



Do verde ao cinza? A história da cobertura vegetal em Corumbá IV contada pelo NDVI

Anderson Muzzolon¹  

Ruth Elias de Paula Laranja²  

Destaques

- Cerrado em risco, como a vegetação do Lago Corumbá IV está mudando.
- Imagens reveladoras, a dinâmica da degradação ambiental do lago através de satélite.
- Uso prático do NDVI, a tecnologia que mapeia a saúde da vegetação.
- Impacto antrópico, como a urbanização afeta a paisagem do entorno do Lago Corumbá IV.
- Conservação ambiental, dados importantes para proteger os recursos hídricos da paisagem em análise.

Resumo: A vegetação do cerrado desempenha um papel fundamental na conservação dos recursos hídricos, favorecendo o aumento da biodiversidade em áreas florestadas. Para a conservação dos recursos naturais, são necessários estudos que mostrem espacialmente a evolução e a distribuição da vegetação. Este artigo concentra-se na identificação das mudanças na cobertura vegetal nas proximidades do Lago Corumbá IV, causadas por atividades humanas na paisagem e monitoradas por meio de imagens de satélite e do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). A área de estudo abrangeu 1200 metros a partir das margens do Lago Corumbá IV, com base nas imagens dos satélites Landsat 5 para os anos de 2002, 2006 e 2011, e Landsat 8 para 2016 e 2022. Os resultados apontam para fragmentação e redução das áreas de cerrado em diferentes períodos, evidenciando um padrão de degradação ambiental na paisagem estudada.

Palavras-chave: Biodiversidade; Cerrado; Dinâmicas ambientais; NDVI.

¹ Doutorando em Geografia pela Universidade de Brasília (UnB) e mestre em Geografia pela Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO), Paraná. Atualmente é professor da Secretaria de Educação do Distrito Federal (SEDF).

² Professora associada do Departamento de Geografia da Universidade de Brasília (GEA/UnB). Doutora em Geografia pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP). Realizou pós-doutorado pela Universidade de Porto, Portugal.



FROM GREEN TO GRAY? THE STORY OF VEGETATION COVER IN CORUMBÁ IV TOLD BY NDVI

Abstract: The Cerrado vegetation plays a fundamental role in conserving water resources and contributing to increased biodiversity in forested areas. For the conservation of natural resources, studies are needed to spatially demonstrate the evolution and distribution of vegetation. This article focuses on identifying changes in vegetation cover in the vicinity of Lake Corumbá IV, resulting from human activities in the landscape, and monitored using satellite imagery and the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). The study area encompassed a 1,200-meter buffer zone from the shores of Lake Corumbá IV, using Landsat 5 images for the years 2002, 2006, and 2011, and Landsat 8 images for 2016 and 2022. The results indicate fragmentation and reduction of Cerrado areas across different periods, highlighting a pattern of environmental degradation in the studied landscape.

Keywords: Biodiversity; Cerrado; Environmental dynamics; NDVI.

¿DEL VERDE AL GRIS? LA HISTORIA DE LA COBERTURA VEGETAL EN CORUMBÁ IV CONTADA POR EL NDVI

Resumen: La vegetación del Cerrado desempeña un papel fundamental en la conservación de los recursos hídricos, favoreciendo el aumento de la biodiversidad en áreas boscosas. Para la conservación de los recursos naturales, son necesarios estudios que demuestren espacialmente la evolución y distribución de la vegetación. Este artículo se centra en identificar los cambios en la cobertura vegetal en las proximidades del Lago Corumbá IV, provocados por actividades humanas en el paisaje y monitoreados mediante imágenes satelitales y el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI). El área de estudio abarcó una zona de amortiguamiento de 1.200 metros a partir de las orillas del Lago Corumbá IV, utilizando imágenes de los satélites Landsat 5 para los años 2002, 2006 y 2011, y Landsat 8 para 2016 y 2022. Los resultados señalan fragmentación y reducción de las áreas de Cerrado en distintos períodos, evidenciando un patrón de degradación ambiental en el paisaje estudiado.

Palabras clave: Biodiversidad; Cerrado; Dinámicas ambientales; NDVI.

INTRODUÇÃO

Estudos sobre a dinâmica da vegetação são necessários para estratégias voltadas à conservação socioambiental, especialmente em áreas vitais para a segurança hídrica (Bamlaku; Yemiru, 2015). Essas pesquisas também alertam para a fragmentação de habitats, a divisão de áreas naturais contínuas (Damame *et al.*, 2019). Essa alteração da paisagem para um padrão de mosaico intensifica os desafios na conservação do Cerrado. No passado, a falta de conhecimento sobre o desmatamento dificultou os esforços de conservação e manejo desse bioma (Klink; Machado, 2005).

Assim, os dados e produtos provenientes do sensoriamento remoto têm demonstrado um potencial em constante crescimento para monitorar as condições da vegetação (Resende; Rosolen, 2011). Essas ferramentas permitem uma avaliação abrangente e detalhada das alterações na vegetação, desde o nível local até escalas regionais e globais (Yang *et al.*, 2024), possibilitando uma melhor tomada de decisão em termos de conservação e manejo dos recursos naturais (Formaggio; Sanches, 2017).

Neste artigo, o objetivo é analisar a distribuição espacial da vegetação nas proximidades do Lago Corumbá IV, em uma faixa de 1200 metros a partir de suas margens. Escolhemos essa área devido às intensas transformações causadas pela construção de uma represa para geração de hidroeletricidade e por agentes imobiliários. Utilizamos o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) como uma ferramenta essencial. Ao interpretar imagens dos satélites Landsat 5 dos anos de 2002, 2006 e 2011, juntamente com as imagens do Landsat 8 de 2016 e 2022, buscamos compreender as mudanças na cobertura vegetal ao longo do tempo.

A relação entre a estrutura da vegetação e o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) é fundamental para a análise ambiental (Chen; *at al.*, 2021). O NDVI é uma medida que utiliza dados de satélite para estimar a quantidade, densidade e a saúde da vegetação em uma determinada área; esses padrões podem ser monitorados de modo a percebermos as mudanças ao longo do tempo (Krizek; Santos, 2021).

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), derivado de imagens de satélite, avalia a saúde e a densidade da vegetação ao quantificar a diferença na reflectância da luz visível e infravermelha (Frazier, 2019). A análise de séries temporais de dados NDVI auxilia na compreensão dos processos ecológicos e na observação de tendências de degradação ou recuperação ambiental (Silva, 2014).

Este índice é amplamente reconhecido por sua eficiência ao monitorar as mudanças na cobertura vegetal, devido à sua alta sensibilidade tanto em áreas com vegetação esparsa quanto densa (Tagliarini, 2020). Desse modo possibilita

monitorar variações sazonais e interanuais no crescimento e na atividade das plantas (Silva, 2014).

MATERIAIS E MÉTODOS

A área de estudo foi delimitada em uma faixa de 1,2 km a partir das margens do lago, devido às consideráveis transformações na paisagem causadas pela expansão dos perímetros urbanos dos municípios afetados pela construção da barragem. Essas localidades incluem partes dos municípios de Luziânia, Silvânia, Novo Gama, Santo Antônio do Descoberto, Abadiânia e Alexânia, que são diretamente impactadas pela formação do lago Corumbá IV (Figura 1).

Figura 1 - Reservatório da Usina Hidrelétrica Corumbá IV



Fonte: Os autores (2024).

O rio Corumbá, afluente do rio Paranaíba, integra a bacia do rio Paraná. A área de estudo apresenta duas principais unidades geomorfológicas: (a) a Superfície Regional de Aplainamento (SRA), situada entre 900 e 1100 metros de altitude, com dissecação muito fraca e formada sobre rochas dos grupos Paranoá e Araxá; e (b) a Zona de Erosão Recuante (ZER), caracterizada por uma

dissecação marcante, que incide principalmente sobre a Superfície Regional de Aplainamento (Almeida; *et al.*, 2013).

