



Serviço Público Federal
Ministério da Educação

Fundação Universidade Federal de Mato Grosso do Sul



FACULDADE DE ENGENHARIAS, ARQUITETURA E URBANISMO E GEOGRAFIA
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

MARIA CLARA FRANCO SCHUSTER

**ANÁLISE MULTITEMPORAL DA COBERTURA VEGETAL NA ESEC SERRA DAS
ARARAS (MT) UTILIZANDO O ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA
NORMALIZADA (1986 – 2025)**

CAMPO GRANDE - MS

2026

MARIA CLARA FRANCO SCHUSTER

**ANÁLISE MULTITEMPORAL DA COBERTURA VEGETAL NA ESEC SERRA DAS
ARARAS (MT) UTILIZANDO O ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA
NORMALIZADA (1986 – 2025)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Antonio Conceição Paranhos Filho

CAMPO GRANDE - MS

2026

SUMÁRIO

SUMÁRIO	3
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....	4
RESUMO	5
ABSTRACT	6
1. INTRODUÇÃO.....	6
1.1 Objetivo Geral	6
1.2 Objetivos Específicos.....	7
2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	8
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	10
3.1 Obtenção e Seleção das Imagens de Satélite.....	10
3.2 Composição Falsa Cor.....	10
3.3 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada.....	11
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
4.1 Dinâmica de Cobertura Vegetal no Interior da Unidade de Conservação.....	17
5. CONCLUSÃO	19
6. REFERÊNCIAS	20

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas

ESEC/EE Estação Ecológica

GRASS GIS Geographic Resources Analysis Support System

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

ICMBio Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade

IPBES Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services

IV Infravermelho Próximo

MT Mato Grosso

NDVI Normalized Difference Vegetation Index (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada)

OLI Operational Land Imager

QGIS Quantum Geographic Information System

RGB Red, Green, Blue (Sistema de cores Vermelho, Verde e Azul)

SIG Sistema de Informação Geográfica

SNUC Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza

TM Thematic Mapper

UNESCO Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura

USGS United States Geological Survey

VM Vermelho

ZA Zona de Amortecimento

RESUMO

As Unidades de Conservação são grandes alicerces da preservação in situ da biodiversidade, e, portanto, essenciais para a manutenção dos serviços ecossistêmicos (MEDEIROS; YOUNG, 2011; IPBES, 2019). Conforme fundamentado na Lei Federal nº 9.985/2000 (SNUC), Art. 9º, as Estações Ecológicas são Unidades de Conservação destinadas à preservação da natureza e à realização de pesquisas científicas, sendo vedada a visitação pública sem finalidade educacional (BRASIL, 2000). Sob essa prerrogativa, a Estação Ecológica Serra das Araras contribui para a manutenção da integridade ecológica do Cerrado (ICMBio, 2016). O presente estudo analisou a dinâmica temporal da cobertura vegetal na Estação Ecológica Serra das Araras, Mato Grosso, entre os anos de 1986 e 2025, incluindo avaliação comparativa entre a Zona de Amortecimento e o interior da Unidade de Conservação. A metodologia baseou-se no processamento digital de imagens dos satélites Landsat 5, referentes ao ano de 1986 (USGS, 1986), e Landsat 8, referentes ao ano de 2025 (USGS, 2025), com a aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (ROUSE et al., 1973). A partir desse procedimento, foram geradas cartas de cobertura vegetal da área da unidade de conservação e de seu entorno, em ambiente de Sistema de Informações Geográficas (SIG), por meio do software QGIS (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2024). Os resultados obtidos revelam alterações significativas na paisagem, principalmente na Zona de Amortecimento, onde a Vegetação Densa sofreu retração, declinando de 36,28% para 14,57% da área total. Concomitantemente, observou-se expansão expressiva da classe Vegetação Rasteira, que passou a representar 54,81% da paisagem em 2025, além do aumento de 16,87% das áreas de Solo Exposto. A análise individualizada do interior da Unidade de Conservação demonstrou comportamento distinto, com retração menos intensa da Vegetação Densa e redução das áreas classificadas como Solo Exposto, indicando maior estabilidade ecológica quando comparada ao entorno. A diminuição expressiva da mata densa na Zona de Amortecimento, aliada à fragmentação da cobertura vegetal, evidencia a intensificação das pressões antrópicas no entorno da unidade. Entretanto, os resultados indicam que, apesar das perdas registradas, o núcleo da Estação Ecológica ainda mantém parcelas significativas de cobertura arbórea, sugerindo que a unidade tem cumprido, de forma relativa, sua função de proteção ambiental frente às transformações ocorridas em seu entorno. O estudo reforça a relevância do uso integrado de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento como ferramentas acessíveis e eficientes para o monitoramento ambiental em séries temporais, subsidiando ações de conservação e tomada de decisão.

