

Trabalho de Formatura

Curso de Graduação em Engenharia Ambiental

**ANÁLISE DO DESMATAMENTO NA TERRA INDÍGENA APYTEREWA (PA)  
ATRAVÉS DE SÉRIES TEMPORAIS DE NDVI**

Helena Zotelli

Prof.Dr.Danilo Marques Magalhães

Rio Claro (SP)

2025

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
Instituto de Geociências e Ciências Exatas  
Câmpus de Rio Claro

HELENA ZOTELLI

ANÁLISE DO DESMATAMENTO NA TERRA INDÍGENA  
APYTEREWA (PA) ATRAVÉS DE SÉRIES TEMPORAIS  
DE NDVI

Trabalho de Formatura apresentado ao  
Instituto de Geociências e Ciências  
Exatas - Câmpus de Rio Claro, da  
Universidade Estadual Paulista Júlio de  
Mesquita Filho, para obtenção do grau de  
Engenheiro Ambiental.

Rio Claro - SP

2025

Z89a

Zotelli, Helena

ANÁLISE DO DESMATAMENTO NA TERRA INDÍGENA  
APYTEREWA (PA) ATRAVÉS DE SÉRIES TEMPORAIS DE  
NDVI / Helena Zotelli. -- Rio Claro, 2025

48 p.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia  
Ambiental) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de  
Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro

Orientador: Danilo Marques de Magalhães

1. Terra Indígena Apyterewa. 2. Desmatamento. 3. Sensoriamento  
remoto. 4. NDVI. 5. Mascaramento de nuvens. I. Título.

HELENA ZOTELLI

ANÁLISE DO DESMATAMENTO NA TERRA INDÍGENA  
APYTEREWA (PA) ATRAVÉS DE SÉRIES TEMPORAIS  
DE NDVI

Trabalho de Formatura apresentado ao  
Instituto de Geociências e Ciências  
Exatas - Câmpus de Rio Claro, da  
Universidade Estadual Paulista Júlio de  
Mesquita Filho, para obtenção do grau de  
Engenheiro Ambiental.

Comissão Examinadora

Danilo Marques Magalhães

Lucilia Do Carmo Giordano

Vânia Silvia Rosolen

Rio Claro, 26 de novembro de 2025.

Assinatura da aluna

Assinatura do orientador

## **AGRADECIMENTOS**

Chegar até aqui foi resultado de muito aprendizado, dedicação e do apoio de pessoas e instituições que fizeram parte desta jornada. Por isso, registro meus sinceros agradecimentos.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP), pela formação acadêmica de excelência, pelo incentivo à pesquisa científica e pela oportunidade de vivenciar experiências que serviram de aprendizados que ultrapassaram as salas de aula – do receio ao novo à serenidade em acolher o imprevisível.

Nesse percurso, acredito que cada etapa da formação é construída coletivamente, e que as pessoas que encontramos ao longo do caminho moldam, pouco a pouco, o nosso modo de ver o mundo. Assim foram os professores que fizeram parte da minha trajetória. Profissionais que, com rigor e comprometimento, contribuíram não apenas para minha formação técnica, mas também pessoal.

Destaco, ainda, o agradecimento ao orientador, cuja confiança e sensibilidade foram essenciais para a condução deste trabalho. Sua orientação foi essencial para transformar uma ideia inicial em um processo de pesquisa significativo, que ampliou e ressignificou meu modo de aprender e de me construir como profissional. Agradeço, sobretudo, por me inspirar a ir além do que é satisfatório e a buscar sempre o ótimo, mesmo quando o bom já parecia suficiente.

Nada disso, contudo, teria sido possível sem o alicerce mais profundo da minha trajetória: minha família. Do rincão do sítio, onde lhes faltaram escolhas, ao brilho no olhar com que me viram chegar até aqui, cumpre-se o sonho que começou neles e se realiza em mim. Graças à dedicação e ao trabalho incansável de meus pais, pude escolher o caminho que a vida lhes negou. Nada teria sido possível sem a força de ambos, que fizeram da minha formação um projeto de vida, prova de que o sonho de uma geração pode florescer nas mãos da seguinte.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP), Brasil. Processo nº 2024/13710-0. As opiniões, hipóteses e conclusões ou recomendações expressas neste material são de responsabilidade do autor e não necessariamente refletem a visão da FAPESP.

## RESUMO

Este estudo analisa as transformações no uso e cobertura da terra na Terra Indígena (TI) Apyterewa, localizada no sul do Pará, entre 2014 e 2024, por meio de séries temporais de imagens Landsat-8 e do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). Os dados foram processados no Google Earth Engine (GEE) e analisados no ArcGIS Pro. A motivação emerge do contexto crítico da TI Apyterewa, território tradicional do povo Parakanã, que tem enfrentado intensas pressões antrópicas: como desmatamento, expansão agropecuária, garimpo e invasões. Essas atividades resultam em severa perda de cobertura florestal, ameaçando a biodiversidade e os direitos indígenas. Assim, o objetivo geral foi caracterizar a dinâmica espaço-temporal da cobertura vegetal; especificamente, buscou-se estruturar uma metodologia sistemática de análise, quantificar áreas vegetadas e não vegetadas e identificar os principais agentes indutores do desmatamento. A metodologia envolveu seleção de imagens, mascaramento de nuvens e sombras, correção de reflectância, cálculo do NDVI, reclassificação em classes (floresta, pastagem e áreas antropizadas) e detecção de mudanças, com validação dos resultados por meio da biblioteca SatVeg da EMBRAPA. Os resultados indicam uma tendência de desmatamento contínuo, com aumento de 171,8% nas áreas não naturais (de 211,44 km<sup>2</sup> em 2014 para 574,61 km<sup>2</sup> em 2024) impulsionado principalmente pela conversão de floresta em pastagens, que passam a ocupar 6,26% da TI em 2024. Destacam-se picos de intensificação em 2016 e 2022, associados a práticas de queima sazonal para manejo pecuário. Conclui-se que, entre 2014 e 2024, a TI Apyterewa apresenta um processo contínuo de perda de cobertura vegetal, marcado pela conversão florestal em pastagem e pela expansão de áreas antropizadas, com uma tendência persistente de degradação antrópica do território.

**Palavras-chave:** Terra Indígena Apyterewa; Desmatamento; Sensoriamento remoto; NDVI; Mascaramento de nuvens.

## ABSTRACT

This study analyses the transformations in land use and land cover in the Apyterewa Indigenous Land (IL), located in southern Pará, between 2014 and 2024, through time series of Landsat-8 images and the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI). The data were processed in Google Earth Engine (GEE) and analysed in ArcGIS Pro. The motivation emerges from the critical context of the Apyterewa IL, the traditional territory of the Parakanã people, which has faced intense anthropogenic pressures, such as deforestation, agricultural expansion, mining, and invasions. These activities result in severe loss of forest cover, threatening biodiversity and Indigenous rights. Thus, the general objective was to characterise the spatio-temporal dynamics of vegetation cover – specifically, to establish a systematic analytical methodology, quantify vegetated and non-vegetated areas, and identify the main drivers of deforestation. The methodology involved image selection, cloud and shadow masking, reflectance correction, NDVI calculation, reclassification into classes (forest, pasture, and anthropogenic areas), and change detection, with validation of the results using the SatVeg library from EMBRAPA. The results indicate a continuous trend of deforestation, with an increase of 171.8% in non-natural areas (from 211.44 km<sup>2</sup> in 2014 to 574.61 km<sup>2</sup> in 2024), mainly driven by the conversion of forest into pastures, which account for 6.26% of the IL in 2024. Peaks of intensification were observed in 2016 and 2022, associated with seasonal burning practices for livestock management. It is concluded that, between 2014 and 2024, the Apyterewa Indigenous Land presents a continuous process of vegetation cover loss, marked by forest conversion into pasture and the expansion of anthropogenic areas, with a persistent trend of anthropogenic degradation of the territory.

**Keywords:** Apyterewa Indigenous Territory; Deforestation; Remote sensing; NDVI; Cloud masking.

**Title:** Deforestation Analysis in the Apyterewa Indigenous Land (PA) Using NDVI Time Series.

## LISTAS DE FIGURAS E/OU ILUSTRAÇÕES

|                                                                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 – Localização da Terra Indígena Apyterewa.....                                                                                 | 15 |
| Figura 2 – Fluxograma do processo metodológico de análise da cobertura e uso da terra na TI Apyterewa .....                             | 21 |
| Figura 3 – Classe de cobertura e uso da terra, em destaque, os pontos que apresentaram transição do uso entre 2014 e 2024 .....         | 29 |
| Figura 4 – Transição do uso e cobertura da terra (de floresta para pastagem) no P01 .....                                               | 31 |
| Figura 5 – Biblioteca de padrões da SATVeg da EMBRAPA para a transição do uso e cobertura da terra de floresta a pasto .....            | 32 |
| Figura 6 – Transição do uso e cobertura da terra (de pastagem consolidada) no P02 .....                                                 | 33 |
| Figura 7 – Biblioteca de padrão SATVeg da EMBRAPA de pastagem cultivada .....                                                           | 34 |
| Figura 8 – Transição do uso e cobertura da terra (de coberta vegetal em estágio inicial de regeneração a área antropizada) no P03 ..... | 35 |
| Figura 9 – Transição do uso e cobertura da terra (de pastagem a cobertura vegetal de regeneração) no P04.....                           | 36 |

