 378–400, 2024.

GUEDES, Jânio Carlos Fernandes. **FITOECOLOGIA DE BACIAS HIDROGRÁFICAS SEMIÁRIDAS: EXPERIÊNCIA A PARTIR DA COBERTURA DA TERRA E MORFOESTRUTURA DO RELEVO**. 2023. 178 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Departamento de Geografia da Universidade Federal do Ceará - UFC, Ceará, 2023.

HUETE, Alfredo R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote sensing of environment**, v. 25, n. 3, p. 295-309, 1988.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Banco de Informações Ambientais BDIA. 2012. Disponível : <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/home> . acesso em: 20 dezembro de 2023.

IBGE. **Censo Demográfico 2022**. Rio de Janeiro. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/trabalho/22827-censo-demografico-2022.html>. Acesso em: 10 de janeiro de 2024.

INMET, Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais climatológicas 1991-2020**. 2022. Disponível : <https://portal.inmet.gov.br/normais>. acesso em: 20 dezembro de 2023.

Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). 2016. *El niñ*o. Disponível em : <http://enos.cptec.inpe.br/> . Acesso 4 de dezembro 2023.

- Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).2010. **Normais climatológicas do Brasil.** Disponível em : <https://portal.inmet.gov.br/normais> . Acesso 4 de dezembro 2023.
- JENSEN, John R. Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. 2009.
- JESUS, Janisson Batista de ,et al. Temporal and phenological profiles of open and dense Caatinga using remote sensing: response to precipitation and its irregularities. *Journal of Forestry Research*, v. 32, p. 1067-1076, 2021.
- JESUS, Janisson Batista de et al. Temporal and phenological profiles of open and dense Caatinga using remote sensing: response to precipitation and its irregularities. *Journal of Forestry Research*, v. 32, p. 1067-1076, 2021.
- KAYANO, Mary Toshie; ANDREOLI, Rita Valéria. Clima da Região Nordeste. In: CAVALCANTI, Iracema Fonseca de Albuquerque; FERREIRA, Nelson Jesuz (Org). **Climas das Regiões brasileiras e variabilidade climática**. 1.ed.São Paulo: Oficina de Textos, 2021.p.25-41.
- KUMAR, Saurabh et al. A multi-temporal analysis of Landsat data for land use/cover changes in Haridwar region using remote sensing techniques. *Procedia Computer Science*, v. 1184-1193, 2020.
- LANDIS, J. Richard; KOCH, Gary G. An application of hierarchical kappa-type statistics in the assessment of majority agreement among multiple observers. *Biometrics*, p. 363-374, 1977.
- LIMA, C. E. S. De; GOMES, D. D. M.; GOLDFARB, M. C. **Detecção de mudanças na cobertura vegetal da bacia hidrográfica do Rio Inhaúma – PE/AL, por meio de técnicas de Geoprocessamento e dados de Sensoriamento Remoto.** Revista Geociências do Nordeste, [s. l.], v. 2, 2016.