Palavras chave: Geoprocessamento; Sensoriamento remoto; NDVI; Conservação ambiental

ABSTRACT

Conservation Units are major pillars of in situ biodiversity preservation and, therefore, essential for the maintenance of ecosystem services (MEDEIROS; YOUNG, 2011; IPBES, 2019). According to Federal Law No. 9,985/2000 (SNUC), Art. 9, Ecological Stations are Conservation Units aimed at nature preservation and scientific research, where public visitation is prohibited except for educational purposes (BRASIL, 2000). Under this prerogative, the Serra das Araras Ecological Station contributes to the maintenance of the ecological integrity of the Cerrado (ICMBio, 2016). The present study analyzed the temporal dynamics of vegetation cover in the Serra das Araras Ecological Station, Mato Grosso, between 1986 and 2025, including a comparative evaluation between the Buffer Zone and the interior of the Conservation Unit. The methodology was based on the digital processing of images from the Landsat 5 satellite, referring to the year 1986 (USGS, 1986), and Landsat 8, referring to the year 2025 (USGS, 2025), with the application of the Normalized Difference Vegetation Index (ROUSE et al., 1973). From this procedure, vegetation cover maps of the conservation unit area and its surroundings were generated in a Geographic Information System (GIS) environment using the QGIS software (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2024). The results reveal significant changes in the landscape, mainly in the Buffer Zone, where Dense Vegetation underwent retraction, declining from 36.28% to 14.57% of the total area. Concurrently, an expressive expansion of the Grassland class was observed, which came to represent 54.81% of the landscape in 2025, in addition to a 16.87% increase in Exposed Soil areas. The individualized analysis of the interior of the Conservation Unit demonstrated a distinct behavior, with a less intense retraction of Dense Vegetation and a reduction in areas classified as Exposed Soil, indicating greater ecological stability when compared to the surroundings. The significant decrease in dense forest in the Buffer Zone, combined with the fragmentation of vegetation cover, highlights the intensification of anthropogenic pressures around the unit. However, the results indicate that, despite the recorded losses, the core of the Ecological Station still maintains significant portions of tree cover, suggesting that the unit has relatively fulfilled its environmental protection function in the face of the transformations occurring in its surroundings. The study reinforces the relevance of the integrated use of remote sensing and geoprocessing techniques as accessible and efficient tools for environmental monitoring in time series, supporting conservation actions and decision-making.

Keywords: Geoprocessing; Remote sensing; NDVI; Environmental conservation

1. INTRODUÇÃO

As Unidades de Conservação constituem-se como importantes mecanismos de preservação *in situ* da biodiversidade, uma vez que são áreas cruciais para a manutenção da integridade de espécies, populações e ecossistemas (MEDEIROS; YOUNG, 2011). Com base no relatório global do IPBES (2019), as Unidades de Conservação foram reconhecidas como a abordagem principal para conter a perda acelerada de biodiversidade, tendo demonstrado eficácia na redução das taxas de extinção de espécies e na manutenção de serviços ecossistêmicos vitais.

Conforme fundamentado na Lei Federal nº 9.985/2000 (SNUC), Art. 9º, as Estações Ecológicas são Unidades de Conservação destinadas à preservação da natureza e à realização de pesquisas científicas, sendo vedada a visitação pública sem finalidade educacional (BRASIL, 2000). Sob essa prerrogativa, a Estação Ecológica Serra das Araras contribui para a manutenção da integridade ecológica do Cerrado (ICMBio, 2016).

A Estação Ecológica Serra das Araras abriga distintas fisionomias do Cerrado, onde predominam fitofisionomias de Cerrado *sensu stricto*, além de formações campestres e florestais que apresentam respostas ecológicas distintas a eventos de perturbação (ICMBio, 2021). A unidade comporta tanto ecossistemas dependentes do fogo, que necessitam de regimes específicos para a manutenção de sua biodiversidade e renovação da biomassa, quanto ecossistemas sensíveis, nos quais a ocorrência de incêndios severos resulta em perda drástica de cobertura vegetal e degradação ambiental (ICMBio, 2021).

Estudos que utilizam séries temporais de índices de vegetação, mostram que o NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada), obtido a partir de dados de sensoriamento remoto, é uma ferramenta eficiente para caracterizar e monitorar variações na cobertura vegetal em biomas com grande heterogeneidade fisionômica, como o Cerrado, pois permite distinguir áreas com diferentes níveis de atividade fotossintética e acompanhar mudanças ao longo do tempo (BECERRA; SHIMABUKURO; ALVALÁ, 2021).

1.1 Objetivo Geral

Realizar uma análise multitemporal da dinâmica da cobertura vegetal na Estação Ecológica Serra das Araras (MT), no período compreendido entre 1986 e 2025, utilizando o NDVI derivado de sensores orbitais da série Landsat.