Em relação à Pedologia, a área de estudo apresenta sete tipos principais de solos, que incluem a associação de câmbio distrófico ou álico, a associação de câmbio de textura média cascalhenta com solos litólicos de textura média a muito cascalhenta, a associação de latossolo vermelho-escuro distrófico ou álico, a associação de latossolo vermelho-escuro com latossolo vermelho-amarelo, a associação de latossolo vermelho-amarelo com latossolo petroplântico, a associação de latossolo petroplântico com latossolo vermelho-amarelo (Almeida *et al.*, 2013).

O Lago Corumbá IV é uma fonte vital de recursos hídricos para cidades do estado de Goiás e do Distrito Federal, atuando também na regulação do clima, na produção de energia elétrica e na promoção de atividades recreativas e turísticas (Castro, 2014). No entanto, é fundamental reconhecer os desafios associados à sua gestão, incluindo a necessidade de conservar sua vegetação e a qualidade da água, de modo a garantir o equilíbrio ecológico e a sustentabilidade.

No estudo, foram utilizados dados de imagens multiespectrais (30m de resolução espacial), submetidos a pré-processamento (reprojeção e correção radiométrica atmosférica). A vegetação foi analisada através do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), que quantifica a cobertura vegetal. Calculado a partir das bandas do espectro vermelho e infravermelho próximo, o NDVI é um indicador reconhecido (Chen *et al.*, 2021). O índice varia de -1 (áreas sem vegetação, como superfícies impermeáveis ou corpos d'água) a 1 (vegetação densa e saudável, com plena atividade metabólica) (Tagliarini, 2020).

Para realizar este estudo, foram necessárias informações vetoriais representadas em arquivos do tipo *shape*, os quais foram obtidos diretamente de fontes confiáveis na internet, como os sites do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e da Agência Nacional de Águas (ANA). Salienta-se que cada uma dessas fontes fornece dados elaborados em sistemas de projeção cartográfica diferentes, o que poderia causar inconsistências e dificuldades de análise se não fossem tratados adequadamente.

Para nossa análise multitemporal, selecionamos imagens dos satélites LANDSAT 5 e 8, fornecidas pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), capturadas durante os meses de maio e junho dos anos em questão. Optamos por esses meses devido ao início da estação seca na área de estudo, o que proporciona uma distinção mais nítida entre as diferentes formações vegetais, minimizando interferências de nebulosidade. Obtivemos um conjunto de cinco imagens dos anos de 2000, 2006, 2011 (Landsat-5), 2016 e 2022 (Landsat-8), todas capturadas durante os meses de seca na região do Cerrado (maio e junho). Essa escolha assegurou condições climáticas semelhantes e ausência de nebulosidade, conforme detalhado abaixo:

- a) as cenas correspondentes à órbita ponto 221-071 dos dias 06/05/2000, 24/06/2006, 06/06/2011, 02/02/2016 e 20/06/2022, capturadas pelo sensor Thematic Mapper (TM) dos satélites Landsat-5 e 8
- b) imagens disponibilizadas em formato *geotiff*, projetadas na UTM, Datum WGS 1984, Zona 22;
- c) resolução espacial de 30 metros, resolução radiométrica de 8 bits e resolução espectral de seis bandas.

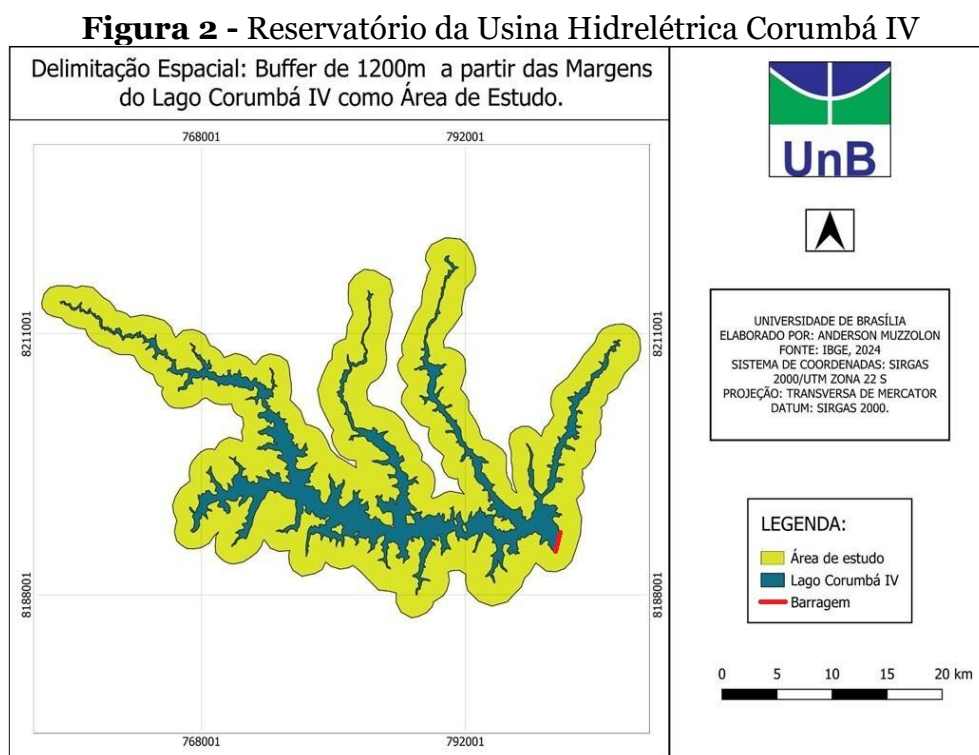
A seleção das imagens deveu-se aos seguintes critérios:

- 1. **2000:** nesse ano ainda não havia iniciado a construção da barragem;
- 2. **2006:** o primeiro ano com o lago formado;
- 3. **2011:** porque percebemos uma recomposição de vegetação ao longo das margens do lago;
- 4. **2016:** devido ao aumento no processo de construção de condomínios nesse ano;
- 5. **2022:** foi utilizada para verificar a evolução atual da paisagem local.

Para calcular o NDVI, importamos no programa QGIS versão 3.34.4, as bandas 3R (Vermelho) e 4 NIR (Infravermelho Próximo) nas imagens do satélite Landsat 5, e as bandas 4R (Vermelho) e 5 NIR (Infravermelho Próximo) no Landsat 8. Essas bandas capturam comprimentos de onda visíveis na cor vermelha e no infravermelho próximo, fornecendo informações para a identificação e avaliação da presença e qualidade da vegetação.

Após adquirir as imagens, procedemos com a reprojeção destas para o sistema SIRGAS 2000/UTM zona 22 Sul e realizamos a calibração radiométrica, que envolve a conversão dos números digitais brutos em unidades de radiância espectral (Silva, 2014). A radiância é a medida da densidade do fluxo radiante captada pelo sensor, originária de um elemento de área da superfície do terreno e propagada em uma direção específica, definida por um cone elementar de um ângulo sólido (Krizek; Santos, 2021). A conversão da radiância espectral registrada pelo sensor em reflectância estratosférica no topo da atmosfera (TOA) ajuda a reduzir a variabilidade de energia registrada entre diferentes cenas (Weber; Silva; Oliveira, 2020). Esse procedimento foi realizado a partir do complemento “*Semi-Automatic Classification Plugin*” no QGIS.

Para definir a área de estudo, criamos um arquivo vetorial por meio de um buffer abrangendo uma área total de 743,85 Km²; este polígono foi definido a como uma distância de 1200 metros a partir das margens do Lago Corumbá IV, uma área sujeita a significativas transformações no uso e ocupação da terra devido a construção da barragem (Figura 2).



Fonte: Os autores (2024).