## SUMÁRIO

|                |                                                                                                                            |           |
|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b>       | <b>INTRODUÇÃO.....</b>                                                                                                     | <b>5</b>  |
| <b>1.1</b>     | <b>Objetivo geral .....</b>                                                                                                | <b>9</b>  |
| <b>1.2</b>     | <b>Objetivos específicos .....</b>                                                                                         | <b>10</b> |
| <b>2</b>       | <b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>                                                                                           | <b>11</b> |
| <b>2.1</b>     | <b>Políticas desenvolvimentistas e a expansão do deflorestamento .....</b>                                                 | <b>11</b> |
| <b>2.2</b>     | <b>Impactos do deflorestamento .....</b>                                                                                   | <b>11</b> |
| <b>2.3</b>     | <b>Séries temporais de imagens de sensoriamento remoto.....</b>                                                            | <b>12</b> |
| <b>3</b>       | <b>CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO .....</b>                                                                              | <b>15</b> |
| <b>4</b>       | <b>MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>                                                                                           | <b>17</b> |
| <b>4.1</b>     | <b>Seleção da coleção de imagens de satélite.....</b>                                                                      | <b>18</b> |
| <b>4.2</b>     | <b>Mascaramento e substituição de nuvens, sombras e aerossóis... </b>                                                      | <b>19</b> |
| <b>4.3</b>     | <b>Correção de reflectância de superfície .....</b>                                                                        | <b>20</b> |
| <b>4.4</b>     | <b>Cálculo do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI)</b>                                                     | <b>21</b> |
| <b>4.5</b>     | <b>Reclassificação anual (2014-2024) da TI em faixas de uso e cobertura da terra.....</b>                                  | <b>21</b> |
| <b>4.6</b>     | <b>Análise quantitativa e temporal do uso e cobertura da terra.....</b>                                                    | <b>22</b> |
| <b>4.7</b>     | <b>Detecção das mudanças no uso e cobertura da terra .....</b>                                                             | <b>22</b> |
| <b>4.8</b>     | <b>Seleção de pontos representativos no território que apresentaram mudanças significativas na cobertura vegetal .....</b> | <b>22</b> |
| <b>5</b>       | <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>                                                                                        | <b>24</b> |
| <b>5.1</b>     | <b>Evolução temporal das classes de uso e cobertura da terra .....</b>                                                     | <b>24</b> |
| <b>5.2</b>     | <b>Transição do uso e ocupação da terra.....</b>                                                                           | <b>26</b> |
| <b>5.3</b>     | <b>Pontos de análise do uso e cobertura da terra .....</b>                                                                 | <b>28</b> |
| <b>5.3.1</b>   | <i>Dinâmica de transição em P01 .....</i>                                                                                  | <i>28</i> |
| <b>5.3.1.1</b> | Biblioteca de padrão SATVeg da EMBRAPA de transição floresta a pasto                                                       | 30        |
| <b>5.3.2</b>   | <i>Dinâmica de transição em P02.....</i>                                                                                   | <i>31</i> |
| <b>5.3.2.1</b> | Biblioteca de padrão SATVeg da EMBRAPA de pastagem cultivada ...                                                           | 32        |
| <b>5.3.3</b>   | <i>Dinâmica de transição em P03 .....</i>                                                                                  | <i>32</i> |
| <b>5.3.4</b>   | <i>Dinâmica de transição em P04 .....</i>                                                                                  | <i>34</i> |
| <b>6</b>       | <b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>                                                                                           | <b>35</b> |
|                | <b>REFERÊNCIAS.....</b>                                                                                                    | <b>37</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

Cerca de um terço da superfície terrestre é coberta por florestas, que desempenham papel fundamental como habitat para inúmeras espécies de flora e fauna. Entre elas, destaca-se o bioma Amazônico pela sua extensa área, de aproximadamente 5,5 milhões de km<sup>2</sup>, que encontram-se distribuídos por nove países. Desse total, cerca de 69% situam-se em território brasileiro (AB'SABER, 1977). Isso reforça a relevância da Amazônia para o país, correspondendo a aproximadamente 49% do território nacional com abrangência nos estados do Acre, Amazonas, Amapá, Maranhão, Mato Grosso, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins (IBGE, 2004).

Além da importância territorial nacional, a Amazônia é reconhecida como um dos biomas de maior diversidade do planeta, abrigando inúmeras espécies endêmicas (FEARNSIDE, 2003). Como exemplo, na porção brasileira estima-se a presença de cerca de 58.000 espécies, incluindo, aproximadamente 54% das plantas, 73% dos mamíferos e 80% das aves do país. Associada a essa riqueza biológica, a região abriga ainda a maior bacia hidrográfica do mundo, com uma área de 7.165.281 km<sup>2</sup> (PNUMA/OTCA, 2008), o que reforça a magnitude de seus recursos naturais. Nesse contexto, a biodiversidade amazônica assume dupla relevância: patrimônio ecológico e elemento estratégico para a manutenção dos ecossistemas. Segundo Sá et al. (2019, p.4), essa importância pode ser traduzida como “fundamental para o desenvolvimento ecológico e humano, além de influenciar nos processos econômicos nacionais e internacionais”.

Em contraste à sua importância ecológica, a Amazônia brasileira enfrenta pressões antrópicas, como a expansão da agropecuária, que tem provocado alterações consideráveis na cobertura florestal. Estudos anteriores já apontavam que esse processo já se iniciava há décadas. Um exemplo é o caso do estudo que identificou uma mudança progressiva: até meados dos anos 60, do total das terras registradas, 87% delas constituíam-se de matas e somente 1,8% eram cobertas por lavouras. Entretanto, entre 1970 e 2004, cerca de 17% das terras amazônicas já se encontravam profundamente alteradas (LOUREIRO; PINTO, 2005). Esse processo de transformação na Amazônia continuou seguiu em ritmo alarmante. Atualmente, cerca de 16% do território amazônico é ocupado por atividades agropecuárias, sendo 88% dessas áreas destinadas a pastagens (MAPBIOMAS, 2023).

Além da agropecuária, outros fatores contribuem para o quadro de desmatamento na Amazônia. Dessa forma, a identificação de outras dinâmicas torna-se fundamentais para compreender os agentes que contribuíram para a expansão do desmate. Segundo Barbosa *et al.* (2025), há uma clara tendência de aumento do desmatamento ao longo das principais rodovias que atravessam a Amazônia brasileira, com forte influência do setor agropecuário que promove a ocupação e o uso intensivo do solo nas regiões próximas às rodovias. No trecho da BR-230 (Transamazônica) que atravessa os estados do Pará e do Amazonas, observou-se um aumento de 494,03% no desmatamento acumulado nos últimos oito anos (*ibid.*).

Outro motor significativo de desmate são os aumentos de focos de calor e área queimada. O estudo de Muller *et al.* (2025) analisou a ocorrência de incêndios florestais em Terras Indígenas da Amazônia e demonstrou que tais incêndios são, em grande parte, provocados por ações humanas, associadas ao desmatamento e à manutenção de pastagens e áreas agrícolas. Além disso, os resultados evidenciaram que os anos de 2019 e 2020 registraram um aumento expressivo nos focos de calor, diretamente relacionado ao período de intensificação do desmatamento.

A combinação dessas múltiplas pressões antrópicas reflete no aumento da área desmatada. Na última década, a taxa anual de desmatamento permanecia relativamente estável até 2018, contudo, a partir de 2019, houve um aumento expressivo de cerca de 10.100 km<sup>2</sup> de floresta suprimidas. Esse avanço continuou até 2021, quando o desmatamento atingiu 13.000 km<sup>2</sup>, nível que não era registrado desde 2008 (INPE, PRODES, 2024). Esse quadro de intensificação do desmatamento está relacionado à busca por novos espaços e à exploração de recursos naturais, processos resultantes de distintas atividades antrópicas que pressionam a floresta.

Entre os territórios impactados, destacam-se as Terras Indígenas (TI). As TIs são legalmente reconhecidas pela Constituição Federal como territórios de posse permanente dos povos indígenas, destinados à preservação de seus modos de vida, culturas e ambientes (BRASIL, 1988, art. 231). Desde tempos ancestrais, esses territórios constituem o espaço de ocupação histórica dessas populações, onde preservam suas práticas culturais e relações com o ambiente. Essa relevância é reforçada pela magnitude dessas populações: atualmente, estima-se que cerca de 403,3 mil indígenas vivem em territórios oficialmente reconhecidos (IBGE, 2022a). Além de seu valor cultural, esses territórios desempenham um papel crucial na conservação ambiental. Estudos demonstram que as TIs atuam como barreiras

eficazes contra pressões externas, como a expansão da fronteira agrícola e a ocorrência de incêndios, resultando em taxas significativamente menores de desmatamento dentro de seus limites. Desse modo, a posse e o manejo indígena da terra são fundamentais para a proteção da floresta Amazônica frente às crescentes pressões por terra, energia e recursos na região (WALKER *et al.*, 2020).

Entretanto, a realidade revela impactos, invasões e outras atividades ilegais cada vez mais significativas sobre esses territórios. Em 2019 e 2020, aproximadamente 44% da derrubada anual de florestas na Amazônia ocorreu em terras públicas, categoria que inclui as TIs. Após o desmate, a conversão dessas áreas em pastagens tornou-se a principal forma de ocupação, especialmente em regiões próximas às fronteiras do desmatamento, evidenciando a pressão direta sobre os territórios indígenas (SALOMÃO *et al.*, 2021). Esse processo evidencia a vulnerabilidade dos direitos dos povos indígenas e tradicionais, além de comprometer a função socioambiental de proteção das TIs.

