

ANÁLISE MULTITEMPORAL DA COBERTURA VEGETAL NA APA SERRA DA MERUOCA (CE) POR MEIO DO ÍNDICE NDVI E IMAGENS SENTINEL-2

MULTITEMPORAL ANALYSIS OF VEGETATION COVER IN THE SERRA DA MERUOCA APA (CE) USING THE NDVI INDEX AND SENTINEL-2 IMAGES

 <https://doi.org/10.63330/aurumpub.030-001>

Calyne Bianca da Silva Lima
Graduanda em Engenharia Florestal
UEMASUL/CCA
E-mail: calyne.lima@uemasul.edu.br

Denilson Carvalho de Sousa
Graduando em Engenharia Agronômica
UEMASUL/CCA
E-mail: denilsoncarvalho7@hotmail.com

Daniel Carlos Machado
Doutorando em Agronomia (Ciência do Solo)
UNESP/Campus Jaboticabal
E-mail: daniel.c.machado@unesp.br

Rones Dias de Abreu
Graduando em Geografia
UEMASUL/Amarante
E-mail: rones.abreu@uemasul.edu.br

Jackeline de Melo Carvalho
Graduanda em Geografia
UEMASUL/Amarante
E-mail: jackeline.carvalho@uemasul.edu.br

Leanne Teles Pereira
Mestre em Ciências Florestais e Ambientais
UEMASUL/CCA
E-mail: leanne.pereira@uemasul.edu.br

Ruth de Abreu Araújo
Doutora em Produção Vegetal
UEMASUL/CCA
E-mail: rutha.araujo@uemasul.edu.br

Wilson Araújo da Silva
Doutor em Agronomia
UEMASUL/Campus Imperatriz
E-mail: wilson@uemasul.edu.br



Cristiane Matos da Silva
Doutora em Ciência e Tecnologia Ambiental
UEMASUL/Campus Imperatriz
E-mail: cristiane.silva@uemasul.edu.br

Patrícia Ferreira Cunha Sousa
Doutora em Agronomia -Genética e Melhoramento de Plantas
UEAP/Campus Amapá
E-mail: patricia.sousa@uemasul.edu.br

Laylles Costa Araújo
Doutora em Zootecnia
UFRA/ Campus Capitão Poço
E-mail: laylles.araujo@ufra.edu.br

Jonathan dos Santos Viana
Doutor em Agronomia (Ciência do Solo)
UEMASUL/Campus Imperatriz
E-mail: jonathan.viana@uemasul.edu.br
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4734-9843>

RESUMO

A aplicação de índices de vegetação derivados de sensoriamento remoto tem se destacado como ferramenta essencial para o monitoramento ambiental em Unidades de Conservação. Este trabalho analisou a variação espaço-temporal da cobertura vegetal na Área de Proteção Ambiental (APA) Serra da Meruoca-CE, entre os anos de 2021 e 2025, utilizando imagens do satélite Sentinel-2 e o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). A análise quantitativa, realizada a partir de mapas de NDVI gerados no software QGIS, permitiu identificar mudanças significativas na densidade vegetativa. Os resultados indicam uma redução nas áreas classificadas como de alta densidade vegetal em 2025 quando comparadas a 2021. Tais alterações são potencialmente associadas a uma combinação de fatores, incluindo a variabilidade climática e pressões antrópicas, como o uso e ocupação do solo em setores da unidade. Conclui-se que o NDVI derivado de imagens Sentinel-2 constitui um indicador robusto e eficiente para o monitoramento contínuo da APA, reforçando a importância do sensoriamento remoto como subsídio para a gestão ambiental e tomada de decisão.

Palavras-chave: NDVI; Sentinel-2; Geoprocessamento; Área de proteção ambiental.

