



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
INSTITUTO DE CIENCIA BIOLOGICAS
CURSO ECOLOGIA E ANÁLISE AMBIENTAL**

Diagnóstico da detecção e avaliação da sucessão ecológica no Cerrado com dados do MapBiomass

Ana Paula Carlos Assunção

**Goiânia
Dezembro 2025**



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR VERSÕES ELETRÔNICAS DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO DE GRADUAÇÃO NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DA UFG

Na qualidade de titular dos direitos de autor, autorizo a Universidade Federal de Goiás (UFG) a disponibilizar, gratuitamente, por meio do Repositório Institucional (RI/UFG), regulamentado pela Resolução CEPEC no 1240/2014, sem ressarcimento dos direitos autorais, de acordo com a Lei no 9.610/98, o documento conforme permissões assinaladas abaixo, para fins de leitura, impressão e/ou download, a título de divulgação da produção científica brasileira, a partir desta data.

O conteúdo dos Trabalhos de Conclusão dos Cursos de Graduação disponibilizado no RI/UFG é de responsabilidade exclusiva dos autores. Ao encaminhar(em) o produto final, o(s) autor(a)(es)(as) e o(a) orientador(a) firmam o compromisso de que o trabalho não contém nenhuma violação de quaisquer direitos autorais ou outro direito de terceiros.

1. Identificação do Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação (TCCG)

Nome(s) completo(s) do(a)(s) autor(a)(es)(as): Ana Paula Carlos Assunção

Título do trabalho: Diagnóstico da detecção e avaliação da sucessão ecológica no Cerrado com dados do MapBiomas

2. Informações de acesso ao documento (este campo deve ser preenchido pelo orientador) Concorda com a liberação total do documento [X] SIM [] NÃO¹

[1] Neste caso o documento será embargado por até um ano a partir da data de defesa. Após esse período, a possível disponibilização ocorrerá apenas mediante: a) consulta ao(a)(s) autor(a)(es)(as) e ao(a) orientador(a); b) novo Termo de Ciência e de Autorização (TECA) assinado e inserido no arquivo do TCCG. O documento não será disponibilizado durante o período de embargo.

Casos de embargo:

- Solicitação de registro de patente;
- Submissão de artigo em revista científica;
- Publicação como capítulo de livro.

Obs.: Este termo deve ser assinado no SEI pelo orientador e pelo autor.



Documento assinado eletronicamente por **Ana Paula Matos E Silva, Supervisora**, em 10/12/2025, às 16:13, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Ana Paula Carlos Assunção, Discente**, em 10/12/2025, às 16:35, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_organ_acesso_externo=0, informando o código verificador **5815066** e o código CRC **024612F4**.

Ana Paula Carlos Assunção

Diagnóstico da detecção e avaliação da sucessão ecológica no Cerrado com dados do MapBiomias

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Goiás, como requisito para obtenção do grau de Ecologia e Análise Ambiental

Orientadora: Me. Ana Paula Matos e Silva

Coordenadora: Dra. Alessandra Bertassoni da Silva

**Goiânia
Dezembro 2025**

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UFG.

Assunção, Ana Paula Carlos

Diagnóstico da detecção e avaliação da sucessão ecológica no Cerrado com dados do MapBiomas [manuscrito] / Ana Paula Carlos Assunção. 2025.

XXXI, 31 f.: il.

Orientador: Prof. Ana Paula Matos e Silva; co-orientador Alessandra Bertassoni da Silva.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Goiás, Instituto de Ciências Biológicas (ICB), Ecologia e Análise Ambiental, Goiânia, 2025.

Bibliografia.

Inclui siglas, abreviaturas, tabelas, lista de figuras.

1. dinâmica espaço-temporal. 2. sucessão ecológica. 3. savana. 4. sensoriamento remoto. 5. uso e cobertura do solo. I. Silva, Ana Paula Matos e , orient. II. Título.

CDU 574



UNIVERSIDADE FEDERAL DE GOIÁS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Aos 04 dias do mês de dezembro do ano de 2025 iniciou-se a sessão pública de defesa do Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) intitulado “Diagnóstico da detecção e avaliação da sucessão ecológica no Cerrado com dados do MapBiomias”, de autoria de Ana Paula Carlos Assunção, do curso de Ecologia e Análise Ambiental, do Instituto de Ciências Biológicas da UFG. Os trabalhos foram instalados pela Profa. Me. Ana Paula Matos e Silva (IESA/UFG) com a participação dos demais membros da Banca Examinadora: Me. Luiz Gabriel Barbosa Dias (ICB/UFG) e Me. Bárbara Costa da Silva (UnB). O trabalho foi coorientado pela Dra. Alessandra Bertassoni da Silva (ICB/UFG). Após a apresentação, a banca examinadora realizou a arguição do(a) estudante. Posteriormente, de forma reservada, a Banca Examinadora atribuiu a nota final de 10,0 (dez), tendo sido o TCC considerado **aprovado**.

Proclamados os resultados, os trabalhos foram encerrados e, para constar, lavrou-se a presente ata que segue assinada pelos Membros da Banca Examinadora.



Documento assinado eletronicamente por **Ana Paula Matos E Silva**, **Usuário Externo**, em 02/03/2026, às 12:11, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Bárbara Costa Da Silva**, **Usuária Externa**, em 02/03/2026, às 14:46, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Alessandra Bertassoni Da Silva**, **Professora do Magistério Superior**, em 02/03/2026, às 15:10, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Luiz Gabriel Barbosa Dias**, **Usuário Externo**, em 02/03/2026, às 19:05, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no § 3º do art. 4º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **6016283** e o código CRC **9193307A**.

Resumo

O bioma Cerrado, a savana mais biodiversa do mundo, está sob intensa pressão de conversão de uso e cobertura da terra, exigindo monitoramento da sua dinâmica de sucessão ecológica. Este trabalho teve como objetivo analisar a série temporal do MapBiomas para qualificar os processos de sucessão ecológica a partir da ambígua classe Mosaico de Uso (Classe 21), que representa áreas em regeneração inicial. A metodologia focou-se na análise da trajetória temporal dos pixels e na incrementação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) como indicador de estrutura vegetacional. A análise demonstrou a eficácia do método em superar a incerteza espectral da classe Mosaico de Uso, que apresentou 66% de inconsistência em relação à coleção de referência, ao detectar assertivamente 54 pontos de transição para a vegetação natural. A permanência consistente da classe de vegetação natural após a conversão de Mosaico de Uso e o aumento do NDVI nos anos corroboraram as duas hipóteses, atestando que as transições capturadas representam um estabelecimento estrutural da vegetação e não meras flutuações espectrais. Os resultados revelam que 88,89% dos processos sucessionais detectados são de origem antrópica, destacando o potencial de resiliência natural do Cerrado em áreas previamente utilizadas para agropecuária. O estudo, contudo, alerta para o risco de superestimação das áreas naturais do bioma, já que 10,37% dos pontos foram erroneamente classificados como naturais, reforçando a necessidade do critério de consistência temporal. Este diagnóstico complementa lacunas científicas ao fornecer uma metodologia robusta que lida com a heterogeneidade espacial do bioma, oferecendo uma base sólida para o aprimoramento de futuras versões do MapBiomas e para a maior eficácia das políticas de recuperação e conservação.

Palavras-chaves: dinâmica espaço-temporal, sucessão ecológica, savana, sensoriamento remoto, uso e cobertura do solo

Abstract

The Cerrado biome, the most biodiverse savanna in the world, is under intense pressure from land use and land cover conversion, requiring monitoring of its ecological succession dynamics. This study aimed to analyze the MapBiomas time series to qualify ecological succession processes based on the ambiguous Land Use Mosaic class (Class 21), which represents areas in initial regeneration. The methodology focused on analyzing the temporal trajectory of pixels and the increase in the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) as an indicator of vegetation structure. The analysis demonstrated the effectiveness of the method in overcoming the spectral uncertainty of the Mosaic Use class, which presented 66% inconsistency in relation to the reference collection, by accurately detecting 54 transition points to natural vegetation. The consistent permanence of the natural vegetation class after the conversion of Land Use Mosaic and the increase in NDVI over the years corroborated the two hypotheses, confirming that the transitions captured represent a structural establishment of vegetation and not mere spectral fluctuations. The results reveal that 88.89% of the succession processes detected are of anthropogenic origin, highlighting the natural resilience potential of the Cerrado in areas previously used for agriculture and livestock. The study, however, warns of the risk of overestimating the natural areas of the biome, since 10.37% of the points were mistakenly classified as natural, reinforcing the need for temporal consistency criteria. This diagnosis fills scientific gaps by providing a robust methodology that addresses the spatial heterogeneity of the biome, offering a solid basis for improving future versions of MapBiomas and for more effective recovery and conservation policies.