Um dos exemplos emblemáticos dessa vulnerabilidade ambiental é a Terra Indígena Apyterewa. A TI localiza-se no sul do Pará no município de São Félix do Xingu, onde habita o povo Parakanã. O território abrange cerca de 773 mil hectares e uma estimativa de 1.383 indígenas no território (TERRAS INDÍGENAS NO BRASIL, s.d.). Apesar da TI ter sido homologada em 2007 (BRASIL, 2007), enfrenta uma intensa pressão decorrente de invasões, grilagem, criação ilegal do gado e o avanço do garimpo (TERRAS INDÍGENAS NO BRASIL, 2021).

De acordo com dados do PRODES - Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite do INPE -, essa área tornou-se a Terra Indígena mais desmatada na Amazônia em 2019, com cerca de 8.000 hectares suprimidos em comparação com sua área total de 773 mil hectares. Nos anos seguintes, de 2020 e 2021, a taxa de desmatamento apresentou queda, entretanto, permaneceu elevada, com aproximadamente 6.000 hectares de destruição florestal. Em 2022, o quadro se agravou ainda mais, e Apyterewa registrou a maior taxa anual de desmatamento já observada na TI, atingindo cerca de 10.000 hectares desmatados. A análise dos dados do PRODES evidencia que, a partir de 2021, Apyterewa figurou consecutivamente como a Terra Indígena com o maior índice de desmatamento. Contudo, os dados de 2024 apresentam um contraponto ao cenário de crescimento de desmate na TI. A taxa anual apresentou uma queda significativa de 48% em comparação ao período anterior, resultando na supressão de 1.092,70

hectares de floresta. Ainda assim, essa redução recente não altera o quadro de vulnerabilidade ambiental que se consolidou ao longo de anos sucessivos de pressão e alteração no território de Apyterewa.

O expressivo volume de floresta suprimida nos últimos anos revela a fragilidade do controle e da conservação ambiental na TI Apyterewa. Em face desse quadro, emergem questões fundamentais para a compreensão da dinâmica do desmatamento na TI, sendo elas: quais são os principais agentes motivadores do desmatamento? Qual a área de vegetação suprimida na última década? E com que intensidade e velocidade esse desmatamento tem se dado ano a ano?

Para responder a essas questões, tornou-se necessário empregar ferramentas capazes de capturar a dinâmica espaço-temporal da cobertura florestal. Diante desse cenário, o sensoriamento remoto emerge como abordagem central, com base na hipótese de que seus recursos contemporâneos permitem monitorar alterações na vegetação de forma precisa e contínua. Entre esses recursos, destacam-se as séries temporais de imagens de satélite combinadas a índices espectrais, como o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index* – NDVI).

As séries temporais de imagens de satélite consistem em sequências ordenadas de observações de um mesmo local da superfície terrestre em diferentes momentos. Essa continuidade de registros compatíveis no domínio espaço-temporal é o que possibilita comparar as imagens entre si, integrar informações de um ponto específico e acompanhar suas variações ao longo do tempo, tornando possível análises robustas da dinâmica ambiental (SIMÕES *et al.*, 2021). Nesse sentido, as séries temporais configuram-se como um recurso valioso para monitorar processos associados à cobertura florestal, como a detecção de perturbações, alterações no uso e cobertura da terra, dinâmicas ecológicas, intensificação agrícola e o avanço do desmatamento (*ibid.*). Entre as análises possíveis de se realizar com séries temporais de imagens de satélite, destaca-se o NDVI, que pode evidenciar mudanças espectrais da vegetação ao longo do tempo e fornecer subsídios para compreender a dinâmica do desmatamento (MA; VEROUSTRAETE, 2006).

O NDVI é calculado a partir da relação entre as bandas do infravermelho próximo (NIR) e do vermelho (RED) das imagens de satélite, resultando em valores que variam de -1 a 1. Valores próximos de 1 indicam maior densidade de vegetação ativa em fotossíntese, enquanto aqueles próximos de -1 correspondem a áreas com

pouca ou nenhuma cobertura vegetal (RIBEIRO et al., 2018). Assim, a análise temporal do NDVI constitui uma ferramenta eficiente para investigar desmatamento, degradação ambiental e mudanças associadas às atividades humanas (MELO, 2008).

No entanto, análises temporais em série envolvem grandes volumes de dados, os quais exigem métodos de processamento eficientes. Nesse contexto, a computação em nuvem se apresenta como ferramenta essencial, pois viabiliza a análise contínua dessas informações sem a necessidade de infraestrutura computacional local robusta (GOMES et al., 2020). O surgimento de serviços de computação em nuvem capazes de armazenar e processar extensos conjuntos de dados de observação da Terra permite o desenvolvimento de métodos de extração e análise de informações espaciais e temporais.

Estudos recentes reforçam a relevância dessa abordagem, que supera os limites de diagnósticos estáticos e pontuais. Um exemplo é a análise dos manguezais de Sundarbans, em Bangladesh, que utilizou uma série histórica de imagens entre 1973 e 2023, processadas em ambiente de computação em nuvem para detectar alterações espaço-temporais na cobertura da terra. A análise baseou-se em índices espectrais, como o NDVI, e revelou uma redução significativa na extensão dos manguezais, sobretudo nas margens expostas à ação antrópica (KANJIN *et al.*, 2024). No mesmo sentido, cita-se o estudo realizado no sul da Amazônia brasileira por Borini Alves (2015). Sua abordagem apoia-se no uso de séries temporais de NDVI no monitoramento da dinâmica da cobertura do solo. O método empregado foi capaz de analisar temporalmente a área de estudo, o que permitiu identificar o avanço do desmatamento e apontar que o processo teve início cerca de 15 anos antes, intensificando-se progressivamente ao longo do tempo, revelando-se superior aos métodos convencionais quando detectou de forma precoce essas dinâmicas.

Dessa maneira, a integração entre o sensoriamento remoto e a análise temporal de índices espectrais, como o NDVI, representa um avanço significativo para o monitoramento de áreas sob pressão antrópica. Essa perspectiva amplia a capacidade de compreender os processos de degradação ambiental e orienta estratégias voltadas à conservação dos ecossistemas amazônicos.

## **1.1 Objetivo geral**

Diante do exposto, o objetivo desta pesquisa é analisar a conversão do uso e cobertura da terra na Terra Indígena (TI) Apyterewa nos últimos 10 anos por meio da utilização de séries temporais de NDVI.

## **1.2 Objetivos específicos**

- a) Organizar um roteiro metodológico que considere o tratamento de imagens de sensoriamento remoto e a utilização de índices espectrais de vegetação como recurso para análise de transição do uso e cobertura da terra;
- b) Quantificar a área vegetada e não vegetada na TI no período de 2014 a 2024;
- c) Identificar os usos predominantes motivadores do desmatamento.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Políticas desenvolvimentistas e a expansão do deflorestamento

O cenário de desmatamento na Amazônia pode ser relacionado como reflexo da adoção de um panorama desenvolvimentista. Historicamente, podem-se citar políticas que serviram de fomento para a ocupação e exploração dos recursos naturais da Amazônia (ALVEZ *et al.*, 2022). Segundo Santos *et al.* (2022), a partir da ditadura militar em 1964, várias transformações foram promovidas por meio de estratégias governamentais. Um exemplo é a criação da “Operação Amazônica”, justificada pelo desenvolvimento e inserção da economia regional. Essa operação contou com medidas como a criação do Banco da Amazônia S/A (BASA), destinado a atuar como agente financeiro, sobretudo no setor agropecuário. Reitera-se também a criação da Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM) (BRASIL. Lei nº 5.173, 1966), que previa planejamento, coordenação e execução da política do governo federal para a Amazônia. O resultado dessas medidas de abertura de financiamento, de acordo com Pinheiro e Treccani (2017), viabilizaram a conversão de extensas áreas florestais em pastagens, em especial para a produção agropecuária.

Nesse mesmo sentido, programas como “Avança Brasil” e o “Plano Brasil para Todos” constituíram fatores adicionais que favoreceram a expansão das pastagens na região. Esses programas, incentivaram a implementação de projetos de infraestrutura e a abertura de crédito para o setor agropecuário. Como consequência, ampliou-se a fronteira agrícola, promovendo a conversão de vastas áreas de floresta em pastagens, o que intensificou o desmatamento e a degradação ambiental (ALENCAR *et al.*, 2004).

### 2.2 Impactos do deflorestamento

Para além desses incentivos, a expansão ocorreu também devido à omissão em relação aos impactos ambientais decorrentes do manejo da agropecuária. Entre esses impactos, destacam-se a presença do gado, a perda da cobertura florestal e o uso generalizado do fogo como prática agrícola – técnica essa, empregada na conversão inicial da floresta e na manutenção das áreas de pasto (NEPSTAD *et al.*, 1999).

Essa conversão é evidenciada pelos dados do MapBiomas, que mostram que, no Bioma Amazônico, entre 1985 e 2024, a área de formação florestal reduziu-se de

aproximadamente 338,4 milhões para 289,3 milhões de hectares, enquanto a área de pastagem aumentou de 12,3 milhões para 56,1 milhões de hectares evidenciando mudanças significativas na cobertura da terra e a expressiva participação das pastagens nesse processo. A magnitude dessas alterações serve para evidenciar os impactos ambientais decorrentes dessa transformação no Bioma Amazônico.

Os impactos ambientais associados a essa substituição da floresta por pastagens possuem magnitude significativa, como a intensificação da erosão do solo (PIMENTEL *et al.*, 2013). A erosão consiste na remoção da camada superficial do solo ou regolito (SILVA, 2025), que altera suas propriedades, além de promover a perda de nutrientes essenciais. Adicionalmente, intensifica o transporte e a deposição de sedimentos, o que leva ao assoreamento de corpos hídricos (RIQUETTI *et al.*, 2023).