Os procedimentos de recorte foram realizados no programa QGIS utilizando o seguinte caminho: “Vetor, Geoprocessamento, Buffer”. Em seguida, recortamos as imagens de satélites a partir dos limites estabelecidos neste polígono (*Buffer*) e procedemos à extração das imagens referentes aos períodos de estudo para as bandas espectrais do infravermelho próximo (NIR) e do vermelho (R).

O cálculo preciso do NDVI requer a conversão dos valores de Densidade de Números (DN) em grandezas físicas específicas, como radiância e reflectância. Essa conversão é fundamental para assegurar a precisão e a consistência dos resultados, uma vez que os valores de DN, por si só, não refletem diretamente as propriedades físicas dos objetos em análise (Ponzoni; Shimabukuro, 2009).

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), é uma medida que ajuda a avaliar a saúde e a densidade da vegetação em uma determinada área. Sua determinação envolve uma equação que considera a diferença entre o infravermelho próximo (NIR) e a radiação vermelha (RED) refletida pela superfície terrestre (Rouse *et al.*, 1974, p. 309). Este índice é calculado pela seguinte equação:

$$NDVI = \frac{NIR - R}{NIR + R} \quad (1)$$

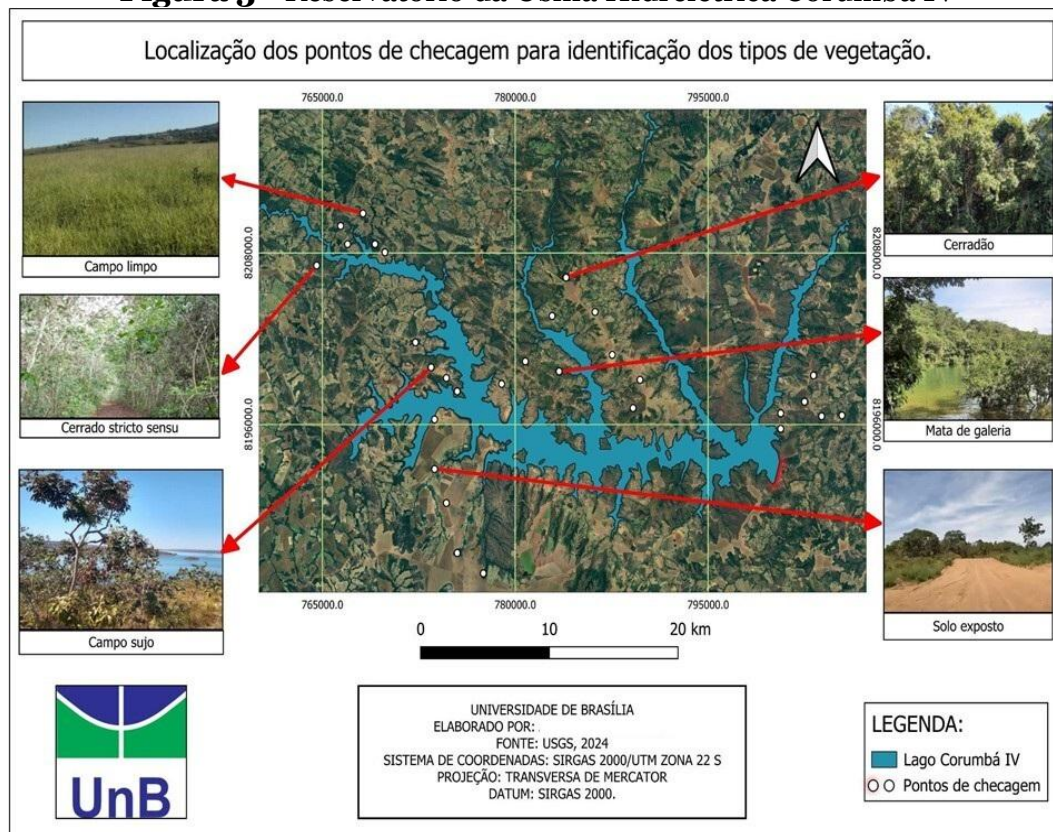
Na definição apresentada, NIR representa a reflectância da vegetação na banda do infravermelho próximo, enquanto R indica a reflectância da vegetação na banda do vermelho.

Para mapear e classificar os indicadores das áreas com vegetação mais densa (Cerrado *stricto sensu*, Cerradão e Mata de Galerias) utilizamos a “calculadora raster” do QGIS, fazendo a seguinte operação: “Camada NDVI da área > 0.51” de modo a representar as áreas com vegetação que possuem as características da vegetação de cerrado acima citados.

Realizamos dois levantamentos de campo, nos dias 6 e 20 de abril de 2024, para identificar as diferentes coberturas da terra e mapear fragmentos de vegetação e áreas de solo exposto (Figura 3). O objetivo era relacionar esses dados

com mapas de NDVI da paisagem estudada. Para georreferenciar as imagens, utilizamos equipamentos fotográficos e um receptor GPS Garmin GPSmap 64s.

Figura 3 - Reservatório da Usina Hidrelétrica Corumbá IV



Fonte: Os autores (2024).

As fotos foram obtidas no trabalho de campo e depois coletadas as suas coordenadas geográficas, sendo então relacionadas com os tipos de vegetação encontradas no mapeamento que utilizou o NDVI. Esses marcadores mostram detalhes da vegetação em pontos específicos. Essa metodologia proporciona uma identificação mais precisa dos tipos de vegetação, combinando técnicas visuais e computacionais de sensoriamento remoto. Seguindo esse método, é viável fazer uma interpretação minuciosa das informações referentes à vegetação analisada.

Para compreender a dinâmica da paisagem, utilizou-se a plataforma de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) do QGIS, através da ferramenta *Landscape Ecology Statistics* (LecoS) integrada ao programa. Essa plataforma permite calcular métricas da paisagem utilizando dados matriciais ou vetoriais dos fragmentos florestais. Assim, obteve-se a área total das classes estudadas, a

porcentagem de cada classe em relação ao total da área, o número de fragmentos, a área do maior fragmento e a área média dos fragmentos. Essas métricas podem ser utilizadas para estudos específicos de fragmentos de vegetação, bem como para analisar a evolução de diferentes tipos de classes, como urbanização, vegetação nativa, agricultura e pastagens (Frazier, 2019).