Keywords: spatiotemporal dynamics, ecological succession, savanna, remote sensing, land use and land cover

AGRADECIMENTO

Quero agradecer aos aprendizados adquiridos ao longo do curso de Ecologia e Análise Ambiental. Eu amo a minha graduação, e cada conhecimento construído durante esses anos tem sido essencial para minha formação. Agradeço também ao Laboratório de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento, onde tenho aprendido inúmeras habilidades que se tornaram fundamentais para a minha trajetória acadêmica e para a profissional que estou me tornando. Sou profundamente grata por todo o aprendizado que venho acumulando e às pessoas que, com paciência, têm caminhado ao meu lado com dedicação e carinho.

Quero expressar minha gratidão ao professor Laerte Ferreira, que tem me proporcionado diversas oportunidades e demonstrado a alegria de me ter na equipe. Sua confiança e incentivo foram determinantes para o meu crescimento.

Agradeço também aos meus amigos, que fizeram parte da minha trajetória acadêmica e que espero levar para a vida.

Por fim, agradeço a duas mulheres pesquisadoras que foram fundamentais para a realização deste trabalho. Sua orientação e apoio tornaram possível a conclusão de uma fase muito importante da minha trajetória acadêmica e profissional. Às minhas orientadoras, deixo meu sincero agradecimento.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	6
MATERIAS E MÉTODOS	8
1. Área de Estudo	8
2. Base de Dados	10
3. Manipulação dos Dados	11
3.1 Detecção	12
3.2 indicador funcional de estrutura vegetacional	13
RESULTADOS	13
DISCUSSÕES	17
CONCLUSÃO	21
REFERÊNCIAS	23

INTRODUÇÃO

O Cerrado, reconhecido globalmente como a savana mais biodiversa do mundo, com aproximadamente 2 milhões de km², é o segundo maior bioma do Brasil [1]. A sua relevância vai além da biodiversidade de fauna e flora, em grande parte endêmica. A função hidrológica é notável, levando o bioma a ser denominado como “berço das águas do Brasil”, por abrigar as nascentes de algumas das principais bacias hidrográficas da América do Sul [2]. O Cerrado também apresenta uma grande variação latitudinal e longitudinal, resultando em diferentes fitofisionomias e ecossistemas [3,4].

Assim, o bioma é formado por uma vasta heterogeneidade fitofisionômica, que varia desde campos limpos, dominados por gramíneas e algumas espécies arbustivas, passando por campos sujos e cerrado *sensu stricto*, até cerradões e matas de galerias, que possuem dossel arbóreo mais denso e elevado [5]. Essa heterogeneidade é resultado de trajetórias evolutivas, fatores abióticos, como as propriedades do solo, topografia, clima, disponibilidade hídrica e frequência de fogo [6, 7, 8, 9]. Entretanto, toda essa diversidade está sob constante ameaça [10]. A expansão da fronteira agropecuária e a supressão histórica converteram grandes áreas de vegetação nativa, tornando-o um dos 25 *hotspots* de biodiversidade mais vitais [11]. A pressão sobre o Cerrado tem se intensificado nas últimas décadas, com elevadas áreas de conversão de áreas nativas para usos antrópicos [12], e isso reforça a urgência de monitorar e compreender a dinâmica de uso e cobertura da terra neste bioma.

A legislação ambiental brasileira, especialmente o Código Florestal (Lei 12.651/2012), é o principal instrumento que regula a supressão e a recuperação da vegetação nativa no Cerrado. O Código Florestal exige que propriedades rurais mantenham uma porcentagem mínima de vegetação nativa, chamada de Reserva Legal (RL), que no Cerrado é de 35% dentro da Amazônia Legal e 20% no restante. Além disso, Áreas de Preservação Permanente (APPs) em margens de rios e nascentes, devem ser protegidas e restauradas quando degradadas [13]. Mesmo com as legislações, em 2019 o Ministério do Meio Ambiente e a plataforma de alerta MapBiomas, registrou que o Cerrado foi o bioma brasileiro com os maiores níveis de supressão entre 2018 e 2019, e cerca de 95% dos alertas de desmatamento ocorreram em áreas que não tinham licenciamento para suprimir, sendo que mais de 1400 ha

de supressão ocorreram em reservas legais.

Em contrapartida, dados mostram um exponente avanço da vegetação secundária no Cerrado desde 1985, dos quais cerca de 10 mha seria proveniente de processos de sucessão ecológica [12, 14]. A sucessão ecológica é o processo dinâmico e direcional de mudanças na composição de espécies, estrutura da vegetação e funcionamento do ecossistema ao longo do tempo, após a ocorrência de um distúrbio, que pode ser natural ou antrópico. Ela resulta da interação entre fatores bióticos e abióticos, que conduz uma sequência de estados ecológicos transitórios que podem avançar, estabilizar ou regredir conforme a intensidade e a frequência dos distúrbios [15]. É possível observar os estágios transitórios mensurando, na janela temporal, atributos do ecossistema, como diversidade, composição de espécies, estrutura da vegetação, entre outros [16].

No Cerrado, esse processo pode ser facilitado pelo banco de sementes no solo [17], pela incidência do fogo [18, 19] e os propágulos da paisagem ao redor, que serão influenciados, pela quantidade de vegetação nativa e a conectividade entre fragmentos, [20]. Entretanto, no contexto heterogêneo do Cerrado é difícil identificar o nível de degradação do ecossistema [21], e além disso, a sucessão não segue um caminho linear, mas sim um gradiente de estados e transições, inclusive sendo difícil de mensurar seu início e estabelecimento com o passar dos anos [22]. O que torna o monitoramento deste processo de evolução da vegetação desafiador, mas de grande valia dado o contexto de importância e degradação do bioma.

Dados de sensoriamento remoto permitem quantificar o uso e cobertura da terra ao longo do tempo e do espaço. Por meio de imagens de satélites é possível ainda detectar as variações na cobertura vegetal, vigor, altura e saúde da vegetação ao longo do tempo [23]. Sendo assim uma ferramenta importante no estudo da sucessão ecológica, permitindo análises multiescalares, identificação de distúrbios e monitoramento da estrutura vegetacional [24]. A rede MapBiomas, através de sua série temporal consolidada, permite abordar a sucessão ecológica ao disponibilizar mapas anuais de cobertura e uso da terra do Brasil desde 1985.

Contudo, a interpretação detalhada dessas classificações apresenta desafios técnicos. No Cerrado, esse desafio é acentuado pela classe Mosaico de Uso (classe 21). Esta classe representa uma complexa mistura de alvos em uma mesma área de pixel, o que dificulta que o classificador discrimine o uso. A ambiguidade espectral resultante dificulta a identificação de um único alvo, levando posteriormente esse pixel a ser classificado como Mosaico de uso.

Segundo o MapBiomas, para o Cerrado, o Mosaico de Uso é vinculado também a pastagens abandonadas em estágios iniciais de regeneração natural.

Detectar e quantificar os processos sucessionais no Cerrado, por meio de sensoriamento remoto e uso da série temporal do MapBiomas, ainda é difícil dada à heterogeneidade estrutural do bioma. A dificuldade ainda é ampliada na determinação de distinção entre pastagens degradadas e vegetação em estágio inicial. Nesse contexto, a classe Mosaico de Uso emerge como um ponto de incerteza, já que agrega múltiplos tipos de uso e cobertura. Esse fato auxilia a mascarar em que medida transições da classe Mosaico de Uso para vegetação natural representam sucessão ecológica ou apenas erro de classificação. Analisar essas transições na série temporal é essencial para compreender a dinâmica de recuperação da vegetação natural no Cerrado, qualificar o mapeamento e melhorar a interpretação dos processos sucessionais no bioma.