No contexto das pastagens, as queimadas constituem outro impacto ambiental relevante. Essa técnica é empregada como forma de manejo voltada à pecuária, com o objetivo de promover o rápido crescimento da pastagem, remover a vegetação indesejada e aumentar temporariamente a disponibilidade de nutrientes no solo. No entanto, seu uso repetido contribui para o empobrecimento nutricional e a acidificação do solo (WHITE, 2024). Além de intensificar tipo de manejo expõe o solo diretamente à radiação solar e às chuvas, favorecendo o ressecamento e intensificando os processos erosivos. Além disso, as queimadas também afetam seus componentes biológicos, reduzindo a atividade e a diversidade da fauna edáfica, o que resulta na diminuição do teor de matéria orgânica (CAPECHE, 2012). Ademais, em acréscimo a esses impactos, os focos quando não controlados podem atingir áreas nativas, resultando em incêndios florestais (CABRAL *et al.*, 2013).

De forma complementar, a consolidação das pastagens para produção de forragem tornou o pastoreio dominante na Amazônia, agravando a degradação por meio do pisoteio do gado: que compacta o solo, reduz sua porosidade e funcionalidade ecológica (SCHWIEDER, 2022; NIU *et al.*, 2025; ROMERO-RUIZ *et al.*, 2023). Essa combinação de fatores pode levar ao esgotamento da cobertura vegetal, à intensificação da erosão e à perda da camada fértil, bem como, diminuir o teor de matéria orgânica e comprometer a atividade microbiana do solo, impactando a fertilidade e a capacidade de regeneração natural (AHMAD *et al.*, 2025; MELÉNDEZ-ALDANA *et al.*, 2025).

### **2.3 Séries temporais de imagens de sensoriamento remoto**

Diante desses impactos, torna-se essencial o uso de técnicas que permitam monitorar e compreender as transformações na paisagem ao longo do tempo. Nesse sentido o sensoriamento remoto se apresenta como ferramenta estratégica para identificar a conversão do uso da terra e os impactos ambientais decorrentes, como a expansão de pastagens e outros vetores do desmatamento. Nesse contexto, destaca-se o uso de séries temporais de imagens de satélite, que permitem análises contínuas ao longo do tempo por meio da criação de cubos de dados (SCHWIEDER *et al.*, 2022). Esses cubos correspondem a grandes coleções de imagens de satélite modeladas como estruturas multidimensionais, capazes de oferecer suporte eficiente à análise temporal de transformações ambientais (SIMÕES *et al.*, 2021). Desse modo, nas séries temporais, cada pixel é alinhado espacialmente, e o cubo de dados permite o armazenamento sistemático dessas informações em três dimensões: latitude, longitude e tempo (FERREIRA *et al.*, 2020).

Entre os programas de observação da Terra utilizados para esse tipo de abordagem, destaca-se o Landsat, iniciado em 1972. Esse programa representa a mais longa série histórica de imagens padronizadas por satélite (NGUYEN *et al.*, 2018), testemunhando décadas de mudanças na superfície da Terra e apresentando propriedades espaciais e temporais necessárias para capturar os processos que impulsionam essas mudanças (KENNEDY *et al.*, 2010). Esse histórico possibilita a geração de cubos de dados com alta densidade temporal (HENRIQUES *et al.*, 2024), o que viabiliza o monitoramento da dinâmica do desmatamento e a investigação de seus principais vetores com agilidade e acurácia.

No entanto, a identificação de padrões espaço-temporais e sua relação com a dinâmica do desmatamento requer que as mudanças na cobertura da terra sejam vinculadas às assinaturas espectrais correspondentes. Afinal, cada material da superfície terrestre apresenta padrões de refletância distintos, produzindo assinaturas espectrais específicas, que são a base para a criação de índices espectrais (MONTERO *et al.*, 2023). Dessa forma, os índices espectrais funcionam como ferramentas-chave, atuando como intermediários entre os dados brutos e interpretações ambientais relevantes, permitindo caracterizar e até quantificar propriedades específicas dos alvos (CHEN *et al.*, 2025).

Como exemplo, destaca-se o NDVI, desenvolvido por Compton J. Tucker em 1979 com base no padrão das assinaturas espectrais da vegetação. O índice é calculado a partir da razão normalizada entre as bandas do vermelho e do

infravermelho próximo, demonstrando elevada eficiência na representação da atividade vegetativa (TUCKER, 1979). Desde então, o NDVI tem sido amplamente utilizado em estudos de sensoriamento remoto. Por exemplo, Fung e Siu (2000) aplicaram o índice para analisar a qualidade ambiental e suas mudanças, enquanto Pinto e Pamboukian (2024) o empregaram na detecção de áreas de desmatamento, evidenciando a utilização do NDVI de forma contínua ao longo das últimas décadas.

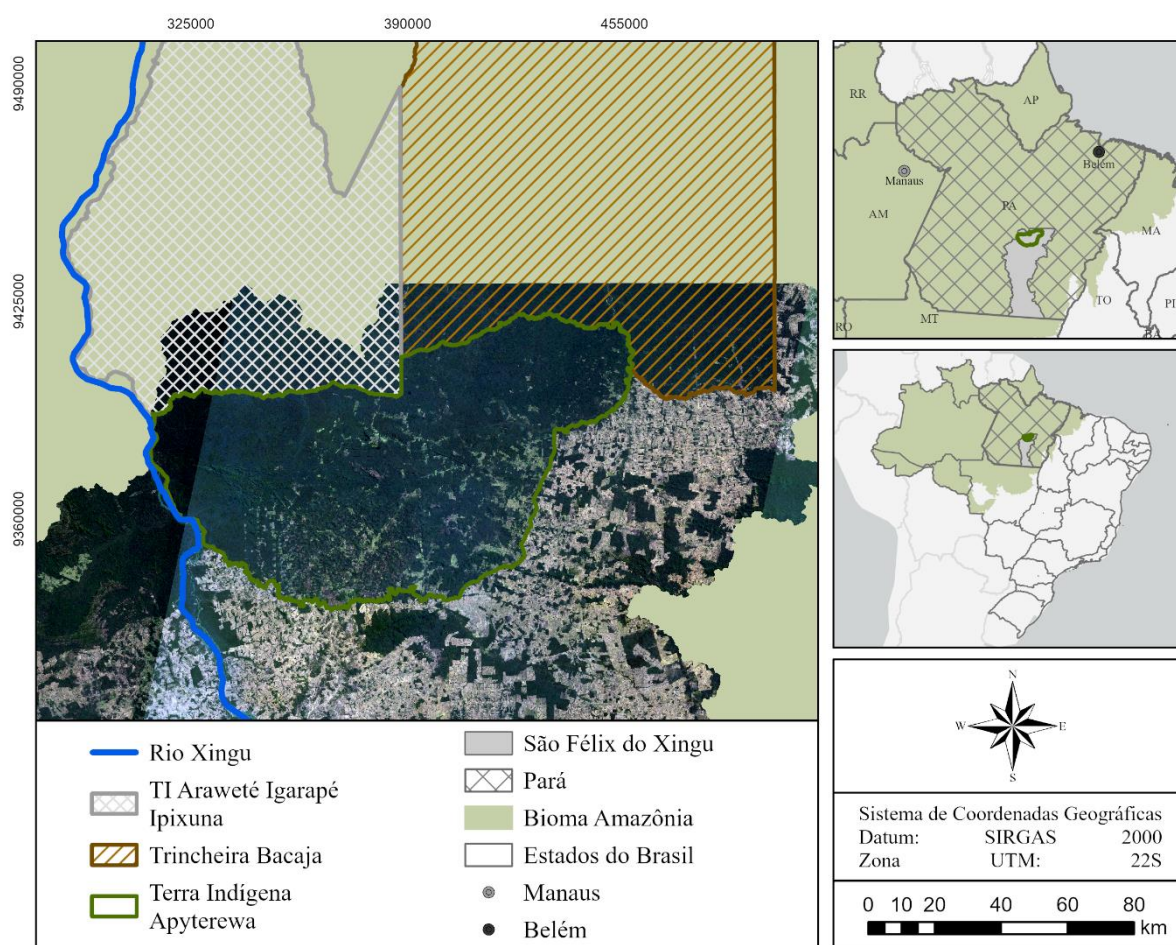
Assim, diante do exposto sobre o desmatamento na Amazônia, os impactos ambientais associados à substituição da floresta e os efeitos cumulativos do manejo agropecuário, torna-se relevante a investigação de áreas específicas que exemplificam essas dinâmicas. Nesse contexto, a Terra Indígena Apyterewa surge como um estudo de caso relevante, pois apresenta significativa pressão antrópica sobre sua cobertura florestal, refletindo os processos de degradação ambiental observados em outras regiões da Amazônia. A análise desse território pode contribuir para compreender a intensidade, a velocidade e a localização do desmatamento, o que pode contribuir para a avaliação da vulnerabilidade ambiental e para a proposição de estratégias de monitoramento e conservação ambiental. Considerando sua relevância como estudo de caso, a seguir são descritas as principais características da Terra Indígena Apyterewa.

### 3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A Terra Indígena Apyterewa encontra-se localizada no município de São Félix do Xingu, no estado do Pará. A área está inserida na bacia do rio Xingu e possui como coordenadas centrais 5°17'38.78"S e 52°53'30.56"O. Além de estar integralmente no bioma amazônico, e é marcada pelo clima equatorial úmido, que sustenta uma cobertura vegetal composta predominantemente por floresta ombrófila aberta (cerca de 62%) e floresta ombrófila densa (aproximadamente 37%) (TERRAS INDÍGENAS NO BRASIL, s.d.).