- LIU, William Tse Horng. **Aplicações de sensoriamento remoto.** Oficina de Textos, 2015.
- MACHADO, Célia Cristina Clemente et al. Distúrbio Ondulatório de Leste como condicionante a eventos extremos de precipitação em Pernambuco. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 11, 2012.
- Mapbiomas Alerta. **Alerta de desmatado.** 2023. Disponível: <https://plataforma.alerta.mapbiomas.org/>. acesso em: 20 dezembro de 2023.
- MARCUSSI, A. B.; BUENO, C. R. P.; MIQUELONI, D. P.; ARRAES, C. L. UTILIZAÇÃO DE INDICES DE VEGETAÇÃO PARA OS SISTEMAS DE INFORMAÇÃO GEOGRAFICA. *Caminhos de Geografia*, Uberlândia, v. 11, n. 35, p. 41–53, 2010.
- MEDEIROS, Jacimária Fonseca de ; CESTARO, Luiz Antônio. As diferentes abordagens utilizadas para definir Brejos de Altitude, áreas de exceção do Nordeste brasileiro. *Sociedade e Território*, v. 31, n. 2, p. 97-119, 2019.
- MENDONÇA, Francisco; DANNI-OLIVEIRA, Inês Moresco. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil.** Oficina de textos, 2017.
- MENESES, Paulo Roberto; ALMEIDA, T. de. Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto. *Universidade de Brasília, Brasília*, 2012.
- MONTEIRO, Jander Barbosa. A influência de teleconexões e sistemas meteorológicos produtores de precipitação no semiárido nordestino. *Revista Brasileira de Geografia Física*, [S. I.], v. 15, n. 1, p. 312–332, 2022.
- NÓBREGA, Ranyére Silva. et al. Clima de Pernambuco. In: ARRUDA, Ítalo Rodrigo Paulino de. MARIANO, Gorki. GUIMARÃES, thaís de Oliveira. LISTO, Danielle Gomes da Silva. **GEOPATRIMÔNIO DE PERNAMBUCO**. 1. ed.- Recife, PE: 108-139. 2024.
- NÓBREGA, Ranyére Silva; SANTIAGO, Gabriela ayane chagas felipe. Tendências do controle climático oceânico sob a variabilidade temporal da precipitação no Nordeste do Brasil. *Revista de Geografia Norte Grande*, n. 63, p. 9-26, 2016.
- NOVO , Evelyn Moraes de. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações.** Editora Blucher, 2010.
- PACHECO, Admilson da Penha; DE SOUZA, Camila Roberta Ribeiro; DA SILVA JÚNIOR, Juarez Antonio. Avaliação espaço-temporal de parâmetros físicos no entorno da Barragem de Barra do Juá/Pernambuco a partir de Imagens Landsat-8. *Ciência e Natura*, v. 45, p. e34-e34, 2023.
- PEREIRA, José Antônio Vilar. **A DEGRADAÇÃO DA COBERTURA VEGETAL E A EROSÃO DOS SOLOS COMO INDICADORES DE ÁREAS DESERTIFICADAS: UMA ANÁLISE DA MICROBACIA HIDROGRÁFICA DO RIACHO MUCUTÚ/PB.** 2021. 126 f. Dissertação (Dissertação em Geografia). UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA NATUREZA DEPARTAMENTO DE GEOCIÊNCIAS-UFPB, João Pessoa, 2021.
- PERNAMBUCO. **Economia Regional Agreste Meridional.** 2022. Disponível : <http://www.sdec.pe.gov.br>. acesso em: 20 novembro de 2023.