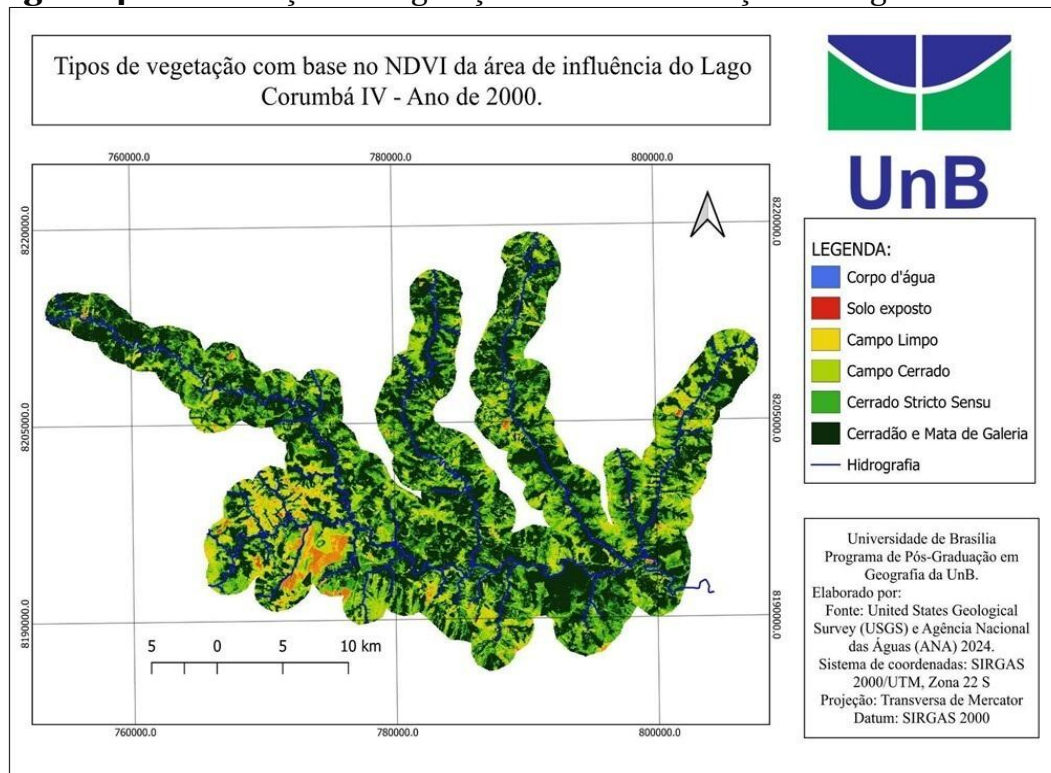
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao mapear e analisar os padrões de distribuição do NDVI ao longo de diferentes períodos, utilizamos as definições do “Manual técnico da vegetação brasileira” (IBGE, 2012). Assim, associando com os indicadores mapeados, observamos que os valores mais altos estão ligados às áreas próximas das drenagens e são representados pelas áreas de Cerradão e Mata de galeria (verde escuro), com NDVI entre 0,66 e 1,0; seguidas pelo Cerrado Stricto Sensu (verde), com NDVI entre 0,51 e 0,65. Na sequência, estão os Campo Sujo (verde claro), com NDVI entre 0,41 e 0,50, e Campo Limpo (amarelo), com NDVI entre 0,25 e 0,40. Os valores mais baixos correspondem aos Solos Expostos (vermelho), com NDVI entre -0,1 e 0,25, e aos Corpos d'água (azul), com NDVI entre -0,2 e -1,0.

No ano de 2000 (Figura 4), é possível observar que as obras para o início da formação do lago ainda não haviam começado. Nas margens dos cursos d'água, é perceptível a presença de vegetação de porte arbóreo, enquanto as áreas com solo exposto foram identificadas em regiões agrícolas e ao longo das estradas, predominando formações com gramíneas e arbustos.

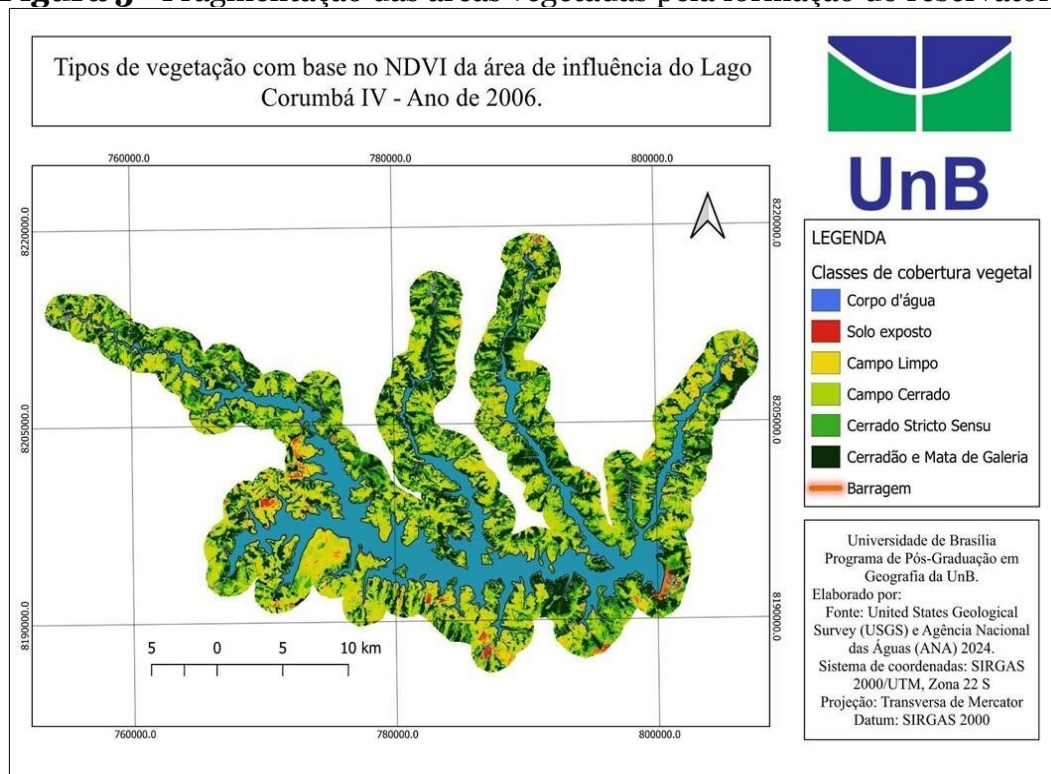
Em 2006, a formação do Lago Corumbá IV (Figura 5) causou significativa supressão da mata ciliar, com a inundação de áreas vegetadas. Essa perda comprometeu os habitats e a biodiversidade local. A mata ciliar é fundamental para a qualidade da água, atuando como filtro natural, e para a prevenção da erosão das margens, estabilizando o solo com suas raízes (Goerl *et al.*, 2011).

Figura 4 - Distribuição da vegetação antes da formação do Lago Corumbá IV



Fonte: Os autores (2024).

Figura 5 - Fragmentação das áreas vegetadas pela formação do reservatório

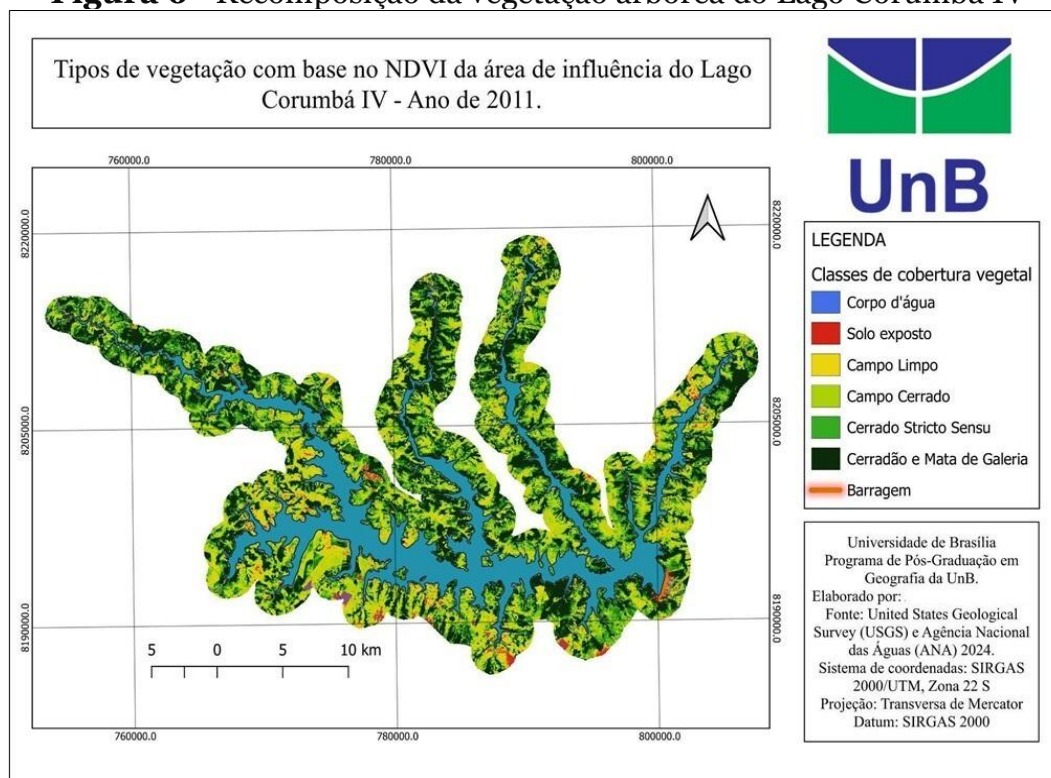


Fonte: Os autores (2024).