Para além de sua relevância ecológica, a TI possui importância histórico-cultural, pois corresponde ao território tradicionalmente ocupado pelos Parakanãs, povo indígena do interflúvio dos rios Pacajá e Tocantins (FAUSTO, 2001). A localização da área de estudo está ilustrada na Figura 1, sendo destacada em verde.

Figura 1 – Localização da Terra Indígena Apyterewa.



Fontes: IBGE (2024) INPE (2022). Elaborado pela autora.

Através da figura, observa-se que Apyterewa faz fronteira com as TIs Araweté Igarapé Ipixuna e Trincheira Bacaja ao Norte. À Oeste localiza-se o rio Xingu. Ao Sul,

observa-se a expansão de atividades antrópicas, advinda provavelmente da expansão de São Félix do Xingu.

Essa configuração territorial de Apyterewa contribui para que a TI seja simultaneamente um espaço de conectividade socioambiental e um território sob intensa pressão econômica. Nesse contexto, segundo Zucarelli *et al.* (2022), o histórico de exploração da TI remonta às décadas de 1950 e 1960, quando começou a sofrer os impactos da expansão econômica sobre seu território, com a intensificação da extração de madeira. Nas décadas seguintes, a pressão sobre a área aumentou com a expansão da pecuária e a consolidação do garimpo, que trouxeram novas frentes de exploração predatória. Para viabilizar essas atividades, abriram-se estradas clandestinas, ampliando o acesso e acelerando o ritmo da ocupação. Esses processos combinados contribuíram para o agravamento da degradação e para a consolidação de práticas exploratórias historicamente enraizadas na ocupação e no uso da área.

No mesmo sentido, Zucarelli *et al.* (2022) apontam que, para além da presença histórica de atividades econômicas, a própria trajetória de demarcação da Terra Indígena Apyterewa esteve marcada por tensões políticas e institucionais. A Funai, por exemplo, já foi acusada de manter diálogo com empresas envolvidas na extração ilegal de madeira. Paralelamente, governos locais e estaduais se mobilizavam para respaldar interesses que questionavam a legitimidade da TI, chegando a pleitear a redução do território (*ibid.*).

A essas tensões históricas somam-se às pressões advindas do município de São Félix do Xingu, cuja centralidade agropecuária reforça a vulnerabilidade da TI Apyterewa. O município concentra o maior rebanho bovino do país, com 2,5 milhões de cabeças de gado (IBGE, 2022b), além de apresentar elevados índices de desmatamento, que totalizam 314,20 km<sup>2</sup> (PRODES/INPE, 2023).

O contexto de intensa transformação territorial ressalta a vulnerabilidade da Terra Indígena Apyterewa frente às pressões externas, evidenciando a importância de compreender suas alterações de maneira detalhada. Nesse cenário, os materiais e métodos empregados neste estudo permitem investigar de forma sistemática as mudanças na cobertura vegetal e seus impactos ambientais.

#### 4 MATERIAIS E MÉTODOS

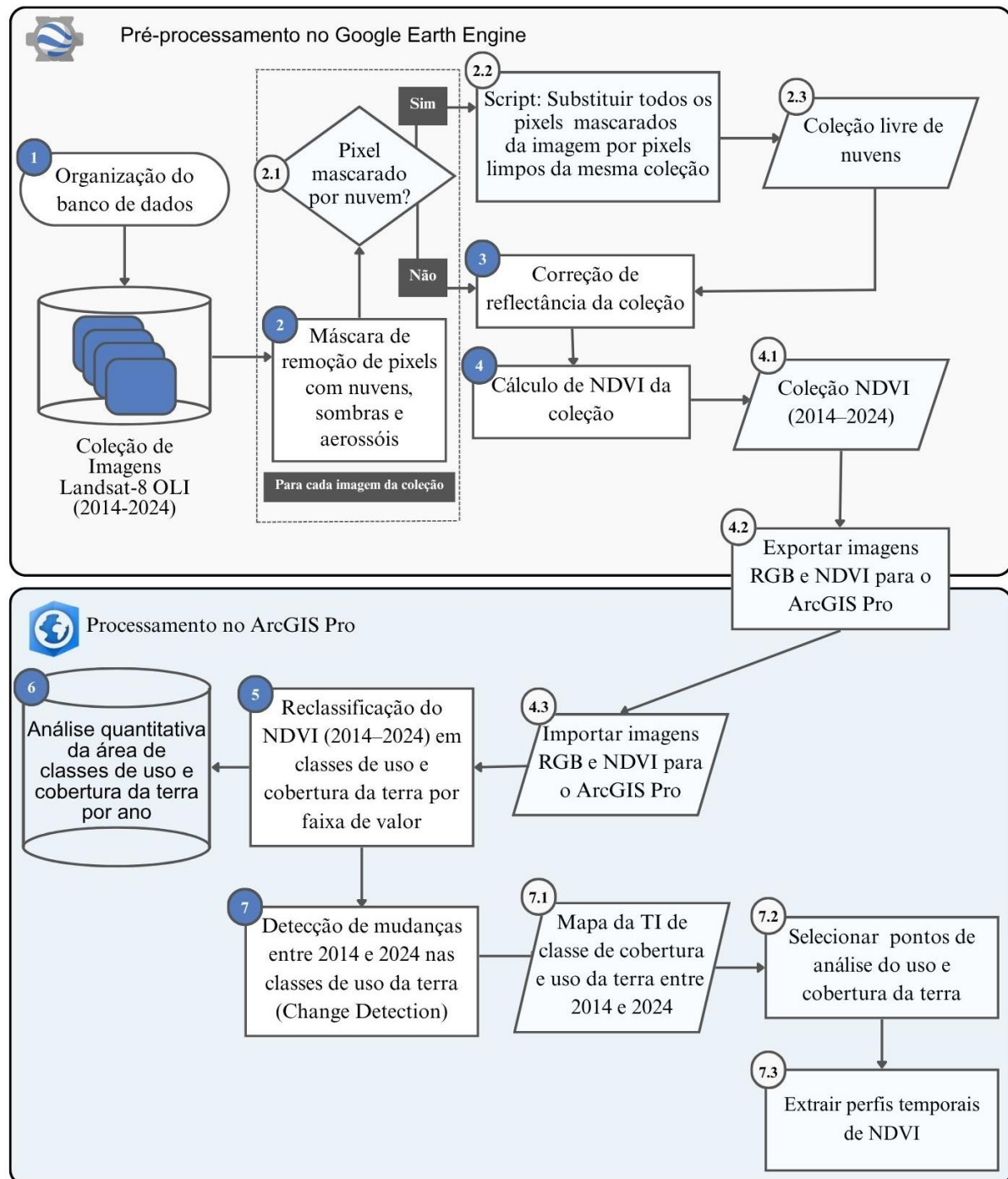
Para a realização do estudo, foram cumpridas as etapas abaixo:

- a) Elaboração de script no *Google Earth Engine* (GEE) para:
  - seleção da coleção de imagens de satélite;
  - aplicação de máscara de nuvens e sombras;
  - substituição dos pixels nublados;
  - correção de reflectância de superfície;
  - cálculo do índice NDVI;
  - produção de gráficos de série temporal de NDVI;
- b) Análise das alterações no uso e cobertura da terra, utilizando o ArcGIS Pro, a partir de:
  - Reclassificação anual (2012–2024) da TI em classes de uso e cobertura da terra, realizada a partir das imagens de satélite e com apoio do NDVI para orientar a identificação de alterações na vegetação;
  - Análise quantitativa do uso e cobertura da terra;
  - Detecção das mudanças no uso e cobertura da terra;
  - Seleção de pontos representativos no território que apresentaram mudanças significativas na cobertura vegetal, permitindo analisar detalhadamente a dinâmica de ocupação do solo ao longo do período analisado.

Assim, a Figura 2 apresenta o fluxograma do procedimento adotado.

Figura 2 – Fluxograma do processo metodológico de análise da cobertura e uso da terra na TI Apyterewa. Os números destacados na cor azul indicam as etapas

principais do processo metodológico, enquanto os demais números indicam as etapas subjacentes.



Fonte: Elaborado pela autora.

Os números indicam as etapas do método, que são detalhadas a seguir. Ressalta-se que as etapas de 1 a 4 foram executadas na plataforma *Google Earth Engine* (GEE), enquanto as de 4 a 7, foram efetuadas no ArcGIS Pro.

O procedimento metodológico desenvolvido no Google Earth Engine (passos 1 a 4) foi integralmente documentado em formato de tutorial em vídeo, disponível no

YouTube pelo link: <https://www.youtube.com/watch?v=QAaQsqlvDuc&t=367s>. Assim como, o código-fonte utilizado encontra-se igualmente acessível em repositório público na plataforma GitHub, através do link: <https://github.com/mapearunesp-bit>.

#### **4.1 Seleção da coleção de imagens de satélite**

Na etapa inicial, as imagens do sensor *Operational Land Imager* (OLI) do satélite Landsat-8 foram obtidas como *Collection 2 Level-2* na plataforma GEE, que oferece processamento em nuvem eficiente para grandes volumes de dados geoespaciais.

Para a análise temporal, foi necessária a construção de séries temporais. Nesse sentido, as imagens da coleção *Collection 2 Level-2* foram organizadas em *Image Collections* na plataforma, por meio de um script que agrupou cenas de uma mesma área, adquiridas em diferentes datas. Ainda no script do GEE, aplicou-se filtragem temporal e espacial, selecionando cenas correspondentes ao período de 2014 a 2024, e que cobrissem integralmente a área da TI Apyterewa.