ABSTRACT

The application of vegetation indices derived from remote sensing has stood out as an essential tool for environmental monitoring in Conservation Units. This work analyzed the spatiotemporal variation of vegetation cover in the Serra da Meruoca Environmental Protection Area (APA-CE), between the years 2021 and 2025, using images from the Sentinel-2 satellite and the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). The quantitative analysis, performed from NDVI maps generated in the QGIS software, allowed to identify significant changes in vegetative density. The results indicate a reduction in areas classified as high vegetation density in 2025 when compared to 2021. Such changes are potentially associated with a combination of factors, including climatic variability and anthropogenic pressures, such as land use and occupation in sectors of the unit. It is concluded that the NDVI derived from Sentinel-2 images constitutes a robust and efficient indicator for the continuous monitoring of the APA, reinforcing the importance of remote sensing as a subsidy for environmental management and decision making.



Keywords: NDVI; Sentinel-2; Geoprocessing; Environmental protection area.



1 INTRODUÇÃO

A análise da cobertura vegetal por meio de índices espectrais constitui uma abordagem consolidada no campo do sensoriamento remoto e das geotecnologias. Sua proeminência advém da capacidade dos sensores orbitais em mensurar quantitativamente a resposta espectral da vegetação, permitindo o monitoramento de sua dinâmica temporal. Dentre estes, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) destaca-se como uma das métricas mais amplamente empregadas, em função de sua robusta sensibilidade para discriminar áreas com diferentes níveis de densidade de biomassa fotossinteticamente ativa. A eficácia do NDVI como indicador do vigor vegetativo foi corroborada por Silva Júnior et al. (2021), que demonstraram sua aplicabilidade em contextos de monitoramento ambiental.

A Área de Proteção Ambiental (APA) Serra da Meruoca, localizada na porção setentrional do estado do Ceará, configura-se como um enclave de exceção biogeográfica em meio ao domínio semiárido. Os condicionantes climáticos que governam a região foram investigados por Nascimento, Pinheiro e Sousa (2016), os quais evidenciaram o papel determinante do gradiente altimétrico na modulação de microclimas locais. Tais condições propiciam a ocorrência de fitofisionomias mais densas e úmidas em setores de maior altitude, em contraste com a matriz de vegetação xerofítica predominante no entorno.

Os fatores edáficos exercem, igualmente, um papel fundamental na dinâmica ecossistêmica da serra. Predominam na área solos litólicos, rasos e diretamente associados ao embasamento cristalino, o que impõe restrições à sua capacidade de retenção hídrica. Tal condição, analisada por Silva, Figueiredo e Souza (2024), foi correlacionada à variabilidade sazonal da resposta vegetativa, indicando que as limitações do perfil pedológico são um vetor explicativo para as flutuações fenológicas anuais.

Adicionalmente, a dinâmica da cobertura vegetal é influenciada por vetores de natureza socioantropológica. O uso e manejo de espécies nativas para fins alimentares, medicinais e de extração madeireira pelas comunidades locais, conforme documentado por Silva et al. (2024), introduz uma camada adicional de complexidade aos padrões observados. Essa interação histórica sociedade-natureza, embora não necessariamente sinônimo de degradação, constitui uma variável relevante na configuração da paisagem.

O monitoramento de tais dinâmicas complexas é viabilizado com elevada precisão espacial e temporal por meio de sensores como o *Multispectral Instrument* (MSI), a bordo da série de satélites Sentinel-2. A literatura recente, a exemplo de Tamasauskas et al. (2024), corrobora o elevado potencial desta plataforma para a detecção de alterações na cobertura e uso da terra. Paralelamente, a aplicação do NDVI em análises espaço-temporais tem sido validada em diversos biomas brasileiros, atestando sua robustez como ferramenta de monitoramento ambiental (TÔRRES SILVEIRA et al., 2022).

Neste contexto, o presente estudo objetiva quantificar e analisar a variação espaço-temporal do NDVI na APA Serra da Meruoca, utilizando uma série temporal de imagens do sensor Sentinel-2 para os

anos de 2021 e 2025. Busca-se, ainda, correlacionar as anomalias detectadas com potenciais vetores de mudança, sejam eles de natureza climática, edáfica ou antrópica, a fim de compreender as transformações em curso nesta importante unidade de conservação.