A fragmentação da mata ciliar interrompeu corredores ecológicos essenciais para a migração e dispersão de espécies, dificultando o movimento animal e a troca genética, o que aumenta a vulnerabilidade e reduz a resiliência dos ecossistemas. Além disso, a fragmentação facilita a invasão de espécies exóticas, que competem com as nativas (Damame *et al.*, 2019)

O mapa de NDVI de 2011 (Figura 6) revela um processo de reconstituição de parte das matas de galeria e cerradão na região, comparando com o ano de 2006. Esse fenômeno pode ser atribuído, em grande parte, ao aumento do lençol freático e à maior de umidade decorrente da proximidade com o lago.

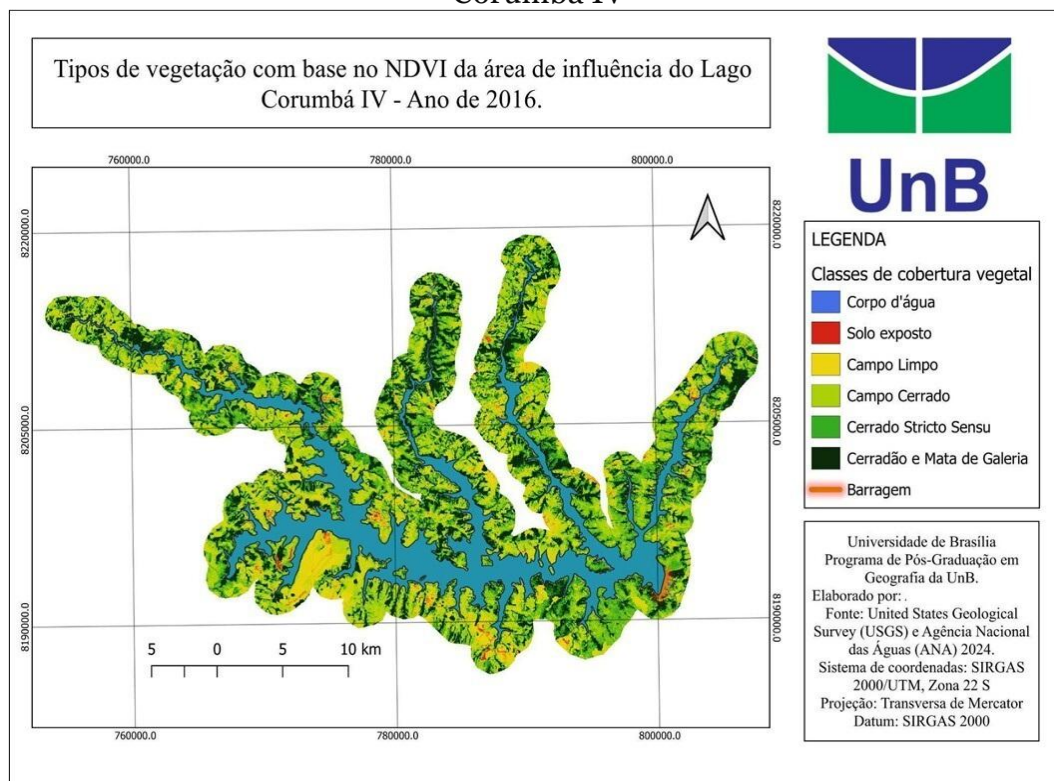
Figura 6 - Recomposição da vegetação arbórea do Lago Corumbá IV



Fonte: Os autores (2024).

Em 2016, observa-se um aumento considerável de novas áreas abertas para a formação de condomínios, indicando um avanço significativo da urbanização na região. Esse crescimento urbano resultou em uma expansão das áreas de solo exposto, substituindo a vegetação nativa por construções e infraestrutura (Figura 7).

Figura 7 - Intensificação da formação de Condomínios e urbanização do Lago Corumbá IV

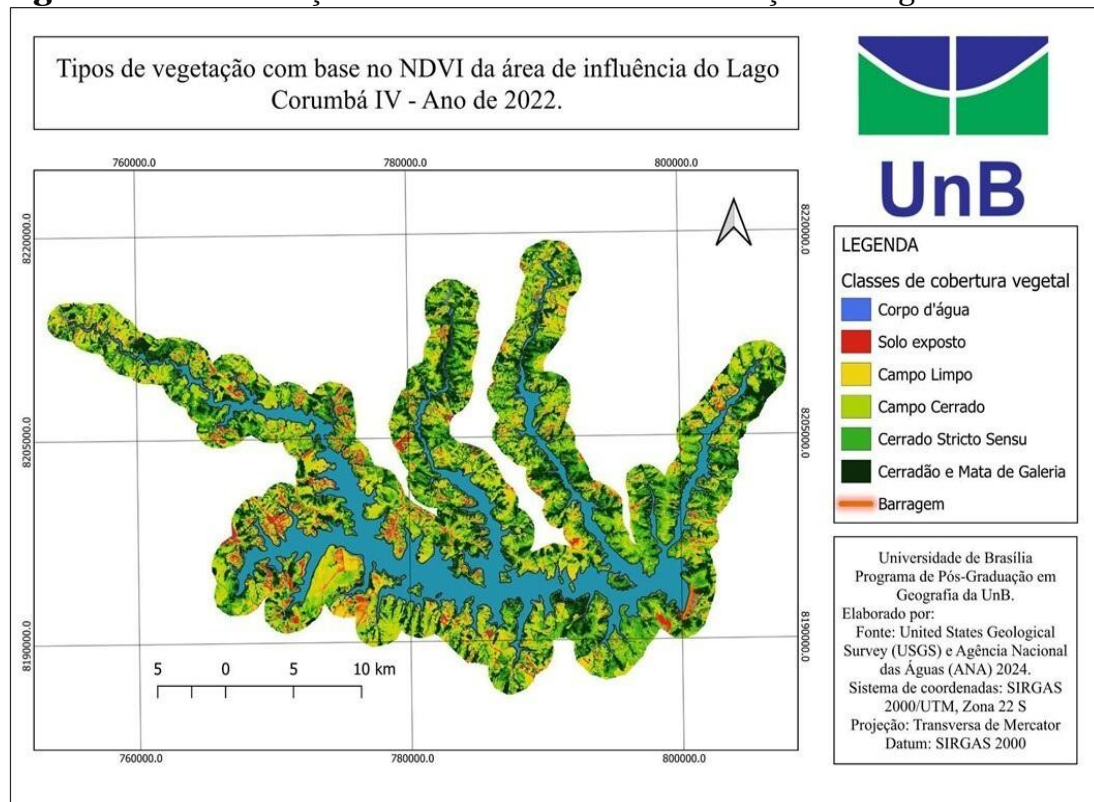


Fonte: Os autores (2024).

No ano de 2022, observa-se uma consolidação de áreas ocupadas por condomínios nas proximidades do Lago Corumbá IV. Este fenômeno de expansão urbana é claramente refletido nos indicadores de NDVI, que mostram uma diminuição notável das matas de galeria, do cerradão e do cerrado stricto sensu. Essas áreas de vegetação de porte arbóreo foram progressivamente substituídas por construções, resultando em um aumento das "manchas" avermelhadas no mapa de NDVI, que representam áreas de solo exposto.

O crescimento das áreas de solo exposto (Figura 8), também indica um aumento da vulnerabilidade do solo à erosão e à degradação. Esse cenário exige uma atenção especial para políticas de gestão sustentável do uso da terra, visando minimizar os impactos ambientais.

Figura 8 - Consolidação dos Condomínios e urbanização do Lago Corumbá IV



Fonte: Os autores (2024).