Inicialmente, as imagens foram escolhidas independentemente da presença de nuvens, garantindo a maior cobertura temporal possível. Ao final desta etapa, obteve-se uma série temporal de 10 anos, composta por 174 imagens que atendiam aos critérios definidos.

#### **4.2 Mascaramento e substituição de nuvens, sombras e aerossóis**

Devido à elevada frequência de chuvas na Amazônia, tornou-se necessária a remoção de pixels comprometidos por nuvens, sombras e aerossóis, já que esses elementos prejudicavam a consistência da série temporal e inviabilizaram a utilização de grande parte das imagens: das 174 disponíveis, 148 seriam descartadas sem esse procedimento. Para contornar essa limitação, aplicou-se, no GEE, um script de máscara baseado na banda de qualidade “QA\_PIXEL”, capaz de identificar e excluir os pixels “contaminados”.

Contudo, a remoção desses pixels das imagens originais gerou extensas áreas sem dados, produzindo lacunas significativas que dificultariam a continuidade da avaliação temporal. Para mitigar esse entrave, implementou-se um script de substituição de pixels mascarados por dados válidos. Esse processo ocorre ao longo de toda a série temporal, percorrendo cada imagem da coleção e tratando cada pixel

individualmente. A lógica de substituição consiste em manter os valores válidos da imagem original e preencher os valores nulos (mascarados) com dados “limpos” provenientes de imagens subsequentes na série temporal, desde que correspondam à mesma posição espacial. Esse preenchimento é cumulativo, de modo que o script testa todas as imagens seguintes até encontrar o primeiro valor confiável, que é usado para substituir o pixel nublado.

Dessa forma, o procedimento de substituição de pixels no GEE garante a coerência temporal de duas maneiras complementares. Primeiramente, o script utiliza o atributo *system:time\_start* (do GEE) para filtrar apenas as imagens posteriores à imagem sendo processada. Assim, o preenchimento dos pixels mascarados ocorre sempre com base na primeira data válida seguinte, respeitando rigorosamente a ordem cronológica da série. Em cada iteração, a função percorre as imagens subsequentes e interrompe a busca assim que encontra o primeiro pixel não mascarado na mesma posição espacial, assegurando que o valor utilizado para substituição seja sempre o mais próximo possível no tempo. Em segundo lugar, antes da execução do método, foi realizada uma verificação da coleção completa (2014–2024), na qual se constatou que todos os anos apresentaram pelo menos uma imagem com cobertura limpa suficiente. Essa verificação garante que o algoritmo sempre encontrará um pixel válido em alguma imagem posterior e elimina o risco de substituição por dados demasiado distantes no tempo.

Assim, essa combinação de filtragem temporal estrita e disponibilidade mínima anual de cenas válidas, assegura-se que a série temporal final seja contínua, consistente e livre de lacunas, sem comprometer a integridade da análise temporal.

#### **4.3 Correção de reflectância de superfície**

Com a série temporal completa e livre de nuvens, procedeu-se à conversão dos valores digitais (*Digital Number - DN*) das bandas espectrais em valores físicos de reflectância de superfície (*Surface Reflectance - SR*). Para isso, seguiram-se as orientações do *United States Geological Survey* (USGS, 2021) para aplicação dos coeficientes de escala correspondentes à *Collection 2 Level-2* do sensor Landsat-8. Esse procedimento foi implementado por meio de um script no GEE, que aplica a conversão em toda a série temporal para garantir a extração precisa de índices espectrais, como o NDVI.

#### 4.4 Cálculo do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI)

Com a coleção de imagens corrigidas e livre de interferências, foi calculado o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). A aplicação dele é proposta para identificar as variações na cobertura vegetal ao longo do tempo na Terra Indígena. Para isso, o NDVI foi calculado para cada imagem da coleção no ambiente do GEE, por meio de um script que automatizou o cálculo do índice. Para o cálculo do índice, utilizou-se a Equação 1 apresenta a seguir:

Equação 1 – Equação para cálculo do Índice de Vegetação Normalizada (NDVI).

$$(1) \quad NDVI = (\alpha(NIR) - \alpha(RED)) \div (\alpha(NIR) + \alpha(RED))$$

Onde  $\alpha(NIR)$  corresponde à banda 5 e  $\alpha(RED)$  corresponde à banda 4, ambas do sensor OLI do satélite LandSat-8. Dessa forma, permitiu-se a construção de um histórico contínuo do comportamento da vegetação.

#### 4.5 Reclassificação anual (2014-2024) da TI em faixas de uso e cobertura da terra

Após o cálculo do NDVI da série, a área de estudo foi classificada quanto ao uso da terra. Para tanto, selecionou-se uma imagem de NDVI representativa para cada ano, no intervalo de 2014 a 2024. Essas imagens anuais de NDVI foram analisadas em conjunto com as composições RGB, com o objetivo de interpretar e inferir o uso e cobertura da terra. Com base nessa interpretação, os valores do índice NDVI foram reclassificados em três tipologias de cobertura da terra predominantes observadas, correspondentes às classes: floresta, pastagem e áreas antropizadas. A categoria de áreas antropizadas compreende solos expostos, edificações ou açudes. O Quadro 1 apresenta as classes e os respectivos intervalos de NDVI adotados na reclassificação.

Quadro 1 – Faixas de valores de NDVI associadas às classes de uso e cobertura da terra.

| Classe de uso e cobertura da terra | Valores de NDVI |
|------------------------------------|-----------------|
| Áreas antropizadas                 | -0,99 a 0,62    |
| Pastagem                           | 0,62 a 0,79     |
| Floresta                           | 0,79 a 0,98     |

Fonte: Imagem OLI (2014-2024). Elaborado pela autora.

#### 4.6 Análise quantitativa e temporal do uso e cobertura da terra

Com base na reclassificação dos valores de NDVI, foram gerados registros anuais da área ocupada (em km<sup>2</sup>) para as classes de uso e cobertura da terra ao longo dos 10 anos de dados. Esses dados foram organizados em um quadro-síntese, permitindo uma análise quantitativa e estatística da dinâmica dessas classes, avaliando variações positivas e negativas, o que permite inferir sobre o padrão de alteração do uso e cobertura da terra.

#### 4.7 Detecção das mudanças no uso e cobertura da terra

O passo seguinte consistiu na identificação de áreas representativas de mudança no uso e cobertura da terra. Para tanto, utilizou-se a ferramenta *Change Detection* do ArcGIS Pro, que consiste na comparação de dados *raster* coletados para uma área em datas distintas, permitindo determinar o tipo, a magnitude e a localização das alterações. A saída do processo é um *raster* de diferença, no qual cada pixel indica o tipo de mudança ocorrida (ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE, 2025). No caso da TI, a identificação concentrou-se nas alterações detectadas pela comparação dos valores de NDVI entre 2014 e 2024.

#### 4.8 Seleção de pontos representativos no território que apresentaram mudanças significativas na cobertura vegetal

Com as mudanças destacadas, selecionaram-se pontos representativos, onde percebeu-se alterações significativas. Nesses locais, foram coletados os valores de NDVI ao longo de toda a série temporal, o que proporcionou a criação de gráficos de perfis temporais desse índice. Esses gráficos foram interpretados em conjunto com

imagens de satélite em composição RGB, o que permitiu identificar o momento da remoção da cobertura vegetal, bem como o tipo de uso do solo estabelecido posteriormente.

Além disso, para conferir maior robustez e consistência aos resultados, os perfis de NDVI obtidos foram comparados com os padrões da biblioteca SatVeg, disponibilizada pela EMBRAPA, o que permitiu validar a interpretação da dinâmica de desmatamento na TI.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Evolução temporal das classes de uso e cobertura da terra

A integração dessas etapas metodológicas possibilitou consolidar a evolução temporal das classes de uso e cobertura da terra, apresentada no Quadro 2, que sintetiza as áreas correspondentes a cada ano analisado.

Quadro 2 – Área das classes de uso e cobertura do solo da TI (2014-2024), em km<sup>2</sup>.

| Ano                                      | Área antropizada (km <sup>2</sup> ) | Área antropizada (%) | Pastagem (km <sup>2</sup> )    | Pastagem (%) | Floresta (km <sup>2</sup> ) | Floresta (%) |
|------------------------------------------|-------------------------------------|----------------------|--------------------------------|--------------|-----------------------------|--------------|
| 2014                                     | 21,82                               | 0,28%                | 189,62                         | 2,45%        | 7.528,51                    | 97,27%       |
| 2015                                     | 45,41                               | 0,59%                | 277,90                         | 3,59%        | 7.416,64                    | 95,82%       |
| 2016                                     | 131,59                              | 1,70%                | 413,92                         | 5,35%        | 7.194,44                    | 92,95%       |
| 2017                                     | 121,20                              | 1,57%                | 290,61                         | 3,75%        | 7.328,15                    | 94,68%       |
| 2018                                     | 160,29                              | 2,07%                | 325,24                         | 4,20%        | 7.254,42                    | 93,73%       |
| 2019                                     | 180,26                              | 2,33%                | 362,49                         | 4,68%        | 7.197,20                    | 92,99%       |
| 2020                                     | 243,24                              | 3,14%                | 360,38                         | 4,66%        | 7.136,35                    | 92,20%       |
| 2021                                     | 78,42                               | 1,01%                | 369,77                         | 4,78%        | 7.291,76                    | 94,21%       |
| 2022                                     | 354,86                              | 4,58%                | 517,55                         | 6,69%        | 6.867,55                    | 88,73%       |
| 2023                                     | 195,24                              | 2,52%                | 465,91                         | 6,02%        | 7.078,81                    | 91,46%       |
| 2024                                     | 90,48                               | 1,17%                | 484,13                         | 6,26%        | 7.165,34                    | 92,58%       |
| <b>Total da Terra Indígena Apyterewa</b> |                                     |                      | <b>7.739,95 km<sup>2</sup></b> |              | <b>100%</b>                 |              |

Fonte: Elaborado pela autora.