2 METODOLOGIA

2.1 ÁREA DE ESTUDO

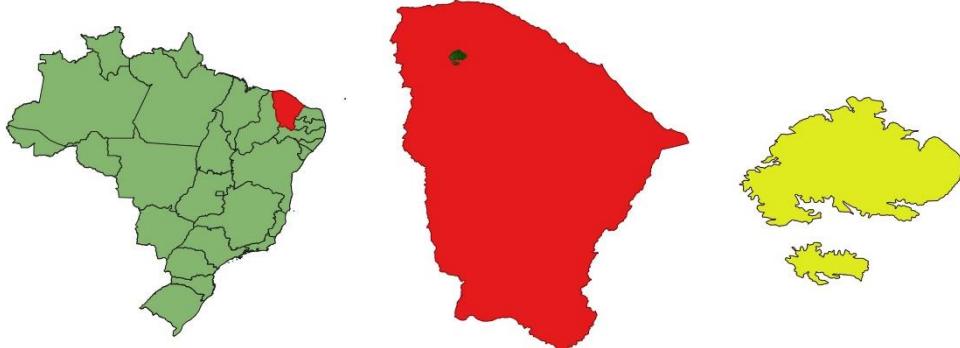
A APA Serra da Meruoca está localizada no noroeste do Ceará e integra o Maciço da Meruoca. A região possui altitudes elevadas que influenciam sua dinâmica climática. Essa influência, segundo Nascimento, Pinheiro e Sousa (2016), gera variações de temperatura e umidade que favorecem a presença de vegetação serrana e diferem significativamente do padrão semiárido circundante.

Os solos da área apresentam baixa profundidade e são desenvolvidos sobre o embasamento cristalino. Essa limitação edáfica dificulta a retenção de água no perfil do solo, como analisado por Silva, Figueiredo e Souza (2024). Esse fator é relevante para a interpretação das variações de NDVI observadas nas imagens utilizadas.

Quanto à vegetação, a serra é marcada por espécies utilizadas historicamente pelas comunidades rurais. Essa relação foi descrita por Silva et al. (2024), que destacam a importância do saber tradicional na utilização e manejo dessas plantas.

A APA Serra da Meruoca está situada no noroeste do Ceará e apresenta características geomorfológicas e climáticas próprias das formações serranas da região. A posição geográfica da área e seu contexto territorial podem ser observados no mapa de localização apresentado na Figura 1.

Figura 1. Mapa de localização da APA Serra da Meruoca – CE.



Fonte: Lima et al. (2025)

2.2 BASE DE DADOS

Foram utilizadas duas imagens Sentinel-2 MSI referentes aos anos de 2021 e 2025. Ambas foram selecionadas pela baixa presença de nuvens e qualidade das bandas espectrais necessárias ao cálculo do NDVI.



2.3 PROCESSAMENTO DAS IMAGENS

O processamento das imagens foi realizado no software QGIS. Primeiramente, foi realizado o recorte para o limite territorial da APA. Em seguida, as bandas espetrais foram organizadas para cálculo do NDVI, utilizando a fórmula:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED}$$

Após cálculo, mapas temáticos foram produzidos para cada ano, permitindo a interpretação visual e estatística da cobertura vegetal.

2.4 CRITÉRIO DE INTERPRETAÇÃO

A análise dos dados considerou aspectos ambientais descritos na literatura. A resposta espectral da vegetação saudável foi fundamentada nas conclusões de Silva Júnior et al. (2021). O comportamento da vegetação em regiões semiáridas, que apresenta forte variação sazonal, foi interpretado à luz da análise feita por Tôrres Silveira et al. (2022). Fatores climáticos e atmosféricos da região serrana foram considerados conforme descrito por Nascimento, Pinheiro e Sousa (2016).