Na etapa da análise dos resultados, foi observado que os níveis elevados de NDVI indicaram uma maior atividade fotossintética associada à presença de vegetação de porte arbóreo. Em contraste, os valores reduzidos de NDVI sugeriram uma menor atividade fotossintética e, consequentemente vegetação escassa ou ausente. Nessas circunstâncias, a vegetação deu lugar a diferentes tipos de uso do solo, como áreas urbanas densamente habitadas com área de solo exposto.

Ao analisarmos a evolução da área de solo exposto na paisagem (Gráfico 1), observamos um aumento constante desde o ano 2000, quando a área era de 12,65 km², até 2016, quando atingiu 21,41 km². Entre 2016 e 2022, esse processo acelerou, chegando a 37,93 km². Esse crescimento ocorreu devido à expansão das áreas de novos condomínios de segunda residência.

Gráfico 1 - Aumento das áreas de solo exposto no entorno do Lago

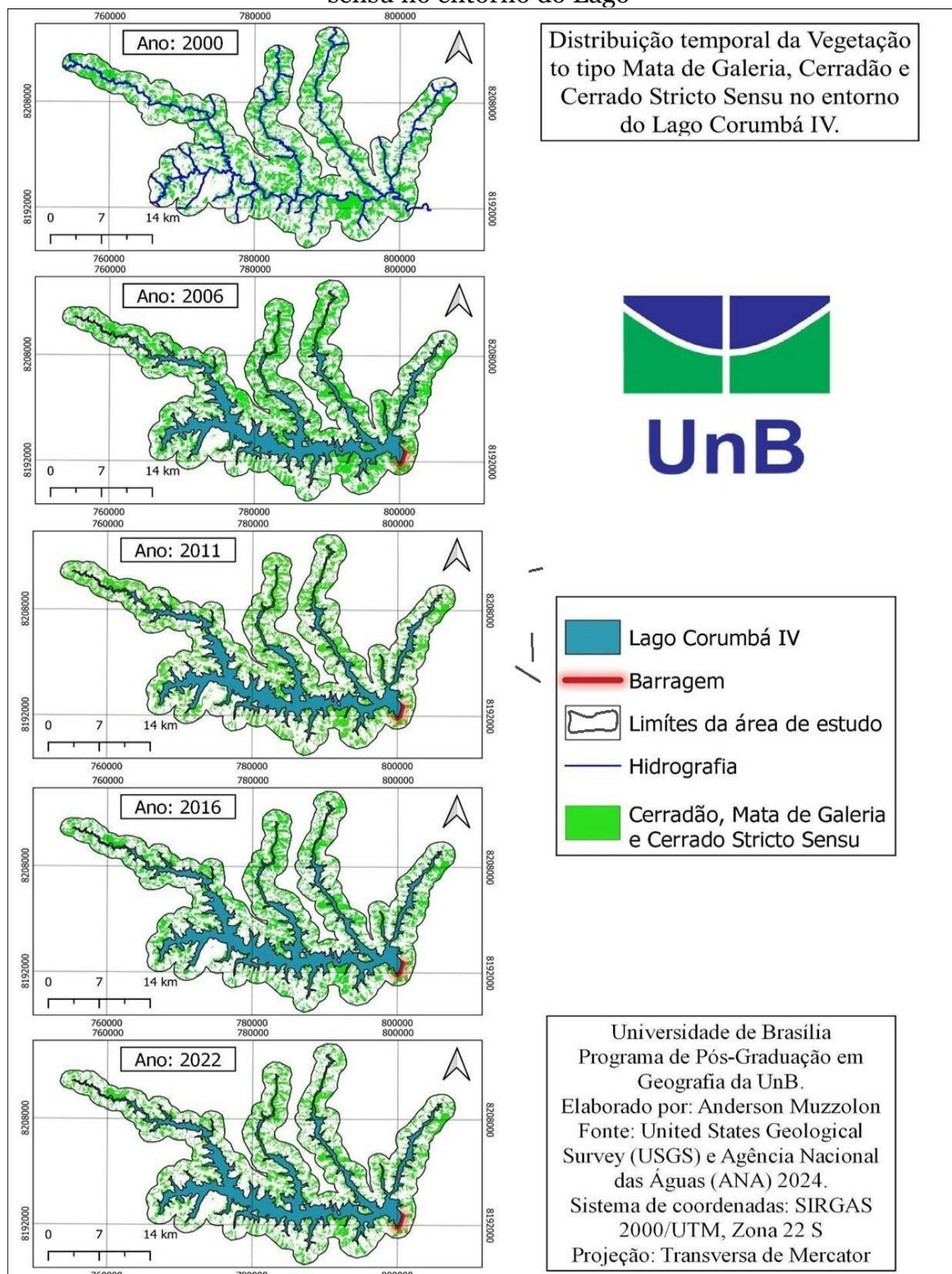


Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Na Área de Preservação Permanente (APP), referente a faixa de 100 metros a partir das margens do lago, verificou-se além da presença das matas de galerias, a presença de gramíneas onde deveria haver a presença de vegetação arbórea, de acordo com o Código Florestal Brasileiro (Lei nº 12.651/2012). Além disso, foi observado o surgimento de rampas de acesso dos condomínios em direção ao lago, o que pode ter impactos adicionais no ecossistema local.

Para compreender melhor a evolução e a distribuição espaço-temporal da fragmentação nas áreas de matas de galeria, cerradão e cerrado stricto sensu, separamos esse grupo de formações vegetais e realizamos o mapeamento e o cálculo das áreas onde o NDVI foi superior a 0,51 (Figura 9).

Figura 9 - Dinâmica das áreas de mata de galeria, cerradão e cerrado stricto sensu no entorno do Lago



Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Este mapeamento permitiu verificar uma diminuição das áreas ocupadas por vegetação do cerrado. A análise revelou padrões de fragmentação e perda de cobertura vegetal ao longo do tempo. Com base no mapeamento evolutivo da vegetação, elaboramos a tabela 1, que contém diversas métricas essenciais para uma análise da cobertura vegetal e da fragmentação em áreas de matas de galeria, cerradão e cerrado stricto sensu ao longo do tempo.

Tabela 1 - Métricas da paisagem ao longo do período estudado, considerando as vegetações do tipo mata de galeria, cerradão e cerrado stricto sensu

Ano	Área da classe (km ²)	Área da classe (%)	Número total de fragmentos	Área do maior fragmento (km ²)	Área média dos fragmentos (km ²)	Mediana dos fragmentos (km ²)
2000	271,76	37,92	3734	21,71	0,74	0,18
2006	251,11	33,80	3467	16,81	0,72	0,18
2011	266,26	35,84	3321	17,87	0,80	0,18
2016	199,92	26,91	3729	6,60	0,53	0,27
2022	169,48	22,81	4482	4,70	0,37	0,18

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Na tabela 1, fica evidente que a área do maior fragmento sofreu uma redução significativa, diminuindo de 21,71 km² em 2000 para 4,7 km² em 2022. A aceleração desse declínio foi particularmente notável a partir dos indicadores apresentados em 2016. Esse cenário reflete a degradação das áreas florestais, que foram progressivamente fragmentadas em porções menores.