Entre 2014 e 2024, a conversão da cobertura florestal em áreas de pastagem e em áreas antropizadas revelou dinâmicas marcadas por variações na intensidade do desmatamento. O primeiro avanço significativo ocorreu entre 2014 e 2016, quando a cobertura florestal reduziu de 7.528,51 km<sup>2</sup> para 7.194,44 km<sup>2</sup>, movimento que resultou na expansão das áreas antropizadas (totalizando 131,59 km<sup>2</sup> em 2016, equivalente a 1,70% da TI) e de pastagem (413,92 km<sup>2</sup>, correspondentes a 5,35% da área). Após esse período inicial de avanço do desmatamento, entre 2017 e 2019

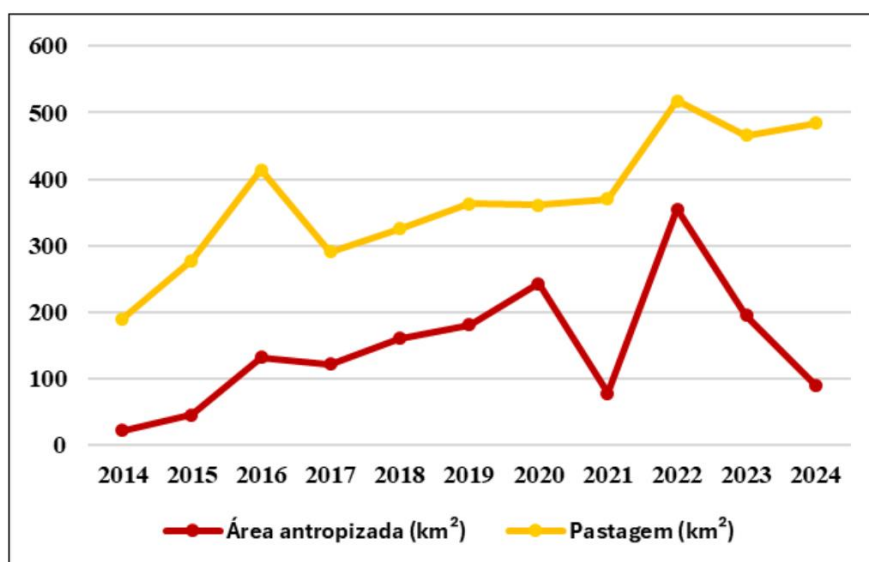
observou-se relativa estabilização das áreas, embora acompanhada de oscilações pontuais que indicam pressão contínua sobre o território.

Entretanto, o intervalo entre 2020 e 2022 representou a fase mais crítica do processo, caracterizada por uma intensificação significativa da remoção da vegetação nativa. O ápice ocorreu em 2022, quando a pastagem passou a ocupar 6,69% do território (517,55 km<sup>2</sup>), e as áreas antropizadas 4,58% (354,86 km<sup>2</sup>), enquanto a floresta atingiu sua menor extensão, de 6.867,55 km<sup>2</sup>.

Nos anos de 2023 e 2024, verificou-se redução das áreas antropizadas e aumento relativo da cobertura florestal, possivelmente relacionado à regeneração natural ou à estabilização das classes de uso já existentes, sem que novas áreas precisassem ser convertidas. Contudo, ressalta-se que, mesmo diante de um cenário de regeneração, a vegetação não apresenta ainda a composição estrutural e a diversidade da floresta original do território.

Esses padrões de mudança na cobertura vegetal tornam-se mais evidentes quando analisados por meio de gráficos de perfil temporal, que sintetizam a evolução das classes de uso da terra ao longo da série histórica. Dessa forma, o Gráfico 1, detalha a expansão das áreas antropizadas e de pastagem.

Gráfico 1 – Em foco, o crescimento das áreas de pastagem e áreas antropizadas (2014–2024).



Fonte: Elaborado pela autora.

O gráfico permite observar a dinâmica entre as classes de uso da terra, tornando seu comportamento temporal mais visível, evidenciando que as áreas de pastagem e antropizadas tendem a crescer e a se retrair quase que simultaneamente

ao longo da série. Essa correlação é especialmente marcante entre o período de 2020 a 2022, quando ambas se expandem em paralelo, coincidindo com a redução mais acentuada da floresta. A única exceção relevante ocorre em 2021, quando a área antropizada apresenta uma retração abrupta que não foi acompanhada pela pastagem, configurando um desvio em relação ao padrão observado. Ainda assim, de modo geral, as duas classes acompanham-se mutuamente, reforçando seu papel conjunto como principais vetores da perda florestal.

Essa redução anômala de 78,42 km<sup>2</sup> na classe de áreas antropizadas em 2021 pode estar relacionada a limitações no processamento das imagens, como falhas na substituição de pixels ou maior interferência de nuvens e sombras, que podem ter reduzido a precisão da classificação naquele ano. Por outro lado, também não se descarta a possibilidade de que o resultado reflita um processo natural ou antrópico pontual ocorrido nesse ano. Ainda assim, o comportamento isolado de 2021, seguido da retomada do crescimento das áreas antropizadas nos anos seguintes, reforça a interpretação de que se trata de uma anomalia temporal, e não de uma tendência real de reversão.

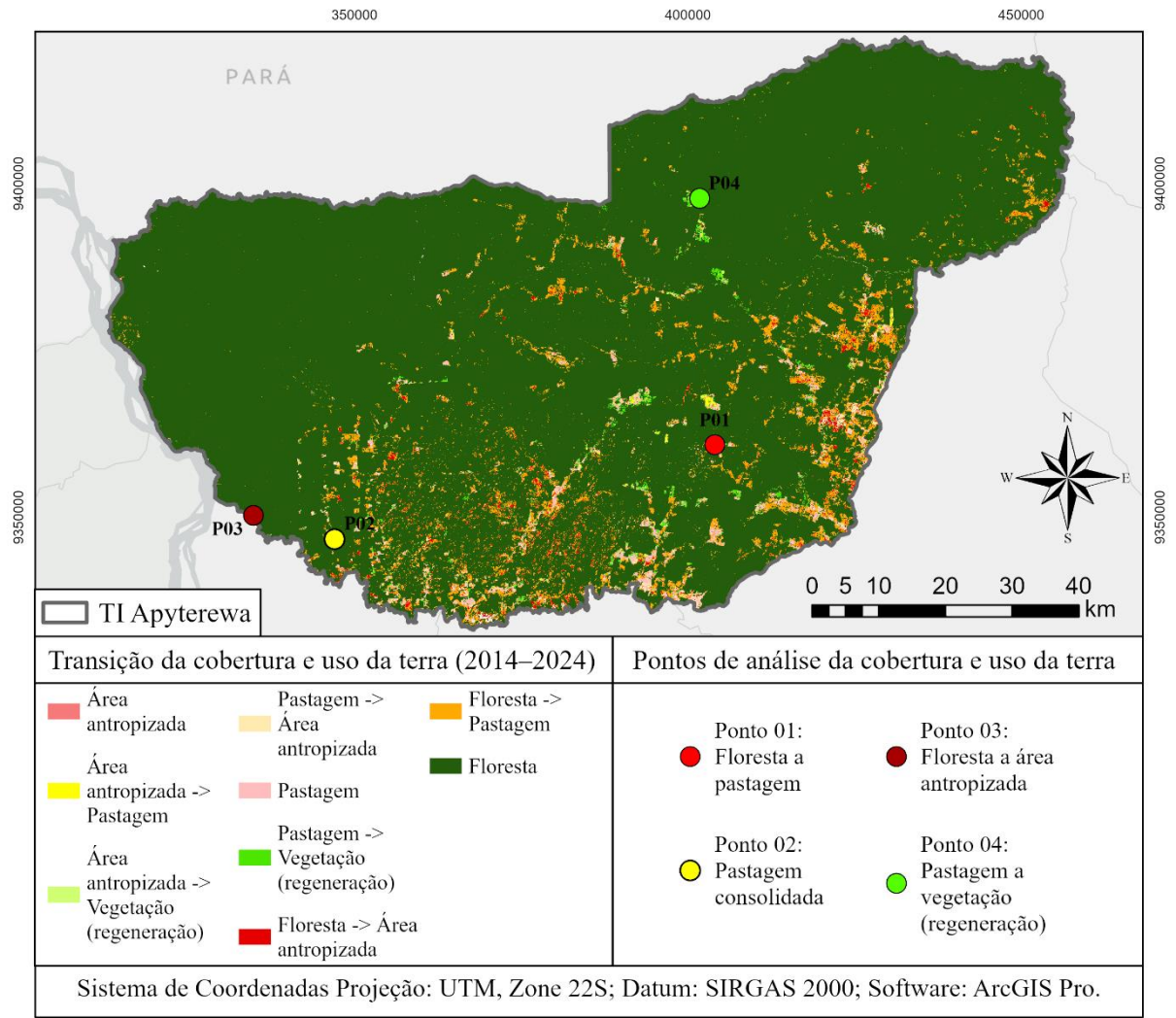
O gráfico, ainda, evidencia os picos de expansão das duas classes ao longo do período analisado. A pastagem apresenta dois pontos de crescimento mais expressivos, em 2016 e 2022, seguida de leve retração em 2023 e nova elevação em 2024. A área antropizada apresenta destaque para o ano de 202 e seu pico em 2022, coincidindo com um dos aumentos da pastagem. Dessa forma, esses picos confirmam a dinâmica interdependente entre as classes e seu papel na expansão da pastagem.