Diante disso, esse trabalho tem como objetivo analisar a série temporal e os processos de transição vegetacional, com ênfase na conversão da classe Mosaico de Uso para a vegetação natural, incorporando a avaliação de um indicador de estrutura vegetacional à presença e permanência temporal da vegetação natural. A primeira hipótese prediz que a partir da análise temporal do uso e cobertura da terra no Cerrado será possível detectar a classe Mosaico de Uso tornando-se vegetação natural. A segunda hipótese propõe que o incremento do valor do indicador de estrutura vegetacional (índice de vegetação por diferença normalizada), produto do sensoriamento remoto, estará positivamente relacionado com a permanência temporal da vegetação natural.

MATERIAS E MÉTODOS

1. Área de Estudo

A pesquisa foi desenvolvida em escala de bioma, utilizando como delimitação geográfica o Bioma Cerrado (IBGE) o qual abrange cerca de 22% do território brasileiro. Este bioma é marcado pelo clima tropical sazonal, caracterizado por duas estações bem definidas: um período chuvoso, concentrado entre os meses de outubro e abril, com precipitação média anual variando aproximadamente de 800 mm a 2.000 mm, e um período de seca acentuada, que ocorre geralmente entre maio e setembro, caracterizado por umidade relativa baixa e maior incidência de queimadas naturais e antrópicas. Embora o clima atue de forma indireta

sobre a vegetação, ele é fundamental.

O tipo de substrato exerce uma influência crucial na determinação das variações locais das fitofisionomias dentro do Cerrado. A distribuição da flora é condicionada pela química e física do solo, pela disponibilidade de água e nutrientes, pela geomorfologia e topografia. No Cerrado, predominam os latossolos, que ocorrem tanto em áreas sedimentares quanto em terrenos cristalinos. As formas fisionômicas do Cerrado, segundo Eiten (1994), dependem fundamentalmente de três aspectos do substrato: a fertilidade e o teor de alumínio disponível, a profundidade do solo e o grau de saturação hídrica das camadas superficiais do solo.

A vasta variedade de tipos fitofisionômicos do Cerrado resulta da interação complexa de todos os parâmetros bióticos e abióticos. A densidade arbórea, que define subtipos como Cerrado Denso, Típico e Ralo, é influenciada pelos solos que são tipicamente ácidos, com carência generalizada de nutrientes e altas taxas de alumínio. Já as formações de floresta ocorrem em solos bem drenados e, em geral, mais ricos em nutrientes. O nível de caducifolia durante a estação seca está intimamente relacionado às condições químicas, físicas e, principalmente, à profundidade do solo.

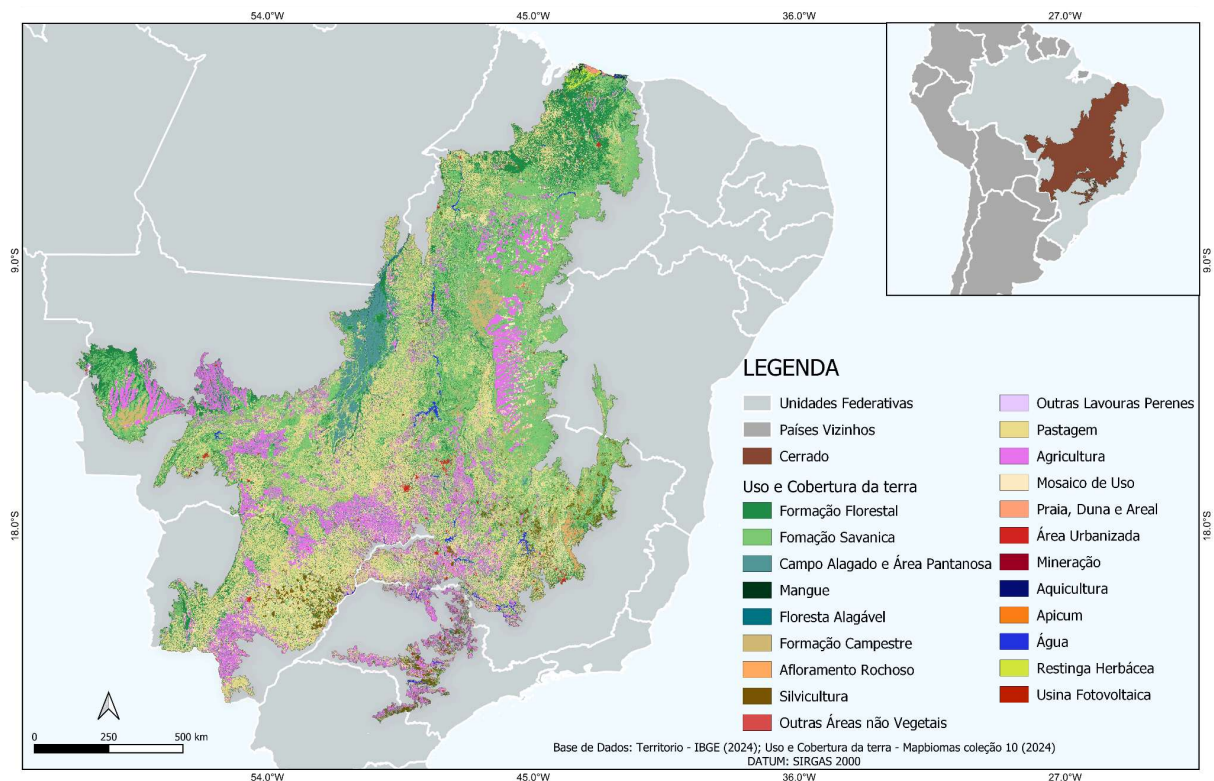


Figura 1: Mapa de Localização do Bioma Cerrado

2. Base de Dados

A série temporal de uso e cobertura da terra da Coleção 9 do MapBiomas foi empregada para avaliar a detecção do processo de sucessão ecológica, com ênfase nas transições da classe Mosaico de Usos. No Cerrado, esta classe é definida como paisagens agropecuárias nas quais não é possível distinguir claramente entre pastagem e agricultura, podendo incluir pastagens abandonadas em estágios iniciais de regeneração, áreas antropizadas dentro de unidades de conservação (exceto APAs e Terras Indígenas) e zonas periurbanas, como pequenas propriedades rurais e conjuntos habitacionais [12].

A base de referência para a classe Mosaico de Uso foi elaborada pelo Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento (LAPIG/UFG), a partir de metodologia específica que envolveu um desenho amostral robusto destinado a extrair, da série temporal da Coleção 9, pixels previamente classificados como Mosaico de Uso (Figura 2). Esses pixels foram então analisados por intérpretes especializados, que identificaram a classe real de uso ou cobertura com apoio de imagens de satélite. Dessa forma, a base de referência não inclui a classe Mosaico de Uso, mas apenas o uso ou cobertura efetivamente observados [25].

Conforme o ATBD (2025), o desenho amostral utilizou um mapa acumulado da classe Mosaico de Usos entre 1985 e 2023. Inicialmente, removeram-se pixels situados em bordas entre classes (cerca de 69% do total), mantendo apenas aqueles cujos vizinhos também estavam classificados como Mosaico de Usos, a fim de evitar vieses associados a transições espaciais. Em seguida, aplicou-se a regionalização por grade Landsat e procedeu-se à estratificação dos pixels em cinco grupos, com base na frequência anual de mapeamento como classe mosaico de uso: 1–9 anos; 10–19 anos; 20–29 anos; mais de 30 anos; e um estrato adicional para categorias com menos de 10 mil pixels por região. A partir dessa estratificação, foram gerados 10.000 pontos aleatórios, dos quais aproximadamente 3.951 se situam no Cerrado.