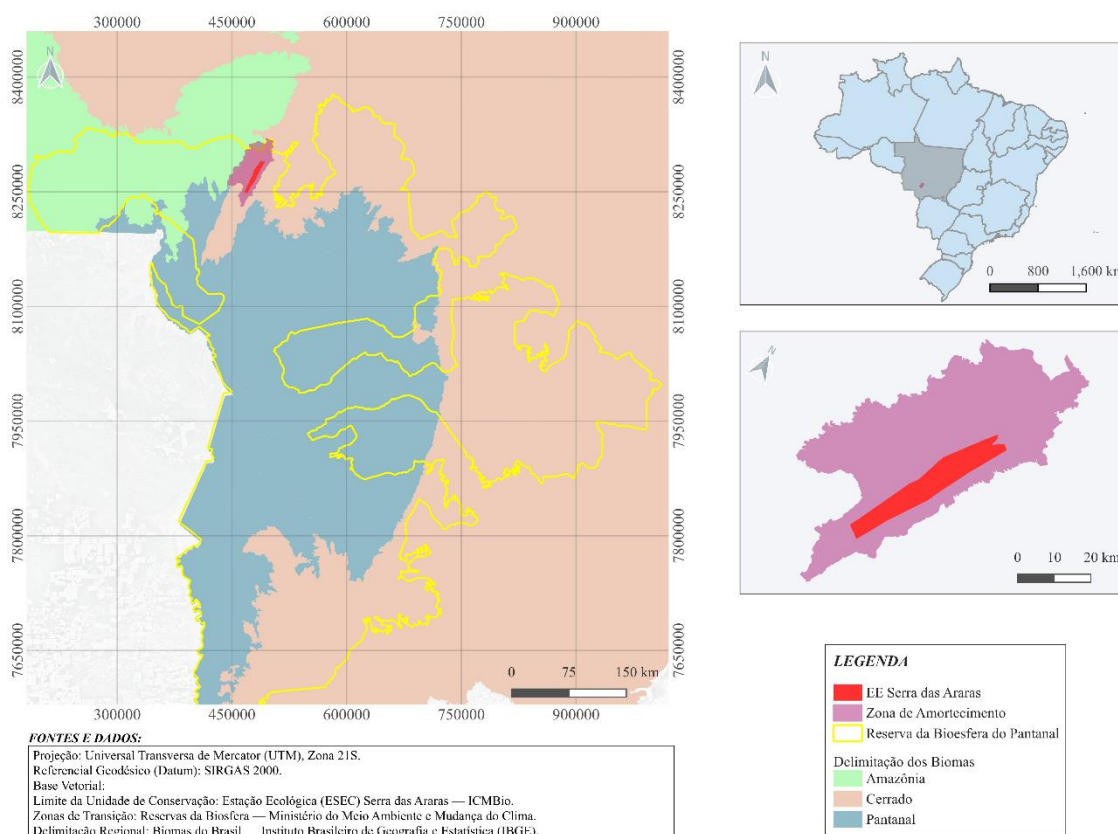
1.2 Objetivos Específicos

- Adquirir e processar imagens de satélite dos sensores TM (Landsat 5) e OLI (Landsat 8) referentes aos anos de 1986, e 2024/2025;
- Calcular o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para cada recorte temporal, estabelecendo classes de densidade de vegetação para a área de estudo;
- Quantificar as alterações nas áreas de cobertura vegetal arboreo-arbustiva, rasteira e solo exposto, correlacionando os dados obtidos com o histórico de conservação da unidade;
- Identificar variações na biomassa e padrões de regeneração ou degradação ambiental;
- Gerar mapas temáticos de variação temporal que contribuam para a avaliação da resiliência ecológica da ESEC.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Estação Ecológica Serra das Araras foi criada através do Decreto Federal nº 87.222 de 31 de maio de 1982, e está contextualizada no Sudeste do Estado de Mato Grosso, quase que integralmente (97,07%) no Município de Porto Estrela, com uma pequena parcela (2,93%) no Município de Cáceres (ICMBio, 2016). Com uma área de 27.159,71 hectares, a ESEC assume importância internacional, isso porque está inserida na faixa de fronteira do Brasil com a Bolívia, situando-se a cerca de 120 km da divisa entre os países (ICMBio, 2016). Para além disso, a unidade é considerada uma zona núcleo da Reserva da Biosfera do Pantanal, pela Organização das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Cultura (UNESCO), uma vez que a Serra das Araras é substancial para a conservação dos cursos de água formadores da Bacia do Alto Paraguai (ICMBio, 2016). A relevância de sua localização, bem como sua inserção nos domínios biogeográficos regionais podem ser observadas no mapa de localização apresentado na Figura 1.

Figura 1 - Mapa de localização da Estação Ecológica Serra das Araras.



A ESEC Serra das Araras encontra-se fisicamente isolada de suas demais áreas de entorno, destacando-se ao apresentar relevos e altitudes descaracterizados em relação às suas adjacências. (ICMBio, 2016). Tal disparidade está associada à sua morfologia, uma vez que sua

unidade geomorfológica predominante é a Província Serrana, definida como um extenso domínio de relevos residuais que funciona como interflúvio preferencial entre as bacias hidrográficas Amazônica e do Paraná. Essa unidade caracteriza-se por uma morfologia de cristas assimétricas, morros isolados e serras alongadas sustentadas majoritariamente por arenitos e calcários. Fisicamente, estende-se por cerca de 400 km de comprimento e 40 km de largura, apresentando estruturas dobradas preservadas (ROSS, 1991).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Em primeira etapa, definiu-se a área destinada ao estudo. Para tanto, os limites oficiais da Estação Ecológica Serra das Araras foram obtidos por meio de arquivos vetoriais disponibilizados pelo Catálogo de Dados Geográficos do Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio, 2016).

A delimitação da Zona de Amortecimento, por sua vez, foi efetuada a partir das diretrizes do Plano de Manejo da unidade, a largura considerada foi de 30,62 km, e comprimento de 94,48 km, resultando em uma área de 2233,35 km². De acordo com o Plano de Manejo, a delimitação da Zona de Amortecimento considerou critérios operacionais, ecológicos e de conectividade ambiental, conforme descrito a seguir:

Nas regiões Norte e Sul, ocorreu a inclusão de território onde é possível fazer o combate a incêndio, [...] região denominada como 'caminho do fogo'. Na região leste inclui o Rio Jauquara, [...] importante barreira natural para o controle de incêndios e corredor de fauna. No limite oeste foi incluída a Bacia do Rio Salobro em função da conectividade hídrica [...] garantindo a segurança alimentar da população do entorno. Cabe destacar que o limite da ZA foi estendido nessa região também considerando o formato da UC, [...] para atender ao efeito de borda. A zona de amortecimento considerou uma conformação e área que 'cumpra com seus objetivos e que seja possível de se gerir com a realidade que vigora atualmente' (ICMBio, 2016, p. 155).

3.1 Obtenção e Seleção das Imagens de Satélite

Os dados orbitais foram adquiridos na plataforma EarthExplorer do United States Geological Survey (USGS), utilizando imagens dos satélites Landsat 5 e Landsat 8. A seleção das imagens priorizou o período de seca, de forma a evidenciar a diferença entre a vegetação saudável, as áreas degradadas e as áreas com pouca cobertura vegetal.