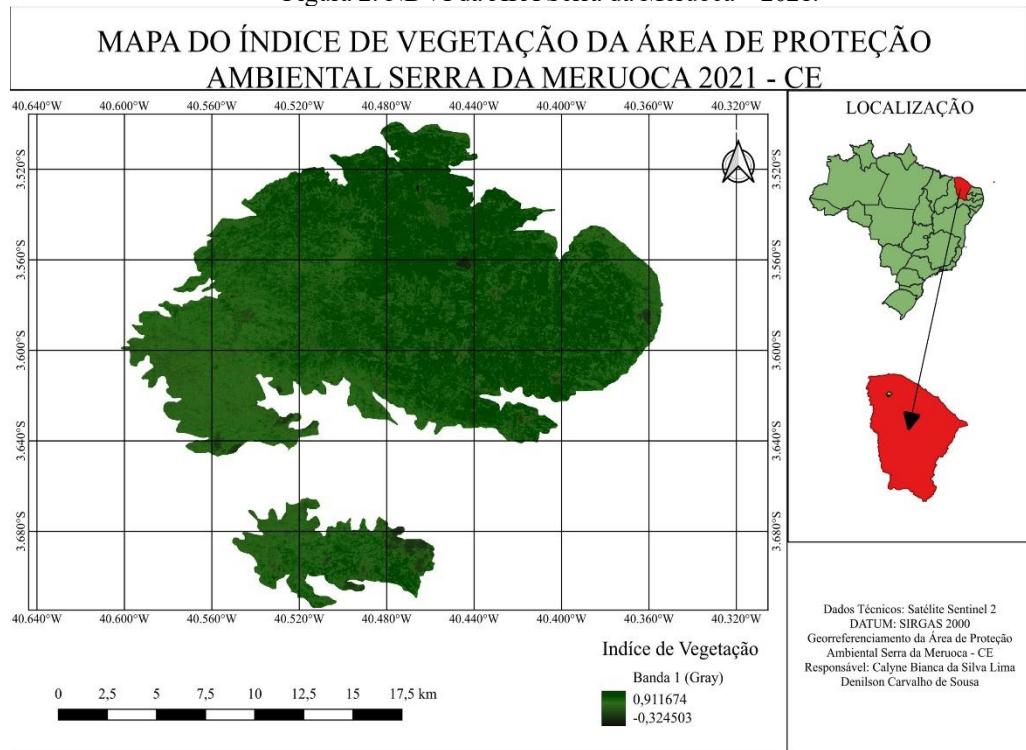
As características do solo que podem ter influenciado variações no vigor vegetativo foram examinadas com base em Silva, Figueiredo e Souza (2024). A interação das comunidades locais com a vegetação foi considerada conforme discutido por Silva et al. (2024). Por fim, o potencial tecnológico do Sentinel-2 na detecção de mudanças ambientais foi apoiado nas conclusões apresentadas por Tamasauskas et al. (2024).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 CONDIÇÃO DA VEGETAÇÃO EM 2021

Os valores de NDVI obtidos para 2021 indicaram predominância de vegetação mais densa nas áreas de maior altitude, o que pode ser observado na Figura 2, que apresenta o mapa temático correspondente a esse ano. Esse comportamento está alinhado com a análise de Nascimento, Pinheiro e Sousa (2016), que destacaram o papel dos microclimas serranos na manutenção de vegetação mais vigorosa. A resposta espectral observada também condiz com os padrões de vegetação saudável discutidos por Silva Júnior et al. (2021).

Figura 2. NDVI da APA Serra da Meruoca – 2021.