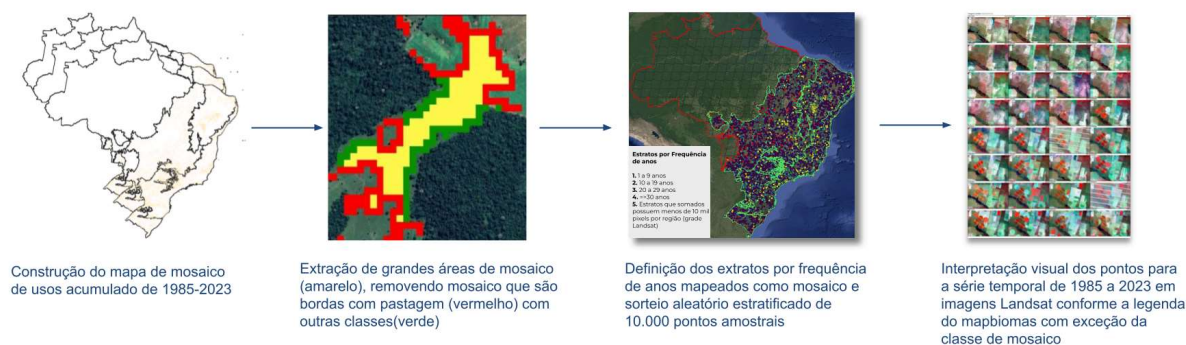


Figura 2: Metodologia para a interpretação da classe mosaico de uso, criado pelo laboratório de sensoriamento remoto e geoprocessamento

3. Manipulação dos Dados

A análise da classe Mosaico de uso do MapBiomias foi realizada por exploração detalhada da série temporal, utilizando os pontos dos dados de referência em comparação ao dado do MapBiomias. A planilha dos pontos de referência, com a coordenada geográfica, foi importada para o Google Earth Engine (GEE), onde foi realizado o filtro espacial para o bioma Cerrado e a extração da série histórica para cada ponto. Assim, criou-se a planilha completa com as informações de duas classificações, proveniente do MapBiomias e a referencial. Posteriormente, essa planilha foi importada para dentro do software R. O objetivo central desta metodologia foi identificar transições indicativas de sucessão ecológica no MapBiomias e compará-las aos dados de referência.

O processamento baseou-se na técnica de Codificação de Comprimento de Sequência (*Run-Length Encoding* - RLE) aplicada à série temporal de cada ponto amostral. O RLE permitiu identificar e sumarizar blocos contínuos de classes idênticas, transformando a série temporal em uma sequência de eventos, cada um caracterizado por sua classe, sua duração (frequência) e o período de tempo (anos de início e fim) de sua ocorrência.

Com a estrutura temporal organizada, e a incorporação das informações a mais, foi possível avançar para a etapa de filtragem das transições de interesse. Inicialmente, foram selecionados apenas os eventos em que a classe Mosaico de Uso era seguida por uma classe pertencente ao conjunto de formações naturais do Cerrado, uma vez que tais transições representam potenciais indicativos de processos sucessionais. Para isso, o algoritmo descartou automaticamente todos os casos nos quais a transição posterior não correspondia a uma classe

natural, mantendo apenas sequências do tipo X-21-Y, em que Y estivesse dentro do grupo de vegetação natural. Esse procedimento garantiu que a análise se concentrasse exclusivamente nos cenários em que a classe Mosaico de Uso poderia estar sinalizando regeneração ambiental ao longo da série temporal.

3.1 Detecção

Com as informações extraídas e filtradas, o passo seguinte foi a análise comparativa dos padrões de transição. Foi elaborada uma tabela dinâmica que cruzou a contagem dos tipos de padrões da referência com os tipos de padrões de mapeamento do MapBiomas. Este cruzamento permitiu a quantificação e validação dos eventos. Com isso foram extraídas as informações quantitativas de quantos pontos podem representar um erro no mapeamento do Mapbiomas, como também, permite quantificar o número de classes que estão em processos de sucessão ecológica ao longo da série temporal.

Adicionalmente, no ambiente R, foi desenvolvido um *script* específico para analisar a posição temporal da ocorrência da classe Mosaico de Uso dentro da série histórica de cada ponto. Esse procedimento visa determinar se a classe tende a aparecer mais em estágios iniciais, intermediárias ou finais da série temporal, fornecendo a informação sobre a permanência (refere-se a frequência consecutiva que a classe mosaico de uso é mapeada no mapbiomas) ou transitoriedade do mosaico de uso na paisagem do Cerrado.

A análise sequencial concentrou-se na identificação de ocorrências da classe Mosaico de Uso em contextos que sugerem um evento de sucessão ecológica, considerado como Possíveis Processos Sucessionais, com dois padrões temporais principais:

- **Antrópico - 21 - Natural:** A série temporal inicia com uma classe antrópica ou Mosaico de Uso e é seguida por uma transição para uma classe de vegetação natural.
- **Natural - 21 - Natural:** A classe Mosaico de Uso surge entre classes naturais na série temporal.

Desta forma, foi garantido que a última classe da sequência extraída fosse obrigatoriamente uma classe natural, coletando assim os eventos de transição que indicam a recuperação da vegetação nativa do Cerrado. Esse procedimento também possibilitou quantificar se o início desse processo sucessional ocorre a partir de uma classe antrópica

anterior à ocorrência da classe Mosaico de Uso ou se já deriva de uma condição previamente natural, distinguindo assim trajetórias potenciais de regeneração com origens distintas.

3.2 indicador funcional de estrutura vegetacional

Para avaliar a efetividade do processo de sucessão ecológica nos pontos identificados pela detecção como Possíveis Processos Sucessionais, foram extraídas informações adicionais da estrutura da vegetação, como a série temporal do Índice de Vigor da Vegetação (NDVI). Para obter essa informação foi desenvolvido um script no Google Earth Engine (GEE) utilizando dados das coleções Landsat 4, 5, 7, 8 e 9. Inicialmente, foram selecionadas e padronizadas as bandas utilizadas no cálculo do NDVI, bem como uma renomeação das bandas, para permitir a combinação uniforme das diferentes coleções.

Após essa padronização, todas as coleções Landsat foram unificadas em uma única coleção temporal contínua abrangendo o período de 1985 a 2024. Para cada imagem foi calculado o NDVI. O índice gerado foi incorporado à coleção como uma nova banda, preservando o metadado de tempo para permitir sua representação cronológica.

Como resultado desse processamento no GEE, foram geradas diversas tabelas, cada uma correspondendo a um ponto de observação e contendo os valores mensais de NDVI de 1984 a 2025. Para a análise temporal, essas tabelas foram importadas para o software R, onde se calculou a mediana anual do NDVI para cada ponto. Consideraram-se, consecutivamente os três anos anteriores ao ano inicial da classe mosaico de uso (a-3, a-2 e a-1), cinco anos subsequentes a esse ano em que está sendo mapeado o mosaico de uso (s0, s1, s2, s3 e s4) e três anos posteriores adicionais (d+1, d+2 e d+3). Essa abordagem permitiu analisar a dinâmica temporal da vegetação em uma perspectiva multianual, com foco na tendência e nas variações fotossinteticamente ativa ao longo do período avaliado.

RESULTADOS

A análise de detecção do mapeamento teve um total de 270 pontos (Figura 3) que foram classificados pelo MapBiomass como Mosaico de Uso e como outro uso pela coleção de referência, assim havendo inconsistência, interpretada como erro do mapeamento, representando 66% da totalidade dos pontos. A maior parte dos erros ocorreu na Formação Savânica (45,93%), seguida pela Formação Florestal (30,37%), pela Formação Campestre

(11,11%) e Campo Alagado/Área Pantanosa (2,22%). Por fim, 10,37% dos pontos foram classificados como vegetação natural pelo MapBiomas, embora a referência indicasse uso antrópico.

Em contrapartida, a validação identificou um total de 139 pontos classificados de forma assertiva. Estes acertos estão majoritariamente distribuídos em duas grandes classes. A classe Uso Agropecuário, com 85 pontos assertivos (61,15%), os quais transitam entre usos, pastagens e vegetação. A segunda classe com maior número de acertos foi denominada Possíveis Processos Sucessionais, somando um total de 54 pontos (Figura 4). Essa classe foi subdividida em dois grupos: (i) processos sucessionais decorrentes de uso antrópico e (ii) processos sucessionais decorrentes de cobertura natural. Dos pontos classificados como Possíveis Processos Sucessionais, 48 tiveram origem antrópica, correspondendo a 88,89% do total. Já os pontos associados à cobertura natural somaram 6, o que representa 11,11%.

Diagnóstico	Contagem	Porcentagem
1. Erro do Mapa	270	66%
1.1 Mosaico no Mapa - Formação Savânica na Referência	124	45,93%
1.2 Mosaico no Mapa - Formação Florestal na Referência	82	30,37%
1.3 Mosaico no Mapa - Formação Campestre na Referência	30	11,11%
1.4 Mosaico no Mapa - Campo Alagado e Área Pantanosa na Referência	6	2,22%
1.5 Mapa estar como natural e na referência antrópico	28	10,37%
2. Pontos Assertivos	139	33,99%
2.1 Uso Agropecuário	85	61,15%
2.2 Possível Processos Sucessionais	54	38,85%
2.2.1 Advindo de uma classe Antrópica	48	88,89%
2.2.2 Advindo de uma classe Natural	6	11,11%
TOTAL	409	100%

Figura 3: Porcentagem do diagnóstico do pontos da classe Mosaico de Uso em relação, detalhando os erros e os acertos na área de estudo.