As imagens selecionadas compreendem os seguintes intervalos:

- Landsat 5 (Sensor TM): Cenas de 01 de outubro de 1986 (USGS,1986).
- Landsat 8 (Sensor OLI): Cenas de 26 de setembro de 2025 (USGS,2025).

3.2 Composição Falsa Cor

A visualização das cenas orbitais foi realizada por meio de composições coloridas em falsa cor, as quais se caracterizam pela atribuição de bandas espectrais que não correspondem à faixa do visível aos canais RGB, resultando em uma representação cromática distinta da percepção humana natural (GONÇALVES, 2023). Nesse tipo de composição, bandas sensíveis ao infravermelho próximo podem ser combinadas com bandas do espectro visível, de modo que a imagem sintética gerada enfatiza alvos com respostas espectrais específicas, como a vegetação, independentemente de sua coloração aparente no campo (GONÇALVES, 2023). O

objetivo desta etapa foi maximizar o contraste entre a vegetação fotossinteticamente ativa e os demais alvos da superfície, facilitando a interpretação visual preliminar da Estação Ecológica.

Para garantir a comparabilidade entre os sensores, as composições foram estruturadas da seguinte forma:

- Landsat 5 (TM): Utilizou-se a combinação das bandas 4 (NIR), 5 (Red) e 3 (Green) nos canais R, G e B.
- Landsat 8 (OLI): Aplicou-se a combinação das bandas 5 (NIR), 4 (Red) e 6 (Green).

3.3 Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

A estimativa da biomassa e do vigor vegetativo na área de estudo foi realizada por meio da aplicação de índices de vegetação, que consistem em combinações aritméticas de bandas espectrais destinadas a gerar um valor numérico indicativo da densidade vegetal (GUIMARÃES, 2024). A metodologia fundamenta-se na relação inversa de reflectância da vegetação viva nas regiões do visível e do infravermelho: a clorofila absorve entre 80% e 90% da luz na banda do vermelho (R - Red), enquanto a estrutura do mesófilo foliar reflete de 40% a 50% da radiação no infravermelho próximo (NIR – Near Infrared) (GUIMARÃES, 2024).

Dessa forma, a razão espectral entre essas faixas permite realçar o contraste entre alvos vegetados e superfícies não vegetadas, cujas respostas espectrais não apresentam esse comportamento distintivo, resultando em razões de menor magnitude (GUIMARÃES, 2024).

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), desenvolvido por Rouse et al. (1973), é utilizado para produzir um IV espectral que separa vegetação verde do brilho do solo de fundo (GUIMARÃES, 2024). O cálculo é definido pela seguinte equação:

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

Em que:

- NDVI: índice de vegetação por diferença normalizada;
- NIR: banda do infravermelho próximo;
- R: banda do vermelho.

"O NDVI foi introduzido para produzir um IV espectral que separa vegetação verde do brilho do solo de fundo, utilizando, primeiramente, dados digitais do satélite Landsat MSS. Esse é o índice de vegetação mais comumente empregado que minimiza efeitos topográficos. Possui a propriedade de variar entre -1 e +1, sendo que, quanto mais próximo de 1, maior a densidade de cobertura vegetal. O zero representa

valor aproximado para ausência de vegetação, ou seja, superfícies não vegetadas" (GUIMARÃES, 2024, Capítulo 15.1).

O processamento digital consistiu na identificação e seleção das bandas espectrais do Vermelho (R) e do Infravermelho Próximo (NIR) para cada sensor. No Landsat 5, utilizaram-se as bandas 3 (R) e 4 (NIR); já no Landsat 8, foram selecionadas as bandas 4 (R) e 5 (NIR). O índice foi gerado por meio da ferramenta Calculadora Raster no QGIS (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2024)., aplicando-se a álgebra de mapas baseada na equação de Rouse et al. (1973). Este procedimento permitiu converter os dados orbitais em um indicador espectral que separa a vegetação verde do brilho do solo de fundo. O produto final consistiu em um raster de NDVI, empregado como base para a análise comparativa da cobertura vegetal entre os períodos avaliados.

Após a geração dos índices, os arquivos do tipo raster foram submetidos ao processo de reclassificação no QGIS, visando converter os valores contínuos de NDVI em classes qualitativas de cobertura vegetal. Utilizou-se a ferramenta Reclassificar por Tabela, definindo-se intervalos numéricos para distinguir entre superfícies não vegetadas, vegetação esparsa e formações densas.

Tabela 1 - Intervalos de NDVI e classes de cobertura vegetal definidas para a ESEC Serra das Araras em 2025.

Intervalo de NDVI	Classe da Cobertura	Descrição
-1 a 0	Corpos de Água	Rios, lagos, lagoas e reservatórios.
0 a 0,18	Solo Exposto	Estradas de terra, solo preparado para plantio e áreas queimadas.
0,18 a 0,26	Campo Sujo/Limpo	Áreas de gramíneas com baixo vigor vegetativo e cobertura rasteira descontínua, apresentando solo exposto aparente.
0,26 a 0,32	Vegetação Secundária	Áreas de cobertura vegetal contínua e densa, sem solo exposto. Inclui formações arbustivas, vegetação em regeneração e cultivos agrícolas.
0,32 a 1	Vegetação Densa	Matas de galeria, cerradão e áreas de copa das árvores fechada.

Tabela 2 - Intervalos de NDVI e classes de cobertura vegetal definidas para a ESEC Serra das Araras em 1986.