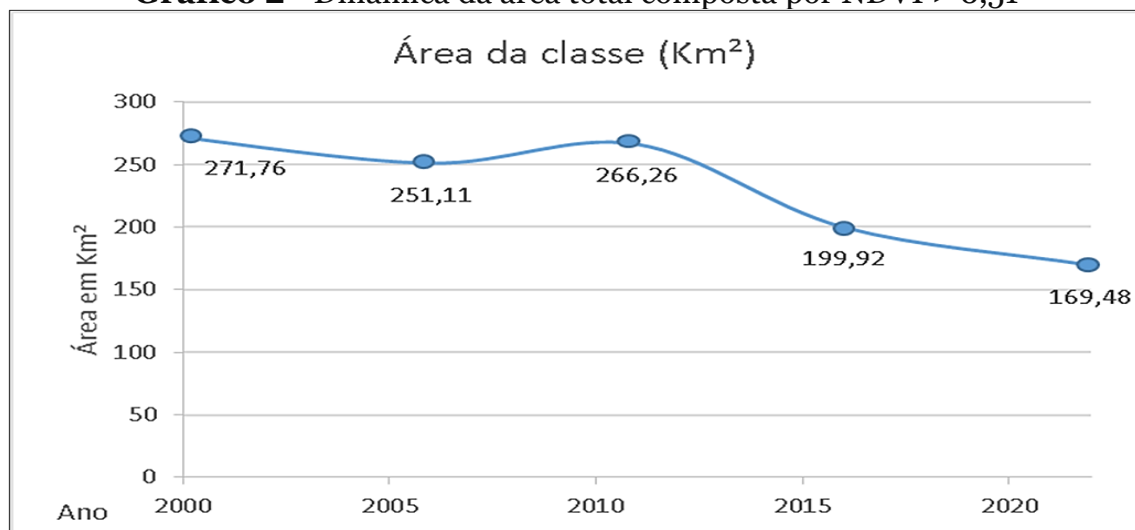
Em 2000, a área média dos fragmentos florestais era de 0,74 km², diminuindo para apenas 0,37 km² em 2022. Essa fragmentação acarreta perda de biodiversidade, pois dificulta a movimentação e dispersão de espécies. A degradação dos recursos hídricos também é preocupante, já que a vegetação com raízes profundas auxilia na manutenção dos aquíferos, função comprometida pela fragmentação (Fellet, 2019).

Observa-se, ao longo dos anos, uma redução constante na porcentagem da área coberta por cerradão, mata de galeria e cerrado stricto sensu (NDVI > 0,51), passando de quase 38% em 2000 para cerca de 23% em 2022. Analisando os

indicadores de área total (Gráfico 2), verificamos essa tendência de queda: em 2000, a área era de 271,76 km², reduzindo para 169,48 km² em 2022.

Um aspecto interessante dessa dinâmica é o período entre 2006 e 2011, quando a área coberta por vegetação aumentou ligeiramente, de 251,11 km² para 266,26 km². Esse crescimento pode ser atribuído ao aumento da umidade no microclima local e à elevação dos lençóis freáticos causada pela formação do lago. No entanto, essa tendência foi revertida, indicando uma perda considerável de vegetação. Inicialmente, o impacto foi provocado pela formação do lago, seguido pela intervenção de agentes imobiliários.

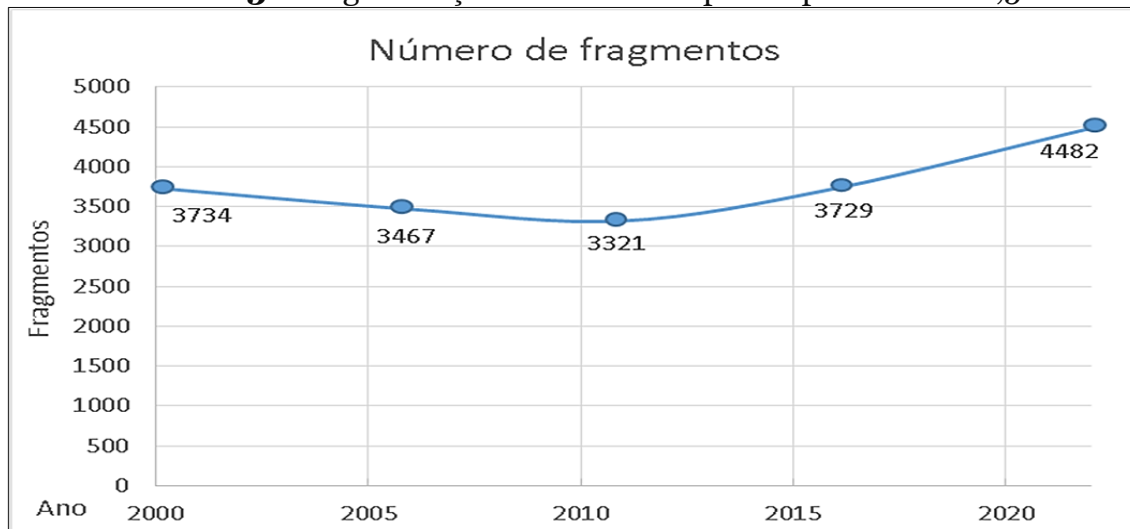
Gráfico 2 - Dinâmica da área total composta por NDVI > 0,51



Fonte: Dados da pesquisa (2024).

É interessante notar que, entre os anos de 2000 e 2011, período marcado pela formação do lago, o número de fragmentos diminuiu inicialmente. Isso pode ter ocorrido devido à eliminação de alguns fragmentos menores em decorrência do enchimento da barragem e, posteriormente, a um breve período de adaptação da vegetação ao novo microclima e aos aspectos hidrológicos existentes, reconectando alguns fragmentos mapeados. No entanto, a partir de 2016, observa-se um aumento gradual no número de fragmentos ao longo do tempo, alcançando seu ápice em 2022, com 4482 fragmentos registrados (Gráfico 3). Esse aumento progressivo indica uma crescente fragmentação do habitat do cerrado nas margens do lago.

Gráfico 3 - Fragmentação das áreas compostas por NDVI > 0,51



Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Ao longo das margens do Lago Corumbá IV, observa-se a ocorrência de transformações significativas, que evidenciam riscos ambientais para os mananciais que abastecem o Distrito Federal e áreas vizinhas. O lago, que possui Áreas de Preservação Permanente (APPs), demanda fiscalização mais rigorosa, em conformidade com a Lei 12.651/2012. Esta lei define que as APPs, cobertas ou não por vegetação nativa, têm a função ambiental de preservar recursos hídricos, a paisagem, a estabilidade geológica e a biodiversidade, facilitar o fluxo gênico da fauna e flora (Brasil, 2012).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos da pesquisa mostram uma redução significativa na área total de cerrado, passando de 271,76 km² para 169,48 km² ao longo do período analisado, especialmente nas áreas de matas de galerias, cerradão e cerrado stricto sensu. Esse declínio é acompanhado por um aumento na fragmentação do habitat, caracterizado pela formação de mais fragmentos menores e uma diminuição notável no tamanho do maior fragmento existente. Essas tendências refletem as pressões ambientais e as atividades humanas, como a expansão agrícola, a urbanização e a construção de infraestrutura, que têm impactado negativamente esse ecossistema.

Com sua capacidade de analisar os espectros do vermelho e do infravermelho próximo, o NDVI se revela um indicador radiométrico eficaz para distinguir elementos bióticos, como plantas, de elementos abióticos, a exemplo de água e solo exposto. Essa distinção se fundamenta no comportamento da vegetação saudável, que reflete intensamente o infravermelho, enquanto os elementos abióticos o absorvem. Em contraste, plantas com menor vigor tendem a refletir mais o espectro vermelho, criando um contraste nítido entre os diversos componentes da paisagem. Essa característica do NDVI possibilita análises mais aprofundadas sobre a dinâmica da vegetação.