Ao restringir a análise apenas para os pontos que demonstram um processo de sucessão ecológica, a classe de vegetação natural demonstrou uma ampla diferença do tempo de permanência da detecção, variando de apenas 1 ano até a permanência máxima, de 34 anos, sendo a permanência mediana de 7 anos. Em termos de permanência, a maior parte desses pontos passam a ser mapeados de forma consistente como vegetação natural por um período de três anos após a conversão inicial da classe Mosaico de Uso, e apenas 2 pontos, dos 54, que possuem uma classificação de <2 anos de cobertura natural após a conversão de 21.

Analisamos também que a classe mosaico de uso aparece em sua maioria no início da série temporal, principalmente no período que abrange os anos entre 1985 a 2013. O total de pontos classificado como mosaico de uso que aparecem nesse período é de 388, sendo 94,63% de todos os pontos analisados. Majoritariamente, aparecendo em 1985, com 162 pontos. No que se refere à permanência temporal da classe Mosaico de Uso, observou-se uma variação significativa no mapeamento consecutivo dos pontos, com uma permanência mínima de 1 ano e máxima de 34 anos. Bem como, a mediana da contagem consecutiva da classe Mosaico de uso foi de 6 anos.

Na análise de observar padrões na série temporal do Índice de Vigor da Vegetação (NDVI) foi realizada nos 54 pontos (Figura 4).

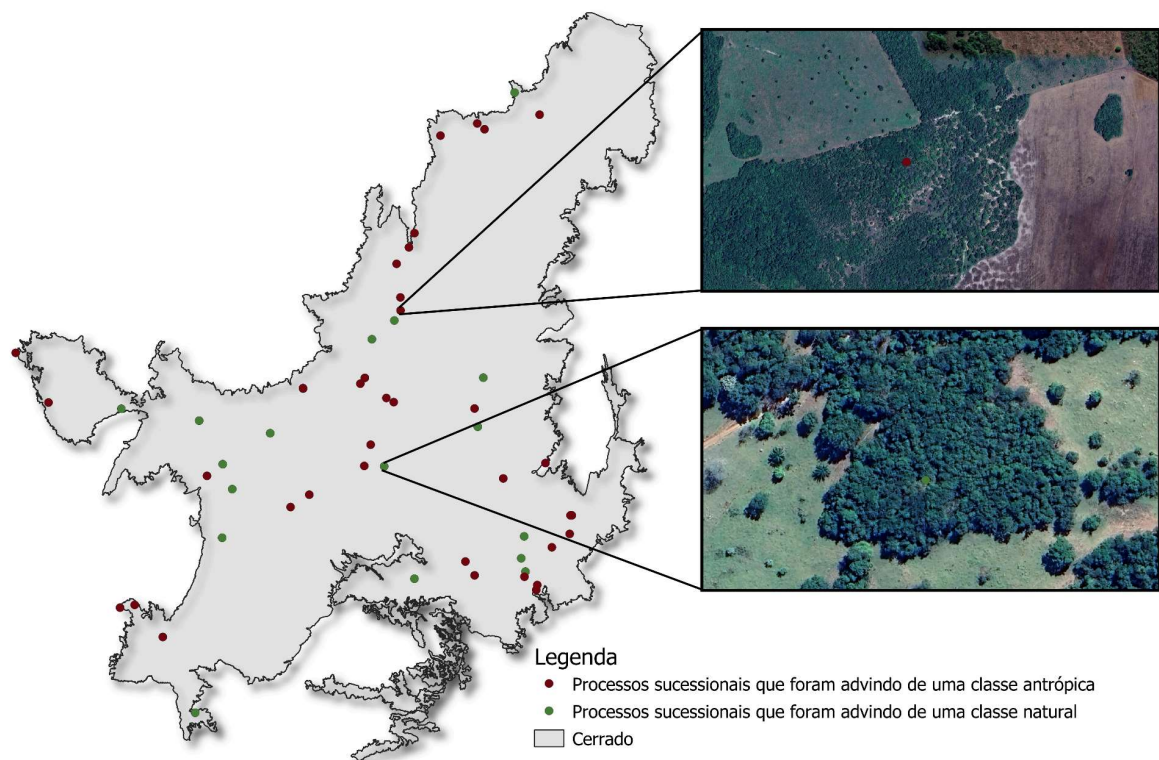


Figura 4: Distribuição espacial dos 54 pontos classificados como 'Possíveis Processos Sucessionais'.

Sendo esses pontos em áreas classificadas anteriormente como de uso antrópico demonstra que no início da série temporal, caracterizada pelos anos anteriores ao evento de referência (a-3, a-2, a-1), a mediana do NDVI apresenta valores significativamente baixos (Figura 5). No entanto, a análise subsequente (a partir de s0 e nos anos seguintes) revela uma

tendência consistente de aumento da mediana do NDVI para as duas classes: a Formação Florestal e a Formação Savânica.

Para a Formação Florestal, o aumento é rápido, atingindo os valores mais altos de NDVI (próximo ou acima de 0.6). A Formação Savânica também exibe um aumento progressivo do vigor, embora em um ritmo inicial mais lento e com valores médios de NDVI ligeiramente inferiores à Formação Florestal.

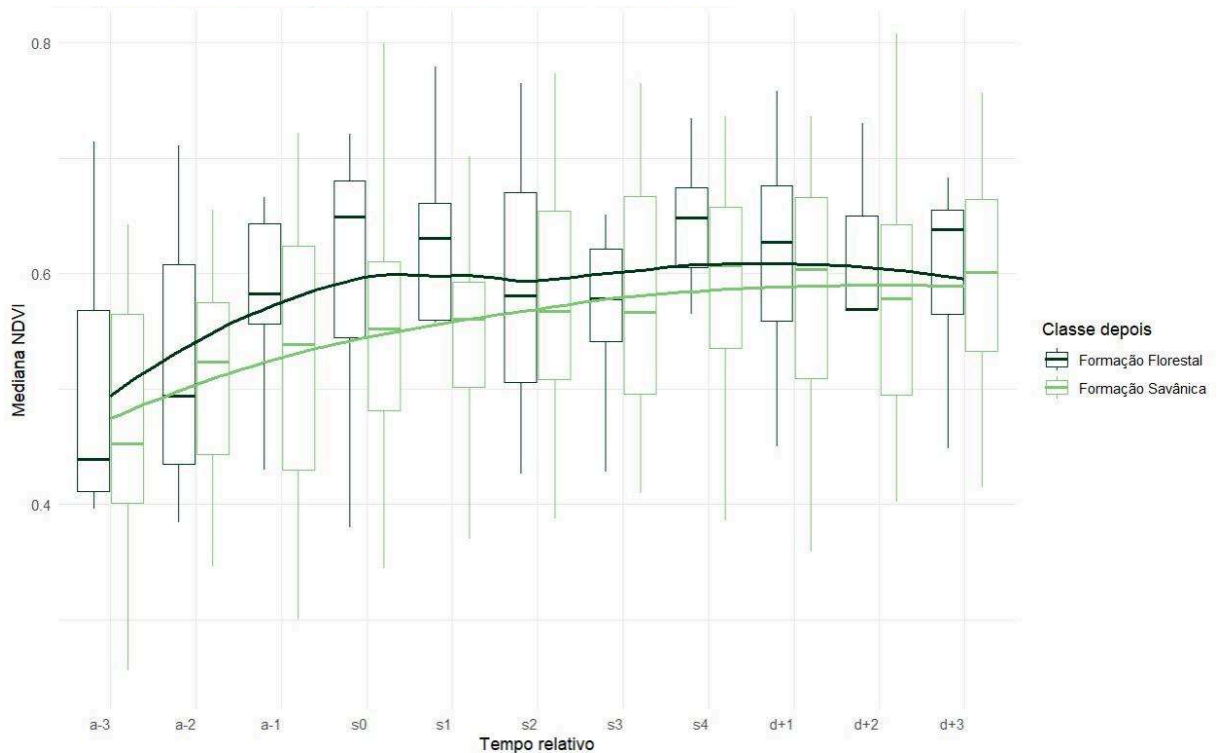


Figura 5: Evolução temporal da mediana do Índice de Vigor da Vegetação (NDVI) para pontos classificados como Possíveis Processos Sucessionais com origem em uso antrópico.