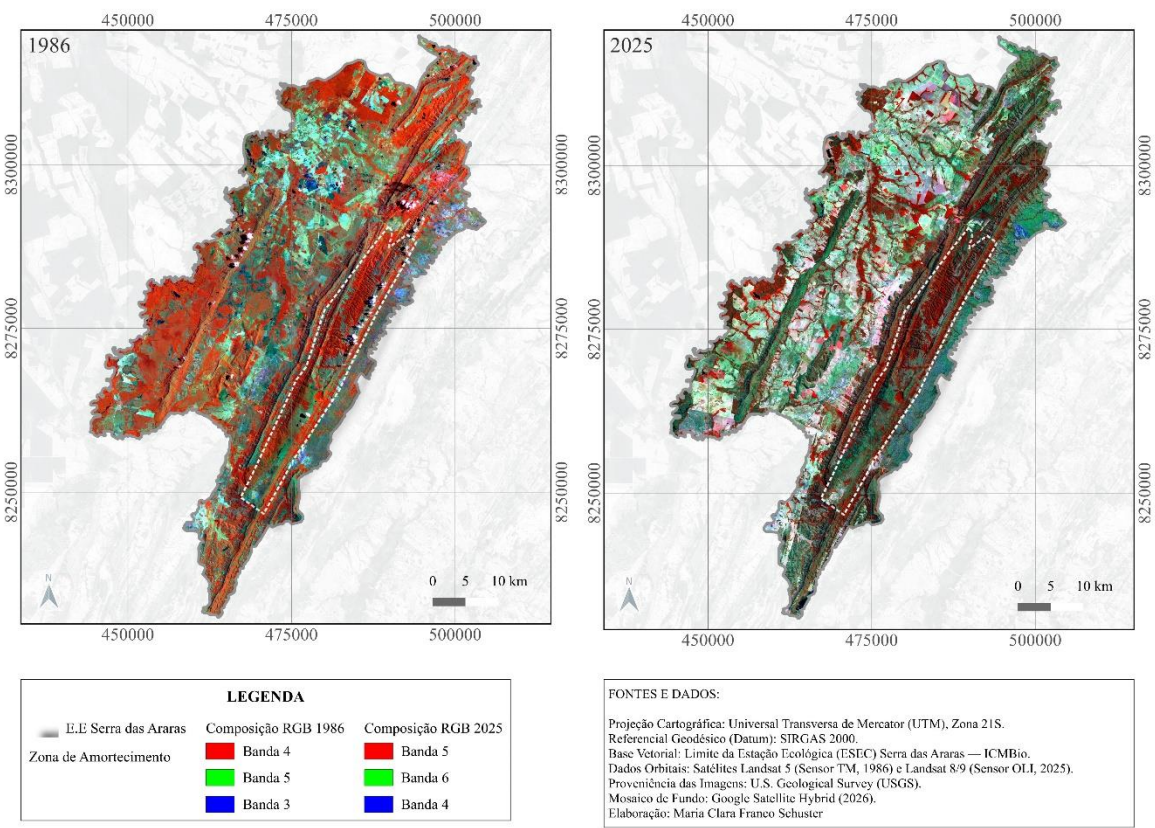
Intervalo de NDVI	Classe da Cobertura	Descrição
-1 a 0	Corpos de Água	Rios, lagos, lagoas e reservatórios.
0 a 0,19	Solo Exposto	Estradas de terra, solo preparado para plantio e áreas queimadas.
0,19 a 0,34	Campo Sujo/Limpo	Áreas de gramíneas com baixo vigor vegetativo e cobertura rasteira descontínua, apresentando solo exposto aparente.
0,34 a 0,50	Vegetação Secundária	Áreas de cobertura vegetal contínua e densa, sem solo exposto. Inclui formações arbustivas, vegetação em regeneração e cultivos agrícolas.
0,50 a 1	Vegetação Densa	Matas de galeria, cerradão e áreas de copa das árvores fechada.

A quantificação das áreas correspondentes a cada classe foi realizada através do comando `r.report` no GRASS GIS (GRASS DEVELOPMENT TEAM, 2024). A ferramenta processa a matriz de pixels da classificação para gerar relatórios estatísticos precisos, convertendo a contagem de células em valores de superfície, em hectares ou quilômetros quadrados (NETELER; MITASOVA, 2008).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Por meio das composições coloridas de 1986 e 2025, foi possível constatar, com nitidez, alterações nas fitofisionomias da Zona de Amortecimento. Em 1986, existia uma predominância do vermelho intenso, indicativo de cobertura vegetal densa e preservada. Em contrapartida, a imagem de 2025 evidencia um processo agudo de intervenção antrópica, caracterizado pela redução dos tons de vermelho e verde escuro, em favor do aumento de áreas ciano e verde claro, que por sua vez, representam a conversão da floresta em solo exposto, áreas de pastagem, agricultura e núcleos de urbanização, como pode ser observado na Figura 2.