- PESSI, Dhonatan Diego et al. Aplicação de Sensoriamento Remoto na análise das mudanças da vegetação de campos de altitude no Pantanal usando dados multitemporais Landsat. **Terra Plural**, v. 17, p. e2321497-e2321497, 2023.
- PINHEIRO, Katarina Romênia et al. Impacto da precipitação e do uso e ocupação do solo na cobertura vegetal na Caatinga. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 5, n. 2, p. 221-231, 2020.
- Projeto MapBiomass. **Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil**, 2023. Disponível: <https://brasil.mapbiomas.org/>. acessado em: 25 de janeiro de 2024.
- RAHMAN, M. M. et al. Land use/land cover changes monitored by NDVI index in Rangamati, Bangladesh for the last four decades. **Bangladesh Journal of Agriculture**, p. 127-140, 2021.
- RAMOS, R. P. da S.; DEUS, R. A. da S. G. De; ALEXANDRE, F. da S.; GOMES, D. D. M.; GOLDFARB, M. C. Mapeamento e caracterização da densidade da vegetação Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Meio. **Revista Geociências do Nordeste**, [s. I.], v. 2, p. 1110–1119, 2016. Disponível em: <<http://www.periodicos.ufrn.br/revistadoregne>>
- RODRIGUES, Luana de Oliveira; SOUZA, Werônica Meira de; COSTA, Valéria Sandra de Oliveira; PEREIRA, Maria Luana Torres. Influência dos eventos de El Niño e La Niña no regime de precipitação do Agreste de Pernambuco (Influence of El Niño and La Niña events on rainfall of Agreste Pernambuco). **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S. I.], v. 10, n. 6, p. 1995–2009, 2018.
- RODRIGUES, Paulo Cesar Guimarães et al. Ecologia dos Brejos de Altitude do agreste pernambucano. **Revista de Geografia**, v. 25, n. 3, p. 20-34, 2008.
- SANO, Edson Eyji et al. Reflectância da Vegetação. In: MENESSES, Paulo Roberto; ALMEIDA, Tati de; BAPTISTA, Gustavo Macedo de Melo. **Reflectância dos materiais terrestres : análise e interpretação**. São Paulo : Oficina de Textos, 2019. p. 189-219.
- SANTANA, Adrielli Santos de; SANTOS, Gesmar Rosa dos. Impactos da seca de 2012-2017 na região semiárida do Nordeste: notas sobre a abordagem de dados quantitativos e conclusões qualitativas. **Boletim Regional, Urbano e Ambiental**. p.1-20 2020.
- SBG, Serviço Geológico do Brasil. **Folha Geológica SC.24-X-B Garanhuns**, escala 1:100.000. Brasília: SGB, 2015. Disponível: <https://rigeo.cprm.gov.br/handle/doc/21714> . Acesso: 23 de janeiro de 2024.
- SILVA, Jadson Freitas . et al. Índices de vegetação do sensoriamento remoto para processamento de imagens na faixa do visível (RGB). **J. Hyperspectr. Remote Sens**, v. 9, p. 228-239, 2019.
- SILVA, S. G. B. do N.; PANTA, D. L. da S. P. L. da S.; SILVA, M. R. Da; SOARES, G. A. de S.; GOMES, D. D. M. Planejamento Ambiental do Reservatório do Mundaú em Garanhuns – PE: Uma Abordagem de Zoneamento Conforme a Legislação Vigente. **OLAM: Ciência & Tecnologia**, [s. I.], v. 18, n. 1, p. 16–25, 2023.
- SINGGALEN, Yerik Afrianto. Tourism infrastructure development and transformation of vegetation index in Dodola Island of Morotai Island Regency. **Journal of Information Systems and Informatics**, v. 4, n. 1, p. 130-144, 2022.
- SOUZA, B. I. **Cariri Paraibano: do silêncio do lugar à desertificação**. 2008.198 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2008.
- SOUZA, Juciana da Conceição Birino de et al. mudança de uso e cobertura da terra na região de planejamento do baixo munim (maranhão) entre os anos de 1985 e 2019. **Caderno de Geografia**, v. 33, n. 72, 2023.
- TAIWO, Balogun Emmanuel et al. Monitor and predict the influences of changes in land use/cover on agricultural land characteristics and drought severity using remote sensing techniques. **Environmental and Sustainability Indicators**, v. 18, p. 100248, 2023.
- TEIXEIRA, C. P. B.; SOUTO, M. V. S.; PINHEIRO, L. R. de S. G.; MATOS, M. de F. A. De; GOMES, D. D. M. Análise da evolução costeira no município de Beberibe, Estado do Ceará, entre os anos de 1979 a 2019. **Revista Geociências**, [s. I.], v. 40, n. 3, p. 1005–1031, 2021.
- TORRES, Fillipe Tamiozzo; MACHADO, Pedro José de Oliveira. **Introdução à Climatologia**. Santo André: Geographica, 2008.
- ULLAH, Waheed et al. Analysis of the relationship among land surface temperature (LST), land use land cover (LULC), and normalized difference vegetation index (NDVI) with topographic elements in the lower Himalayan region. **Heliyon**, V 9,p, 1-15, 2023.
- VARELLA, A. A. C.; JUNIOR, S. G. D. Estudo de interpolador IDW do arquivo para utilização em agricultura de precisão. Departamento de engenharia. **Universidade Rural do Rio de Janeiro**, p.1-6, 2008.

XUE, Jinru; Su, Baofeng. Significant remote sensing vegetation indices: A review of developments and applications. **Journal of sensors**, 2017.

YAMAMOTO, Jorge Kazuo; LANDIM, Paulo Milton Barbosa. **Geoestatística: conceitos e aplicações**. 2013.

ZANOTTA, Daniel Capella; FERREIRA, Matheus Pinheiro; ZORTEA, Maciel. **Processamento de imagens de satélite**. Oficina de Textos, 2019. 320p.