Os pontos classificados anteriormente como vegetação natural demonstram um padrão em que no início da série temporal, caracterizada pelos anos anteriores ao primeiro ano mapeado como a classe mosaico de uso (a-3, a-2, a-1), a mediana do NDVI inicia alta mas já nota-se que em ambas as classes o valor de NDVI cai antes do início da classificação da classe mosaico de uso (s0) (Figura 6). A partir do ano s3 revela uma tendência consistente de aumento da mediana do NDVI para as duas classes: a Formação Florestal e a Formação Savânica.

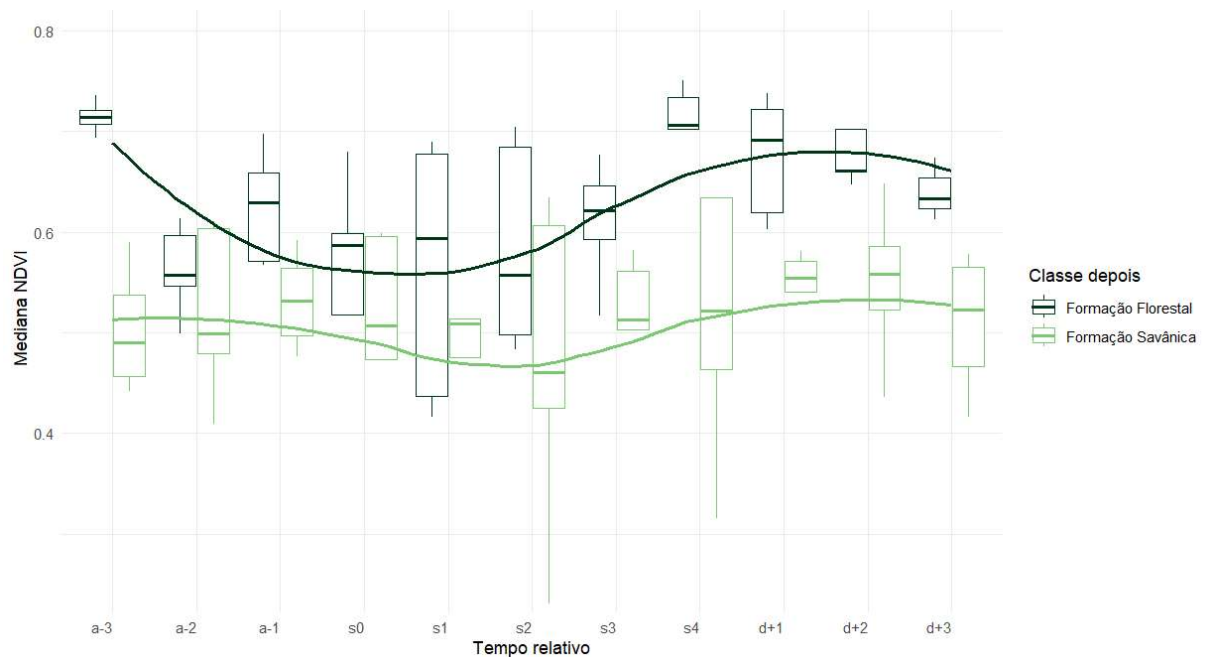


Figura 6: Evolução temporal da mediana do Índice de Vigor da Vegetação (NDVI) para pontos classificados como Possíveis Processos Sucessionais com origem em cobertura natural.

DISCUSSÕES

A abordagem proposta apresentou sucesso em detectar 54 pontos classificados como 'Possíveis Processos Sucessionais', superando incertezas espectrais ao usar uma coleção de referência. Para além, esse conjunto de pontos passaram por transições que representam uma mudança ecológica. A utilização do sensoriamento remoto, em conjunto com mapas da série temporal, funcionam como uma ferramenta para monitorar a dinâmica sucessional, antes configurada como na classe Mosaico de Uso. Compreender a dinâmica do Mosaico de Uso e separar o sinal do processo sucessional do erro de classificação é um avanço metodológico fundamental já que abre caminhos investigativos múltiplos para trabalhar com o processo de sucessão ecológica.

As fontes de inconsistências na classificação do Mosaico de Uso podem residir na estrutura vegetacional das paisagens do Cerrado, onde predomina a classe de Formação Savânica [26]. Esta tem como matriz gramíneas e arbustos, apresentando uma formação estrutural que vai desde fisionomias mais densas, que podem ser confundidas com Formações Florestais, até estágios mais abertos, que se assemelham a um "pasto sujo" [27].

Essas particularidades das respostas espectrais levanta questionamentos sobre a adequação do termo 'Mosaico de Uso' para descrever as dinâmicas das transições observadas. Embora o índice do NDVI, no ano inicial de classificação da classe Mosaico de Uso, já apresenta uma assinatura semelhante à vegetação natural, tal comportamento sugere uma restrição do próprio termo de classificação, uma vez que essas áreas poderiam ter sido identificadas diretamente como vegetação. A elevada taxa de erro (66%) observada na validação da classe Mosaico de Uso reforça essa interpretação.

Por outro lado, a dinâmica temporal em áreas que antes eram vegetação natural, e que transitam para Mosaico de Uso, é marcada por uma redução e posterior recuperação suave do vigor espectral, indicando uma trajetória de perturbação (que se inicia antes da reclassificação) seguida de resiliência, e não uma transição para uso antrópico estável.

Dessa forma, nenhum dos dois cenários deveria ser enquadrado nessa classe, uma vez que não representam, de fato, uma atividade de uso da terra. Em ambos os casos, a classificação como Mosaico de Uso não reflete adequadamente a dinâmica ecológica ou o processo antrópico que essa categoria pressupõe.

A série temporal de imagens do satélite Landsat se apresenta como uma ferramenta ideal para capturar a dinâmica desse processo. No entanto, a alta concentração da classe Mosaico de Uso no início da série temporal é uma observação relevante que pode ser explicada pelas características dos sensores Landsat utilizados nas diferentes missões. A evolução tecnológica resultou em melhorias na capacidade de detecção. Por exemplo, sensores como o OLI (Operational Land Imager) a bordo do Landsat 8 oferecem bandas espectrais aprimoradas, como as bandas do infravermelho de ondas curtas (SWIR), infravermelho próximo (NIR) e vermelho (RED), que são particularmente sensíveis ao teor de água na vegetação, à detecção de cicatrizes de fogo, e à identificação de solo exposto [28]. A integração dessas bandas espectrais e seus respectivos índices espectrais é crucial, pois permite uma análise mais precisa do estágio de sucessão da vegetação após a ocorrência de um distúrbio, e das análises adicionais que podem ser feitas para corroborar o processo sucessional.

Para além da detecção da mudança da classe Mosaico de Uso para a vegetação natural, a análise da permanência temporal da vegetação natural após a conversão. A sucessão ecológica, por ser um processo dinâmico que envolve o estabelecimento físico e mudança estrutural das espécies, demanda tempo para se consolidar e estabilizar [29]. Nesse sentido, a

permanência mínima de três anos na classe de vegetação natural após a conversão inicial é importante [30], para não confundir o fenômeno com as oscilações que as análises anuais do mapeamento podem trazer. Se as transições fossem causadas por ruídos ou falhas temporárias do classificador, seria de se esperar uma oscilação entre classes, na série temporal, algo que não se sustenta como evidência de um processo sucessional. Ao invés de confiar apenas na assinatura espectral momentânea, daquele ano de interesse, é preciso trabalhar com a trajetória temporal do pixel para confirmar a permanência. A permanência consistente de três anos ou mais na classe de vegetação natural após essa mudança, da classe Mosaico de Uso, para reforçar que não foi um ruído ou uma confusão espectral pontual, mas sim uma alteração estrutural e duradoura na vegetação [31, 32].