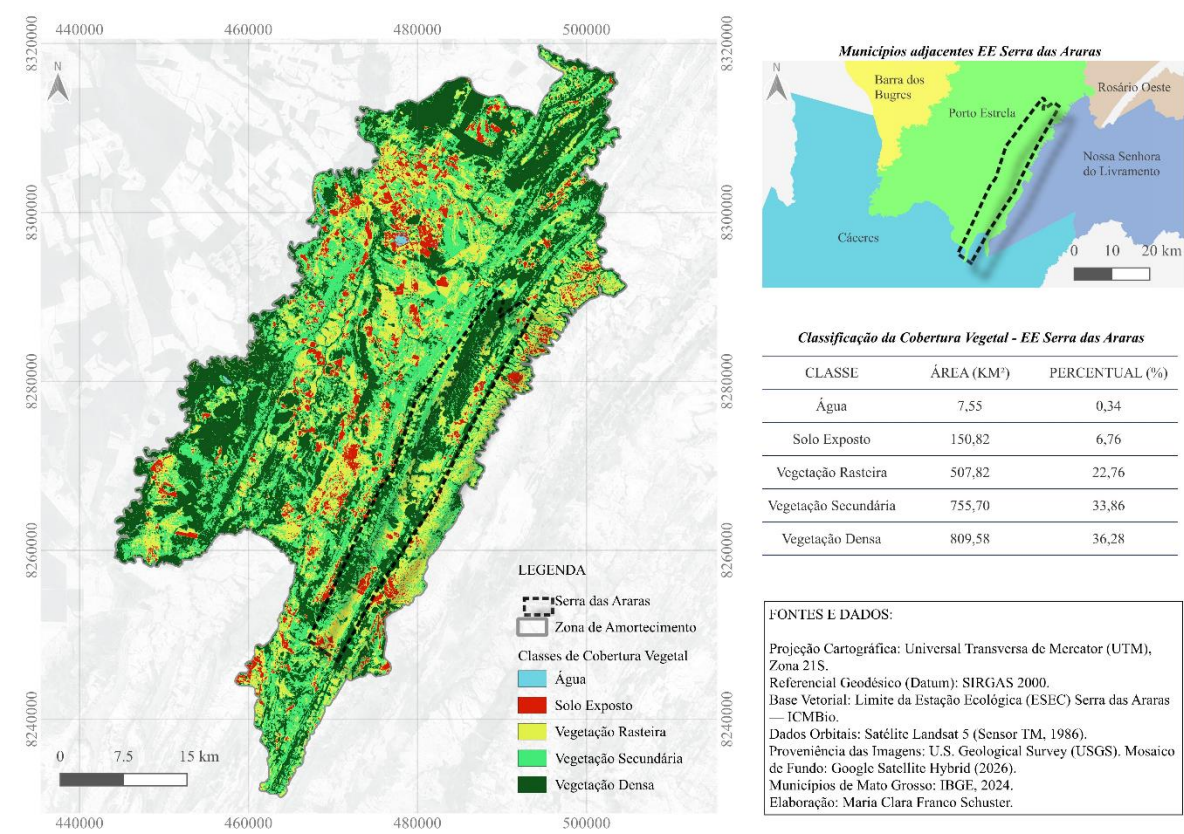
Figura 2 - Comparativo de composições coloridas em falsa cor da Estação Ecológica Serra das Araras (MT) para os anos de 1986 e 2025.



Através do NDVI, foi possível validar e quantificar, em área, as transformações ocorridas na cobertura vegetal da Estação Ecológica Serra das Araras entre 1986 e 2025. Os dados revelam que a Classe 5, representativa da vegetação densa e preservada, sofreu uma retração severa, declinando de 36,28% para 14,57% da área total. Por outro lado, observou-se uma expansão expressiva da Classe 3, que passou a ser a categoria dominante na paisagem, saltando de 22,76% em 1986 para 54,81% em 2025. Esse incremento de mais de 32% sugere a conversão de matas contínuas em áreas de vegetação rasteira ou pastagem, corroborando com o processo de intervenção antrópica identificado nas composições coloridas.

As Figuras 3 e 4 apresentam o mapeamento temático resultante da classificação supervisionada para os anos de 1986 e 2025, respectivamente.

Figura 3 - Mapa de cobertura vegetal da Estação Ecológica Serra das Araras (MT) e zona de amortecimento, no ano de 1986.