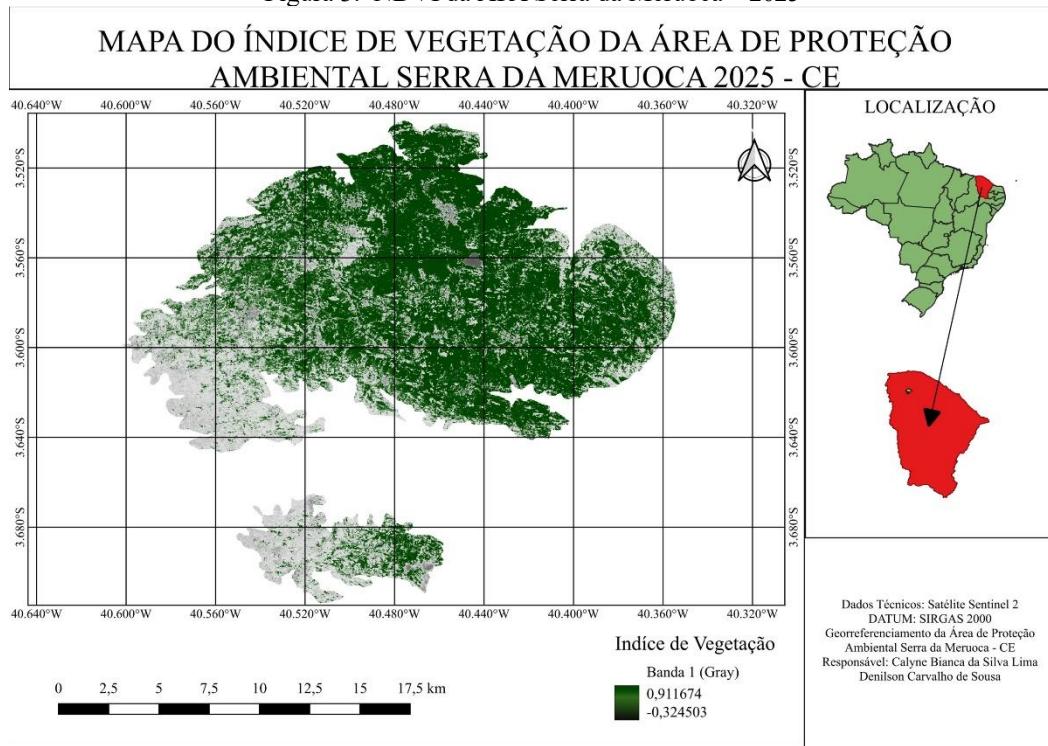


Fonte: Lima et al. (2025)

3.2 CONDIÇÃO DA VEGETAÇÃO NO PRIMEIRO SEMESTRE DE 2025

Em 2025, A distribuição dos valores de NDVI evidencia ampliação das áreas com vegetação rala e redução de regiões densamente vegetadas. Essa alteração é visualmente perceptível na Figura 3, que demonstra o comportamento do índice naquele ano. Essa mudança sugere uma possível redução no vigor da vegetação durante esse período. Parte dessa variação pode estar relacionada à limitação dos solos rasos, que possuem baixa capacidade de retenção hídrica, como discutido por Silva, Figueiredo e Souza (2024). A variação climática regional também pode ter influenciado a redução de vegetação densa, considerando que oscilações atmosféricas podem impactar diretamente o nível de umidade disponível na serra, conforme apontado por Nascimento, Pinheiro e Sousa (2016).

Figura 3. NDVI da APA Serra da Meruoca – 2025



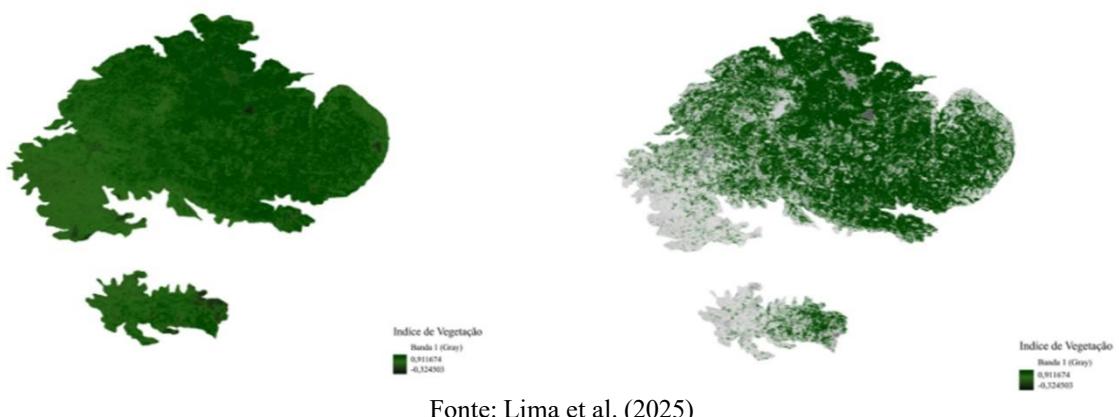
Fonte: Lima et al. (2025)

A interação humana com a vegetação, embora não predominante, pode exercer influência em algumas áreas. As práticas de coleta de espécies nativas descritas por Silva et al. (2024) podem, dependendo da intensidade, contribuir para alteração dos padrões vegetativos.