Os procedimentos aplicados nesta pesquisa, que integram dados geoespaciais com análises temporais e estruturais da vegetação, revelam um grande potencial para serem adaptados e utilizados em outras áreas do Cerrado que possuem características semelhantes à região estudada. Essa abordagem contribui para o desenvolvimento de estratégias mais abrangentes aplicáveis à conservação.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, W. S.; SOUZA, N. M.; REIS JUNIOR, D. S.; CARVALHO, J. C. Análise morfométrica em bacias hidrográficas fluviais como indicadores de processos erosivos e aporte de sedimentos no entorno do reservatório da Usina Hidrelétrica (UHE) Corumbá IV. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, [S. l.], v. 14, n. 2, p. 147-158, 2013. DOI: [10.20502/rbg.v14i2.251](https://doi.org/10.20502/rbg.v14i2.251). Disponível em: <https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/251>. Acesso em: 6 mar. 2025.
- BAMLAKU, A.; YEMIRU, T. Economic Valuation of Forest Ecosystems Service's Role in Maintaining and Improving Water Quality. **Economics**. v. 4, n. 5, p. 71-80, 2015. DOI: [10.11648/j.eco.20150405.11](https://doi.org/10.11648/j.eco.20150405.11).
- BRASIL. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa [...]. **Diário Oficial da União**: Brasília, DF, Seção 1, 28 mai. 2012.
- CASTRO, M. C. **Território usado e a produção social do turismo na Usina Hidrelétrica Corumbá IV**. 2014. 193f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade de Brasília, Brasília, 2014.
- CORDEIRO, A. P. A.; BERLATO, M. A.; FONTANA, D. C.; MELO, R. W.; SHIMABUKURO, Y. E.; FIOR, C. S. Regiões homogêneas de vegetação

utilizando a variabilidade do NDVI. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 3, p. 883-894, 31 ago. 2017. DOI: [10.5902/1980509828638](https://doi.org/10.5902/1980509828638). Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cflo/a/xQSkhQC3g7LLMfBqTWpC3kP/>. Acesso em: 11 mai. 2025.

CHEN, P.; LIU, H.; WANG, Z.; MAO, D.; LIANG, C.; WEN, L.; LI, Z.; ZHANG, J.; LIU, D.; ZHUO, Y. Vegetation Dynamic Assessment by NDVI and Field Observations for Sustainability of China's Wulagai River Basin. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 18, n. 5, e2528, mar. 2021. DOI: [10.3390/ijerph18052528](https://doi.org/10.3390/ijerph18052528) Disponível em: <https://www.mdpi.com/1660-4601/18/5/2528#metrics>. Acesso em: 15 mai. 2025.

DAMAME, D. B.; LONGO, R. M.; OLIVEIRA, E. D. Impactos ambientais pelo uso e ocupação do solo em sub-bacias hidrográficas de Campinas, São Paulo, Brasil. **Acta Brasiliensis**, Campina Grande, v. 3, n. 1, p. 1-7, 2019. DOI: [10.22571/2526-4338108](https://doi.org/10.22571/2526-4338108). Disponível em: <http://revistas.ufcg.edu.br/actabra/index.php/actabra/article/view/108>. Acesso em: 14 mai. 2025.

FORMAGGIO, A. R.; SANCHES, I. D. **Sensoriamento remoto em agricultura**. São Paulo: Oficina de Textos, 2017. 288p.

FELLET, J. Como as raízes do Cerrado levam água a torneiras de todas as regiões do Brasil. **BBC Brasil**. 2017. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/brasil-39391161>. Acesso em: 14 mai. 2025.

FRAZIER, A. E. Emerging trajectories for spatial pattern analysis in landscape ecology. **Landscape Ecology**, v. 34, n. 9, p. 2073-2082, 2019. DOI: [10.1007/s10980-019-00880-1](https://doi.org/10.1007/s10980-019-00880-1).

GAMARRA, R. M.; TEIXEIRA, G. M. C.; CARRIJO, M. G. G.; PARANHOS, A. C. Use of NDVI in the analysis of vegetation structure and effectiveness of protection of conservation units in the cerrado. **RAEGA**, v. 37, p. 307- 332, ago./2016. DOI: [10.5380/raega.v37i0.42454](https://doi.org/10.5380/raega.v37i0.42454). Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/raega/article/view/42454>. Acesso em: 28 fev. 2025.

GOERL, R.F.; SIEFERT, C.A.C.; SCULTZ, G.B.; SANTOS, C.S.; SANTOS, I. Elaboração e Aplicação de índices de fragmentação e conectividade da paisagem para análise de bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.5, n.1, p.1000-1012, 2011. DOI: [10.26848/rbgf.v4i5.232678](https://doi.org/10.26848/rbgf.v4i5.232678). Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/232678>. Data de acesso: 14 mai. 2025.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual técnico da vegetação brasileira**: sistema fitogeográfico; inventário das formações florestais e campestres; técnicas e manejo de coleções botânicas; procedimentos para mapeamentos. 2. ed. Rio de Janeiro: IBGE, Coordenação de Recursos

Naturais e Estudos Ambientais, 2012, 276 p (Manuais Técnicos em Geociências, n. 1).

KRIZEK, J.P.O.; SANTOS, L.C.M. Protocolo metodológico para obtenção dos valores de reflectância e de NDVI de imagens Landsat 8/OLI utilizando LEGAL. **Revista Brasileira de Geografia Física** v. 14, n. 2, p. 869-880, 2021. DOI: [10.26848/rbgf.v14.2.p869-880](https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.2.p869-880).

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos: Parêntese, 2009.

RESENDE, T. M.; ROSOLEN, V. Conversão da vegetação de cerrado em pastagens: impactos ambientais e alterações no teor e natureza do carbono orgânico do solo. **GEOGRAFIA**, Rio Claro, v. 36, n. 3, p. 609-621, set./dez. 2011. Disponível em: <https://www.periodicos.rc.biblioteca.unesp.br/index.php/ageteo/article/view/8462/5955>. Acesso em: 14 mai 2025.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS (Earth Resources Technology Satellite). In: SYMPOSIUM ON SIGNIFICANT RESULTS OBTAINED FROM THE EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE, 3., 1973, Washington, DC. **Proceedings** [...]. Washington, DC: NASA, 1974. p. 309-317. (NASA Special Publication, SP-351). Disponível em: <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19740022614/downloads/19740022614.pdf>. Acesso em: 14 mai. 2025.

SILVA, O. F. **Análise de imagens multitemporais do sensor TM Landsat-5 da vegetação do Cerrado, utilizando técnicas de NDVI, no Parque Nacional das Emas – Goiás**. 2014. 95f. Dissertação (Mestrado em Tecnologias de Processos Sustentáveis) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Goiânia, 2014.

TAGLIARINI, F. S. N. **Imagens de drone e Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para classificação segmentada em Áreas de Preservação Permanente (APP)**. 2020. 148f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2020.

USGS. United States Geological Survey. **Landsat Project documents**. [S. l.], [20--?]. Disponível em: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-project-documents>. Acesso em: 12 mar. 2024.

WEBER, E. J.; SILVA, J. F.; OLIVEIRA, J. S. S. Considerações e procedimentos para o processamento do balanço de energia no software GRASS GIS 7.4.0: um estudo no município de Floresta (Pernambuco - Brasil). **Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto**, v. 1, n. 1, p. 51-65. 2020. Disponível em: <https://rbsr.com.br/index.php/RBSR/article/view/7>. Acesso em: 12 mar 2025.

YANG, D.; ZHIYUAN, Y. WEN, Q.; MA, L.; GUO, J.; CHEN, A.; ZHANG, M.; XING, X.; YUAN, Y.; LAN, X.; CHUN, Y. Dynamic monitoring of aboveground biomass in inner Mongolia grasslands over the past 23 Years. **Journal of Environmental Management**. v. 354, e120415, 2024. DOI: [10.1016/j.jenvman.2024.120415](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.120415). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479724004018?via%3Dihub>. Acesso em: 10 mai 2025.

Como citar este artigo:

MUZZOLON, Anderson; LARANJA, Ruth Elias de Paula. Do verde ao cinza? A história da cobertura vegetal em Corumbá IV contada pelo NDVI. **GEOGRAFIA**, Rio Claro-SP, v. 50, n. 1, e-19394, 2025. DOI: <https://doi.org/10.5016/geografia.v50i1.19394>

Recebido em 05 de junho de 2025

Aceito em 20 de outubro de 2025