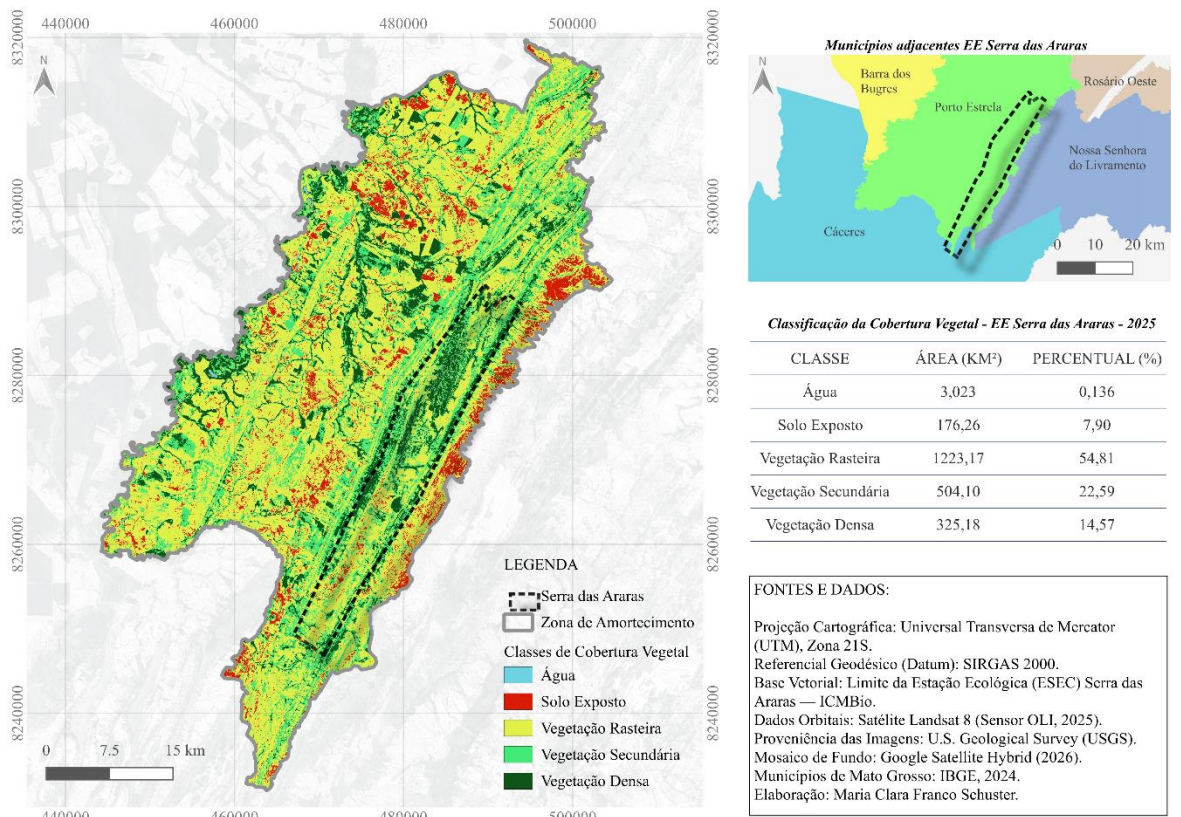


O mapa de 1986 revela uma paisagem com alto grau de integridade ecológica. A característica mais marcante deste período é a dominância da Classe 5, que cobre 36,28% da área analisada. Esta classe aparece como grandes blocos contínuos de verde escuro, indicando uma cobertura florestal densa e pouco fragmentada.

A Classe 4 e a Classe 3, que circundam as áreas de mata densa, atuam como zonas de transição natural. Somadas à Classe 5, as formas de vegetação nativa com diferentes níveis de biomassa compunham mais de 90% da região, denotando que a pressão antrópica era significativamente menor quatro décadas atrás.

Já o solo exposto, representado pela Classe 2, compunha apenas 6,76% do território, concentrados prioritariamente fora dos limites da ESEC, ainda que dentro da Zona de Amortecimento.

Figura 4 - Mapa de cobertura vegetal da Estação Ecológica Serra das Araras (MT) e zona de amortecimento, no ano de 2025.



A característica visual mais marcante identificada na Figura 4 é a inversão da matriz de cobertura. A Classe 3, que anteriormente pouco abrangia de forma representativa a ESEC, tornou-se a classe dominante, ocupando agora 54,81% da área total.

Em contrapartida, a Vegetação Densa passa por um processo severo de redução e fragmentação. O que eram blocos contínuos de verde escuro em 1986, agora representam apenas 14,57% da Zona de Amortecimento.

A retração de 59,95% da Classe 1 (Corpos de Água), não pode ser interpretada de forma precisa, uma vez que, a imagem de 1986 apresentava maior incidência de nebulosidade e sombras projetadas. Como é de comum comportamento do NDVI atribuir valores baixos a esses ruídos, é provável que a área originalmente representada por corpos de água tenha sido superestimada, indicando que a redução observada pode estar mais associada à melhor qualidade radiométrica da imagem de 2025 do que a um processo real de perda hídrica, não sendo, portanto, possível avaliar de forma justa, se houve de fato uma diminuição significativa.

Tabela 3 - Balanço comparativo de áreas (Km²) e representatividade percentual (%) das classes de cobertura vegetal entre os anos de 1986 e 2025.

Classe	Descrição	Área em 1986 (Km ²)	Área em 2025 (Km ²)	Variação (Km ²)	Variação (%)
1	Corpos de Água	7,55	3,02	- 4,53	- 59,95
2	Solo Exposto	150,82	176,26	+ 25,44	+ 16,87
3	Vegetação Rasteira	507,92	1223,17	+ 715,25	+ 140,82
4	Vegetação Secundária	755,70	504,10	- 251,60	- 33,29
5	Vegetação Densa	809,58	325,18	- 484,56	- 59,85

A análise comparativa entre 1986 e 2025 revela uma profunda alteração na paisagem da Serra das Araras. O dado mais significativo, a ser interpretado de forma crítica, é a expansão da Classe 3, que ganhou 715,25 km² tornando-se dominante com 54,81% da área total em 2025. A Classe 3 é representativa de áreas com baixo vigor vegetativo, associadas, principalmente a solo exposto e baixa cobertura vegetal. A troca, portanto, de áreas que antes eram ocupadas pelas Classes 4 e 5, por áreas de Classe 3 pode indicar aumento da vulnerabilidade a processos de erosão.

Em contrapartida à expansão das áreas antropizadas, a Vegetação Densa sofreu uma retração severa de quase 60% de sua extensão original, declinando de 36,28% para apenas 14,57% da área total.

4.1 Dinâmica de Cobertura Vegetal no Interior da Unidade de Conservação

A fim de aprofundar a análise e avaliar de forma isolada o comportamento da cobertura vegetal no interior da unidade de conservação, procedeu-se à extração estatística exclusivamente do polígono correspondente à Estação Ecológica Serra das Araras, desconsiderando, portanto, a Zona de Amortecimento. Os resultados obtidos encontram-se sistematizados na Tabela 4.

Tabela 4 – Balanço comparativo das classes de cobertura vegetal no interior da Estação Ecológica Serra das Araras entre 1986 e 2025.

Classe	Descrição	Área em 1986 (Km ²)	Área em 2025 (Km ²)	Variação (Km ²)	Variação (%)
1	Corpos de Água	0,165	0,001	-0,164	-99,39
2	Solo Exposto	10,92	4,91	-6,01	-55,04
3	Vegetação Rasteira	56,73	108,71	+ 51,98	+ 91,63
4	Vegetação Secundária	89,39	91,46	+ 2,07	+ 2,32
5	Vegetação Densa	114,39	66,505	- 47,88	- 41,86

A análise dos dados apresentados na Tabela 4 torna evidente que o interior da Estação Ecológica representa um contexto distinto daquele observado na Zona de Amortecimento. A classe Vegetação Densa, embora tenha registrado retração de 41,86%, manteve sua representatividade na paisagem interna, indicando que, apesar das perdas, o núcleo da unidade ainda preserva parcelas significativas de cobertura arbórea.