3.3 INTERPRETAÇÃO GERAL DAS MUDANÇAS

A variação temporal observada confirma que o NDVI é capaz de detectar alterações no vigor da vegetação ao longo do período analisado. Essa aplicabilidade é reforçada pelas observações de Silva Júnior et al. (2021), que destacaram a eficiência do índice para detectar mudanças mesmo em curtos intervalos temporais. A presença de declínio vegetativo em determinadas áreas também se aproxima de padrões identificados em regiões semiáridas, como discutido por Tôrres Silveira et al. (2022), que demonstram a forte influência da sazonalidade em mudanças no índice. A comparação entre os dois períodos analisados evidencia uma tendência de redução do vigor vegetativo em 2025 em relação a 2021. Essa diferença pode ser observada de forma integrada na Figura 4, que apresenta os dois mapas lado a lado.

Figura 4. Comparação espacial do NDVI entre 2021 e 2025 na APA Serra da Meruoca



Fonte: Lima et al. (2025)

3.4 RELEVÂNCIA TECNOLÓGICA E PERSPECTIVAS

A análise demonstrou que o Sentinel-2 é adequado para identificar variações sutis na cobertura vegetal da APA. Essa eficiência encontra respaldo no estudo de Tamasauskas et al. (2024), que evidenciaram o potencial tecnológico desse satélite para detecção de degradação ambiental. Tais avanços sugerem que futuros estudos podem incorporar métodos mais refinados, como redes neurais ou séries temporais mais amplas, visando maior compreensão da dinâmica ecológica da região.

4 CONCLUSÃO

A análise espaço-temporal do NDVI revelou tendência de redução do vigor vegetativo na APA Serra da Meruoca entre 2021 e 2025. Observou-se diminuição das áreas de vegetação densa e expansão das regiões com vegetação rala, indicando mudanças ambientais significativas no período analisado. A interpretação dos resultados mostra que fatores como clima, solo e práticas socioculturais locais desempenham papéis importantes na variação do índice. A capacidade do NDVI em captar essas mudanças confirma sua utilidade como ferramenta de monitoramento ambiental enquanto o uso de imagens Sentinel-2 reforça a importância das geotecnologias para compreender paisagens complexas, como a da serra.

Sugere-se que estudos futuros considerem séries temporais maiores, integração com variáveis meteorológicas e o uso de técnicas de inteligência artificial, ampliando a precisão e aplicabilidade das análises ambientais.



REFERÊNCIAS

NASCIMENTO, E. B.; PINHEIRO, J. A. S.; SOUSA, F. J. A. Análise climática e biogeográfica da Serra do Rosário, Maciço Residual da Serra da Meruoca, Sobral, Ceará. *Revista Homem, Espaço e Tempo*, 2016. DOI: 10.21680/2447-3359.2016v2n0ID10516.

SILVA, A. F. B.; FIGUEIREDO, M. F.; SOUZA, E. B. Os solos no contexto da paisagem da Serra da Meruoca, Ceará, Brasil. Zenodo, 2024. DOI: 10.5281/zenodo.12676617.

SILVA JÚNIOR, U. J. et al. Sensibilidade espectral dos índices de vegetação: GNDVI, NDVI e EVI na mata ciliar do reservatório de Serrinha II – PE, Brasil. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 73, n. 1, p. 17–35, 2021. DOI: 10.14393/rbcv73n1-55252.

SILVA, M. L. S. et al. Ethnobotany and non-formal education: building a teaching collection of native species used by the community of São Gonçalo – Meruoca – Ceará. 2024.

TAMASAUSKAS, L. O. et al. Aplicação e otimização de redes neurais convolucionais para detecção de desmatamento em imagens de satélite Sentinel-2. *Anais ERIN*, 2024. DOI: 10.5753/erin.2024.4536.

TÔRRES SILVEIRA, N. et al. Aplicação do NDVI para análise espaço-temporal da Bacia Hidrográfica do Rio Terra Nova – PE. *Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto*, v. 3, n. 3, 2022.