A validação da sucessão detectada pela permanência temporal é corroborada também pela utilização do indicador funcional, o Índice de Vigor da Vegetação (NDVI). Este índice é um dos indicadores mais tradicionais e amplamente utilizados no sensoriamento remoto para monitoramento da vegetação. Desde sua formulação original por Rouse et al. (1974), o NDVI consolidou-se como um *proxy* para a atividade fotossintetizante da vegetação e para a densidade de biomassa, permitindo inferir o estado de vigor e a cobertura vegetal [33]. A resposta espectral captada nas bandas do vermelho e do infravermelho próximo permite derivar métricas relacionadas ao vigor vegetativo, ao fechamento do dossel e à dinâmica sazonal da cobertura vegetal, por isso é um dos índices mais presentes em estudos de sucessão ecológica e mudanças no uso e cobertura da terra [34, 35]. Dada a sua longa série histórica disponível através das missões Landsat, que se estendem desde 1985, foi possível analisar a evolução do NDVI ao longo de toda a série temporal nos pontos de sucessão. Os resultados mostraram que o aumento consistente da mediana do NDVI nas áreas de Formação Florestal e Savânica, após a transição da classe Mosaico de Uso, é a prova de que houve um incremento significativo na estrutura e no vigor da vegetação. Essa tendência de crescimento do NDVI ao longo da série histórica demonstra o avanço do processo de sucessão ecológica, desde os estágios iniciais do processo de sucessão ecológica até o estabelecimento de uma estrutura vegetal mais madura [36].

No entanto, apesar do sucesso em isolar os pontos de sucessão ecológica, é crucial analisar as limitações inerentes ao mapeamento em larga escala. O diagnóstico feito neste trabalho mostrou que a pontos que foram erroneamente classificados como vegetação natural pelo MapBiomas, quando, na verdade, a classe de referência indicava uso antrópico. Esse

achado demonstra um risco de superestimação da regeneração natural do bioma. A confusão espectral que leva a esse tipo de erro pode decorrer de uma série de fatores, como o aumento da biomassa das arbustivas em pastagens mal manejadas que são espectralmente similares à vegetação nativa. Esse resultado reforça a importância de análises temporais aprofundadas [37].

É importante ir além da classificação anual e verificar a consistência e o estabelecimento estrutural da vegetação, a trajetória do pixel corretamente classificado pode refletir na trajetória ecológica daquela vegetação. Sem esse rigor temporal, relatórios e políticas públicas podem se basear em dados que inflacionam o ganho de vegetação, mascarando a real perda do Cerrado. Neste contexto, o Mosaico de Uso demonstra ser vulnerável a interpretações equivocadas, isso reforça o foco contínuo de estudos metodológicos para qualificar o mapeamento do MapBiomass, garantindo que as transições mapeadas reflitam de forma fidedigna a dinâmica de uso e cobertura da terra [37].

Apesar da capacidade da análise temporal em qualificar as transições da classe Mosaico de Uso, os resultados precisam de aprofundar o rigor metodológico em estudos futuros, buscando aumentar a certeza, por meio de outros indicadores, e um dos indicadores seria entender melhor o contexto da dimensão espacial dos pontos de sucessão detectados. É fundamental conduzir análises espaciais que considerem a influência do contexto da paisagem, examinando fatores como a proximidade de fragmentos de vegetação nativa, que atuam como fontes de propágulos, a conectividade entre esses fragmentos e a natureza da matriz circundante. A heterogeneidade da paisagem tem um papel no processo de sucessão ecológica no Cerrado, influenciando o sucesso da regeneração [38].

Outros indicadores como dados de biomassa estimada, vigor da pastagem e altura da vegetação são indicadores funcionais complementares que descrevem dimensões-chave da estrutura vegetacional, como o porte da vegetação, vigor fisiológico de pastagem, indicando sinais iniciais de sucessão quanto vigor for demasiadamente alto, e complexidade vertical. Esses atributos potencialmente refletem diretamente o estado e o avanço da sucessão ecológica em vegetação natural, permitindo identificar desde estágios de sucessão ecológica até formações estruturalmente maduras e podem incrementar esse tipo de análise, quando gerada para sucessões ocorridas após o ano de 2000.

Além disso, para validar o potencial da classe Mosaico de Uso como indicativo de sucessão, seria valioso sobrepor os pontos de sucessões detectados com o produto de

vegetação secundária do MapBiomias. Embora o presente trabalho tenha focado exclusivamente na dinâmica da classe Mosaico de Uso, o produto de vegetação secundária engloba outras transições de usos antrópicos para vegetação nativa, o que permitiria verificar a coincidência geográfica e, conseqüentemente, corroborar a classificação dos pontos analisados. Essa abordagem combinada, espacial e temática, qualificaria ainda mais a capacidade do sensoriamento remoto em monitorar a sucessão ecológica do Cerrado.

Ao validar que uma parte significativa do que é classificado como Mosaico de Uso pode, de fato, representar áreas com potencial de regeneração ecológica, o estudo transforma essa classe de uma fonte de incerteza para um indicador de sucessão ecológica do Cerrado. Contudo, é fundamental que essa descoberta seja interpretada com a devida cautela, visto que a análise de validação revelou que a maioria dos pontos da classe Mosaico de Uso são, na verdade, erros de mapeamento. Essa discrepância ressalta a importância de não se assumir a sucessão ecológica sem a devida análise temporal.

O estudo contribui para o aprimoramento de versões futuras do MapBiomias e de outras plataformas de monitoramento de uso e cobertura da terra, oferecendo um critério de consistência temporal que pode ser incorporado. Além disso, o diagnóstico gerado preenche lacunas importantes no conhecimento sobre a sucessão ecológica no Cerrado. Historicamente, o monitoramento tradicional é dificultado pela complexa diversidade de paisagens e pela dificuldade de diferenciar, no campo ou em imagens, o uso antrópico da vegetação nativa que está em regeneração[39]. Nossas descobertas trazem mais confiança ao monitoramento dessa dinâmica, pois fornece uma metodologia baseada em série temporal. Isso estabelece um fundamento firme não só para futuras pesquisas em ecologia, mas também para aumentar a eficácia das políticas de recuperação e conservação do bioma.

CONCLUSÃO

O estudo alcançou seus objetivos ao validar a utilização da série temporal de uso e cobertura da terra do MapBiomias como uma ferramenta eficaz para monitorar e qualificar os processos de sucessão ecológica no Cerrado, focando na classe Mosaico de Uso, superando os desafios impostos pela ambigüidade. As duas hipóteses propostas foram corroboradas pelos resultados.

A detecção assertiva de 54 pontos de transição da classe Mosaico de Uso para a Vegetação Natural isolando o sinal da sucessão do ruído de classificação é o avanço

metodológico central, demonstrando que a análise temporal funciona como um filtro de qualidade em mapeamentos de larga escala.

O aumento consistente da mediana do NDVI após a conversão, tanto para a Formação Florestal quanto para a Formação Savânica, valida o processo da permanência temporal na classificação de Vegetação Natural corresponde a um incremento real no vigor e na estrutura da vegetação, comprovando que as transições detectadas representam o estabelecimento físico da sucessão ecológica. A observação de que 88,89% dos processos sucessionais detectados são de origem antrópica representa também o potencial de recuperação em áreas de uso prévio, um dado crucial para o planejamento de restauração.

O diagnóstico gerado complementa lacunas científicas significativas sobre a dinâmica sucessional no Cerrado. Historicamente, o monitoramento tradicional é dificultado pela complexa heterogeneidade espacial do bioma e pelo desafio técnico em distinguir o uso antrópico da vegetação no processo sucessional. Os resultados do trabalho trazem robustez e confiança ao monitoramento dessa dinâmica, pois fornecem uma metodologia baseada em série temporal que supera a limitação da análise pontual e confirma a trajetória ecológica do pixel. O trabalho contribui diretamente para o aprimoramento de versões futuras do MapBiomas e fornece um fundamento firme para futuras pesquisas em ecologia e para o aumento da eficácia das políticas de recuperação e conservação do bioma.