A expansão da classe Vegetação Rasteira, que apresentou incremento de 91,63%, sugere alterações na estrutura da vegetação, possivelmente associadas a processos de regeneração secundária, dinâmicas naturais do Cerrado ou influência de regimes de fogo, e não necessariamente a conversões antrópicas, como observado no entorno.

Destaca-se ainda, a redução de 55,04% das áreas classificadas como Solo Exposto no ano de 2025, em relação ao ano de 1986, indicando ausência de avanço significativo de áreas degradadas no interior da unidade ao longo do período analisado. A classe Vegetação Secundária apresentou variação discreta, reforçando a ideia de relativa estabilidade estrutural da cobertura vegetal interna.

Ainda que tenham ocorrido variações percentuais nas classes, a magnitude das alterações mostra-se inferior à registrada na Zona de Amortecimento, o que indica maior estabilidade ecológica na Unidade de Conservação.

5. CONCLUSÃO

Este trabalho permitiu analisar as mudanças ocorridas na cobertura vegetal da Estação Ecológica Serra das Araras e de sua Zona de Amortecimento ao longo do período de 1986 a 2025, a partir do uso do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada. Os resultados evidenciam que a paisagem da região passou por alterações significativas, das quais destacam-se a redução das áreas de vegetação densa e o aumento de áreas com menor vigor vegetativo, associadas principalmente a pastagens e solo exposto.

A diminuição expressiva da mata densa, aliada à fragmentação da cobertura vegetal, indica a intensificação das pressões antrópicas, sobretudo na zona de amortecimento da unidade de conservação. Entretanto, a análise individualizada do interior da unidade demonstrou que as alterações foram proporcionalmente menos intensas quando comparadas ao entorno, denotando maior estabilidade da cobertura vegetal no interior da área protegida. Indicativo de que a unidade tem cumprido, de forma relativa, sua função esperada de proteção e conservação da integridade ecológica frente às transformações ocorridas no seu entorno.

Por fim, o uso integrado de técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento, por meio do software QGIS (QGIS DEVELOPMENT TEAM, 2024) integrado ao GRASS GIS (GRASS DEVELOPMENT TEAM, 2024), demonstrou-se uma alternativa acessível e eficiente para a análise da cobertura vegetal em escala temporal.

6. REFERÊNCIAS

- BECERRA, J. A. B.; SHIMABUKURO, Y. E.; ALVALÁ, R. C. S. **Monitoramento da cobertura vegetal no Cerrado utilizando sensoriamento remoto**. [S. l.]: Editora Científica, 2021.
- BRASIL. **Lei nº 9.985, de 18 de julho de 2000**. Institui o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza – SNUC. Brasília, DF: Presidência da República, 2000.
- BRASIL. Decreto Federal nº 87.222, de 31 de maio de 1982. **Cria a Estação Ecológica Serra das Araras**. Brasília, DF: Diário Oficial da União, 1982.
- GONÇALVES, R. **Fundamentos de Processamento Digital de Imagens**. [S. l.]: Editora Acadêmica, 2023.
- GRASS DEVELOPMENT TEAM. **Geographic Resources Analysis Support System (GRASS GIS) Software**. Versão 8.x. Open Source Geospatial Foundation, 2024.
- GUIMARÃES, M. **Sensoriamento Remoto Ambiental: Índices de Vegetação**. [S. l.]: Editora Terra, 2024.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Malha Municipal Digital 2024**. Rio de Janeiro: IBGE, 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais>. Acesso em: 22 jan. 2026.
- INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE (ICMBio). **Plano de Manejo da Estação Ecológica Serra das Araras**. Brasília, DF: ICMBio, 2016.
- INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE (ICMBio). **Relatório de Ecossistemas e Fogo na ESEC Serra das Araras**. Brasília, DF: ICMBio, 2021.
- INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE (ICMBio). **Catálogo de Dados Geográficos: Limite da Estação Ecológica Serra das Araras e Zona de Amortecimento (Shapefile)**. Brasília, DF: ICMBio, 2016. Disponível em: <https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/biodiversidade/unidade-de-conservacao/unidades-de-biomas/cerrado/lista-de-ucs/esec-da-serra-das-araras>. Acesso em: 13 jan. 2026.

IPBES. **Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services**. Paris, França: IPBES Secretariat, 2019.

MEDEIROS, R.; YOUNG, C. E. F. **Contribuição das unidades de conservação brasileiras para a economia nacional**. Brasília, DF: UNEP-WCMC, 2011.

NETELER, M.; MITASOVA, H. **Open Source GIS: A GRASS GIS Approach**. 3. ed. New York: Springer, 2008.

QGIS DEVELOPMENT TEAM. **QGIS Geographic Information System**. Versão 3.34. Prizren: Open Source Geospatial Foundation Project, 2024.

ROSS, J. L. S. **Geomorfologia: Ambiente e Planejamento**. São Paulo: Contexto, 1991.

ROUSE, J. W. et al. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. **Third ERTS Symposium**, NASA SP-351, v. 1, p. 309-317, 1973.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). **EarthExplorer: Landsat 5-TM e Landsat 8-OLI (Dados Orbitais)**. Reston: USGS, 2025. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 18 dez. 2025.