REFERÊNCIAS

- [1] IBGE. *Biomass e sistema costeiro-marinho do Brasil: compatível com a escala 1:250.000*. Rio de Janeiro: Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais, 2019. 168 p. (Relatórios Metodológicos, v. 45).
- [2] BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *Plano de Ação para Prevenção e Controle do Desmatamento e das Queimadas no Cerrado (PPCerrado) – 4ª fase*. Brasília: MMA, 2019. Disponível em: https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/controle-ao-desmatamento-queimadas-e-ordenamento-ambiental-territorial/controle-do-desmatamento-1/ppcerrado/ppcerrado_4fase.pdf. Acesso em: 21 nov. 2025.
- [3] SANO, E. E. et al. Land use dynamics in the Brazilian Cerrado in the period from 2002 to 2013. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 54, p. e00138, 2019.
- [4] COLLI, G. R.; VIEIRA, C. R.; DIANESE, J. C. Biodiversity and conservation of the Cerrado: recent advances and old challenges. *Biodiversity and Conservation*, v. 29, n. 5, p. 1465-1475, 2020.
- [5] RIBEIRO, J. F.; WALTER, B. M. T. *Fitofisionomias do bioma Cerrado*. 1998.
- [6] LEHMANN, C. E. R. et al. Savanna vegetation–fire–climate relationships differ among continents. *Science*, v. 343, n. 6170, p. 548-552, 2014.
- [7] ALVARADO, S. T. et al. Drivers of fire occurrence in a mountainous Brazilian cerrado savanna: tracking long-term fire regimes using remote sensing. *Ecological Indicators*, v. 78, p. 270-281, 2017.
- [8] SANTOS, M. C. R. da R. et al. Effects of precipitation and fire on land surface phenology in the Brazilian savannas (Cerrado). *Remote Sensing*, v. 17, n. 12, p. 2077, 2025.
- [9] LEHMANN, C. E. R. et al. Deciphering the distribution of the savanna biome. *New Phytologist*, v. 191, n. 1, p. 197-209, 2011.
- [10] LEWIS, K. et al. Mapping native and non-native vegetation in the Brazilian Cerrado

using freely available satellite products. *Scientific Reports*, v. 12, n. 1, p. 1588, 2022.

[11] MYERS, N. et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. *Nature*, v. 403, n. 6772, p. 853-858, 2000.

[12] MAPBIOMAS. *Projeto MapBiomas – Coleção 10: Séries anuais de mapeamentos do território brasileiro*. Instituto de Manejo e Certificação Florestal e Agrícola (Imaflora), 2024. Disponível em: <https://mapbiomas.org>. Acesso em: 21 nov. 2025.

[13] BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. *Plano Nacional de Recuperação da Vegetação Nativa – PLANAPEG*. Brasília: MMA, 2017. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/florestas/planaveg>. Acesso em: 21 nov. 2025.

[14] GONÇALVES, R. V. S. et al. Changes in the Cerrado vegetation structure: insights from more than three decades of ecological succession. *Web Ecology*, v. 21, n. 1, p. 55-64, 2021.

[15] WALKER, L. R.; DEL MORAL, R. *Primary Succession and Ecosystem Rehabilitation*. Cambridge: Cambridge University Press, 2003.

[16] POORTER, L. et al. Successional theories. *Biological Reviews*, v. 98, n. 6, p. 2049-2077, 2023.

[17] FERREIRA, M. C.; WALTER, B. M. T.; VIEIRA, D. L. M. Topsoil translocation for Brazilian savanna restoration: propagation of herbs, shrubs, and trees. *Restoration Ecology*, v. 23, n. 6, p. 723–728, 2015.

[18] PAUSAS, J. G. Response of plant functional types to changes in the fire regime in Mediterranean ecosystems: a simulation approach. *Journal of Vegetation Science*, v. 10, n. 5, p. 717-722, 1999.

[19] FERREIRA, B. S. S. et al. Effects of fire on mortality and resprouting patterns of *Stryphnodendron adstringens* (Fabaceae). *Brazilian Journal of Botany*, v. 46, n. 3, p. 705-714, 2023.

[20] ARROYO-RODRÍGUEZ, V. et al. Designing optimal human-modified landscapes for forest biodiversity conservation. *Ecology Letters*, v. 20, p. 104–115, 2017.

- [21] SCHMIDT, I. B. et al. Tailoring restoration interventions to the grassland-savanna-forest complex in central Brazil. *Restoration Ecology*, v. 27, n. 5, p. 942-948, 2019.
- [22] CORDEIRO, N. G. et al. Structural and compositional shifts in Cerrado fragments in up to 11 years monitoring. *Acta Scientiarum Biological Sciences*, v. 42, p. 1-13, 2020.
- [23] SANTOS, C. O. dos. *Caracterização ecossistêmica e funcional das pastagens brasileiras*. 2021.
- [24] ATKINS, J. W. et al. Application of multidimensional structural characterization to detect and describe moderate forest disturbance. *Ecosphere*, v. 11, n. 6, p. e03156, 2020.
- [25] MAPBIOMAS BRASIL. *ATBD Pastagem – Coleção 10*. Versão 1. Coordenação geral: Laerte G. Ferreira Jr.; Coordenação técnica: Vinicius V. Mesquita. [S.l.]: MapBiomias, 2025. DOI: 10.58053/MapBiomias/VJTTBB. Disponível em: <http://data.mapbiomas.org/dataset.xhtml?persistentId=doi:10.58053/MapBiomias/VJTTBB>. Acesso em: 11 nov. 2025.
- [26] RIBEIRO, F. F. et al. Geographic object-based image analysis framework for mapping vegetation physiognomic types at fine scales in neotropical savannas. *Remote Sensing*, v. 12, n. 11, p. 1721, 2020.
- [27] MAPBIOMAS. *ATBD – Metodologia da Série Histórica do Cerrado, Coleção 10*. 2023. Disponível em: <http://data.mapbiomas.org/file.xhtml?fileId=433&version=1.0>. Acesso em: 25 nov. 2025.
- [28] CHUVA-ALVES, S.; PINHO, P. Fogo no Cerrado e o uso das bandas SWIR do Landsat: revisão e aplicações. 2021.
- [29] PULSFORD, S. A.; LINDENMAYER, D. B.; DRISCOLL, D. A. A succession of theories: purging redundancy from disturbance and succession concepts. *Trends in Ecology & Evolution*, v. 31, n. 11, p. 776–785, 2016.
- [30] FERREIRA, M. C.; WALTER, B. M. T.; VIEIRA, D. L. M. Topsoil translocation for Brazilian savanna restoration: propagation of herbs, shrubs, and trees. *Restoration Ecology*, v.

23, n. 6, p. 723–728, 2015.

[31] BOLTON, D. K.; COOPS, N. C.; WULDER, M. A. Characterizing residual structure and forest recovery following high-severity fire in the western boreal of Canada using Landsat time-series and airborne lidar data. *Remote Sensing of Environment*, v. 163, p. 48-60, 2015.

[32] HAO, B. et al. Long-term effects of fire severity and climatic factors on post-forest-fire vegetation recovery. *Forests*, v. 13, n. 6, p. 883, 2022.

[33] ROUSE, J. W. et al. Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS. In: FUDOSO, S. C. (ed.). *Third ERTS Symposium*. Washington, DC: NASA, 1974. p. 309–317.

[34] TUCKER, C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, v. 8, p. 127-150, 1979.

[35] PETTORELLI, N. et al. Using the satellite-derived NDVI to assess ecological responses to environmental change. *Trends in Ecology & Evolution*, v. 20, n. 9, p. 503-510, 2005.

[36] PAVANELLI, J. A. P.; GUIMARAES, E. Avaliando a dinâmica das mudanças estruturais na vegetação do Cerrado em áreas protegidas e não protegidas usando NDVI. *International Journal of Advanced Remote Sensing and GIS*, v. 3, n. 1, p. 553-568, 2014.

[37] MATOS, A. P. et al. Accounting for alternation in temporal quality analysis in MapBiomass Brazil. *International Journal of Digital Earth*, v. 18, n. 1, p. 2528604, 2025.

[38] DURIGAN, G.; RATTER, J. A. Successional changes in cerrado and cerrado/forest ecotonal vegetation in western São Paulo State, Brazil, 1962–2000. *Edinburgh Journal of Botany*, v. 63, n. 1, p. 119-130, 2006.

[39] OLIVEIRA, M. T. et al. Mapeamento da vegetação do Cerrado – uma revisão das iniciativas de sensoriamento remoto. *Revista Brasileira de Cartografia*, v. 72, p. 1250-1274, 2020. DOI: 10.14393/rbcv72nespecial50anos-56591. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/revistabrasileiracartografia/article/view/56591>. Acesso em: 25 nov. 2025.