É importante destacar que, apesar de algumas variações temporais, a tendência geral é de aumento das áreas de pastagem e de uso antropizado. Entre o início e o fim do período analisado, o acréscimo dessas áreas é expressivo: em 2014, registravam-se 211,44 km<sup>2</sup> de áreas não naturais, enquanto em 2024 esse valor alcançou 574,61 km<sup>2</sup>. Essa evolução deve ser considerada na análise temporal, avaliando-se não apenas os acréscimos relativos, mas também os momentos de decréscimo, que provavelmente correspondem a processos de regeneração natural. Contudo, essas áreas regeneradas, muitas vezes em estágios iniciais e com condições ecológicas ainda frágeis, vão ser queimadas novamente em um próximo momento, expandindo a fronteira das pastagens.

## **5.2 Transição do uso e ocupação da terra**

Para complementar a análise, a distribuição espacial das classes e das alterações observadas foi mapeada, o que permitiu identificar áreas críticas de mudança e os pontos selecionados para monitoramento detalhado. A Figura 3 ilustra as classes de uso e cobertura da terra da TI Apyterewa, com destaque para os pontos onde foram observadas alterações significativas entre os anos de 2014 e 2024. A legenda, na esquerda, indica as transições de classe, enquanto os pontos de análise são representados separadamente à direita, permitindo associar mudanças de uso da terra aos locais de amostragem. Esses locais foram selecionados para o acompanhamento do comportamento do NDVI ao longo da série temporal de 10 anos com o intuito de compreender as mudanças no uso da terra.

Figura 3 – Classes de uso e cobertura da terra, em destaque, os pontos que apresentaram transição do uso entre 2014 e 2024.



Fonte: Imagem OLI (2014-2024). Elaborado pela autora.

A figura evidencia ampla cobertura florestal, representada em verde escuro. No entanto, nota-se a conversão significativa de floresta em pastagem, especialmente nas porções leste, sul e sudoeste. Destaca-se também a pressão das áreas antropizadas sobre a floresta, que incide principalmente sobre regiões já ocupadas por pastagem, reforçando a relação entre essas duas classes. Outra mudança perceptível é a presença de pastagem já consolidada, que já estava estabelecida em 2014 e permaneceu até 2024, concentrando-se principalmente na borda sul da área.

Adicionalmente, foram identificadas outras classes de transição com menor representatividade espacial, como a conversão de áreas de antropização em vegetação e de pastagem em vegetação, que podem indicar áreas em processo de regeneração. No entanto, esses processos ainda são insuficientes para compensar ou reverter a perda florestal. Os impactos ambientais permanecem significativos, pois os processos ecológicos demandam longos períodos para se restabelecer. Além disso, áreas recém-regeneradas apresentam menor funcionalidade ecológica em comparação com fragmentos florestais preservados há mais tempo.

Os pontos de análise em destaque no mapa ilustram essas dinâmicas: no Ponto 01, observa-se a transição de floresta para pastagem; enquanto no Ponto 03, ocorre a conversão de floresta em área antropizada. O Ponto 02 representa a consolidação da pastagem, e o Ponto 04, por sua vez, ilustra a regeneração de áreas de pastagem em vegetação. As análises detalhadas desses pontos são apresentadas a seguir.

### **5.3 Pontos de análise do uso e cobertura da terra**

Em vista das transições de uso e cobertura da terra identificadas, foram selecionados quatro pontos para análise do NDVI. Os gráficos a seguir permitem acompanhar a variação do NDVI ao longo da série temporal de 10 anos, possibilitando a avaliação da dinâmica do uso e ocupação da terra na TI.

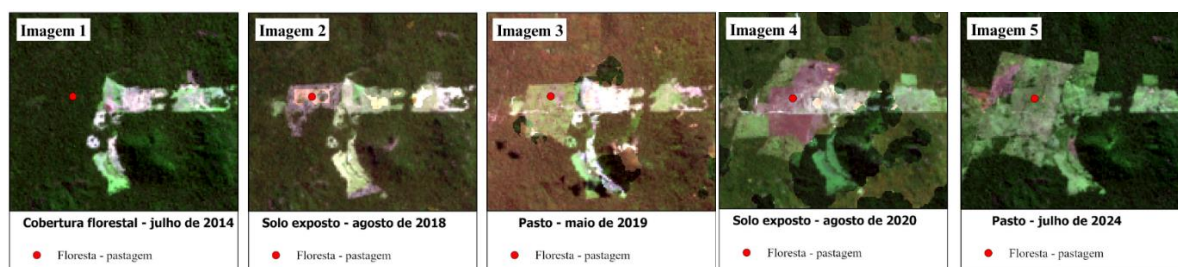
#### **5.3.1 Dinâmica de transição em P01**

A dinâmica de transição de floresta é demonstrada a partir da Figura 4, que apresenta a evolução do índice de vegetação ao longo de 10 anos para o P01, onde foi identificada uma transição de floresta para pastagem. O gráfico é seccionado em cinco pontos, analisados na sequência.

Figura 4 – Transição do uso e cobertura da terra (de floresta para pastagem) no P01. As seções de 1 a 5 apresentam as imagens Landsat (OLI) das datas indicadas.



Interpretação visual da cobertura do solo de P01, conforme a série temporal do NDVI



Fonte: Imagens OLI (2014-2024). Elaborado pela autora.

A Figura 4 revela uma dinâmica de supressão da floresta seguida pela consolidação da pastagem manejada. Até meados de 2017, observa-se estabilidade nos valores de NDVI, compatível com a presença de cobertura florestal, como exemplifica a Figura 4 - Imagem 1. O desmate ocorreu a partir de julho de 2018, quando se observou uma queda abrupta no NDVI. Essa queda é confirmada pela Figura 4 - Imagem 2, que evidencia a transformação da área em solo exposto.

A dinâmica de consolidação da pastagem é compreendida pela análise dos pontos de inflexão do NDVI, que coincidem com os meses de seca da região. Esses períodos podem indicar manejo da pastagem por meio do uso controlado do fogo, evidenciada pela presença de solo exposto nas Figura 4 - Imagens 2 e 4. Em contrapartida, observa-se aumento do NDVI durante os períodos chuvosos, refletindo incremento no volume e no vigor vegetativo, típico da regeneração natural, como apresentado em maio de 2019 (Figura 4 - Imagem 3) e julho de 2024 (Figura 4 - Imagem 5). Contudo, esses valores permanecem inferiores aos registrados para a floresta, ressaltando que não há plena recuperação florestal.

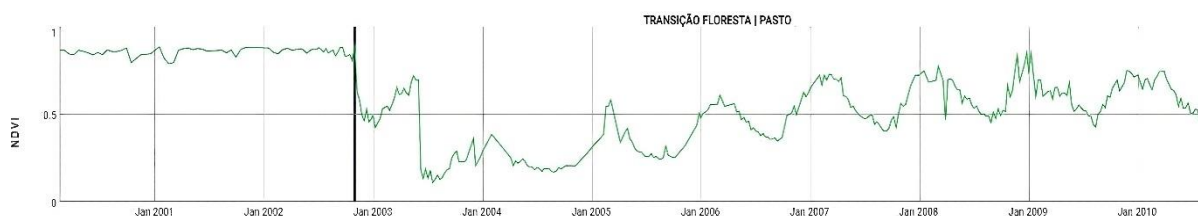
A alternância sazonal da pastagem reflete o uso pecuário consolidado na área, no qual o fogo é empregado como prática de uso controlado da pastagem. Esse

cenário está alinhado a estudos prévios, conforme apontam Nepstad *et al.* (2006), o fogo é empregado tanto na limpeza inicial para implantação da pastagem quanto em sua manutenção. Schroeder *et al.* (2009) reforçam que essa prática representa um método econômico para o controle de plantas invasoras, a recuperação parcial da fertilidade do solo e o estímulo ao rejuvenescimento das gramíneas, essenciais para a alimentação do gado. Pivello (2011) destaca que essas queimadas de estímulo ao rebrote da vegetação ocorrem especialmente durante a estação seca. Dessa forma, em convergência com o P01, anualmente alterna-se entre queda na estação seca, e elevação do NDVI na estação chuvosa em função da regeneração da pastagem para uso do gado.

#### 5.3.1.1 Biblioteca de padrão SATVeg da EMBRAPA de transição floresta a pasto

Para conferir e contextualizar os padrões observados em P01, os resultados obtidos foram comparados com a biblioteca SatVeg da Embrapa, como mostra a Figura 5 abaixo. Essa comparação permite verificar se as tendências de alteração na vegetação, como a redução do NDVI associada ao desflorestamento, seguem padrões históricos já registrados, reforçando a confiabilidade da análise.

Figura 5 – Biblioteca de padrões da SATVeg da EMBRAPA para a transição do uso e cobertura da terra de floresta a pasto.



Fonte: SatVeg – Sistema de Análise Temporal da Vegetação (EMBRAPA, 2025).

O gráfico correspondente a referência da Embrapa (SatVeg), permite observar que a transição ocorre no final de 2002, marcada por uma queda abrupta do NDVI, indicando o processo de desflorestamento e a conversão da floresta em pasto. A partir desse ponto, nota-se um comportamento oscilante anual do índice, com reduções próximas aos meses de agosto e setembro.

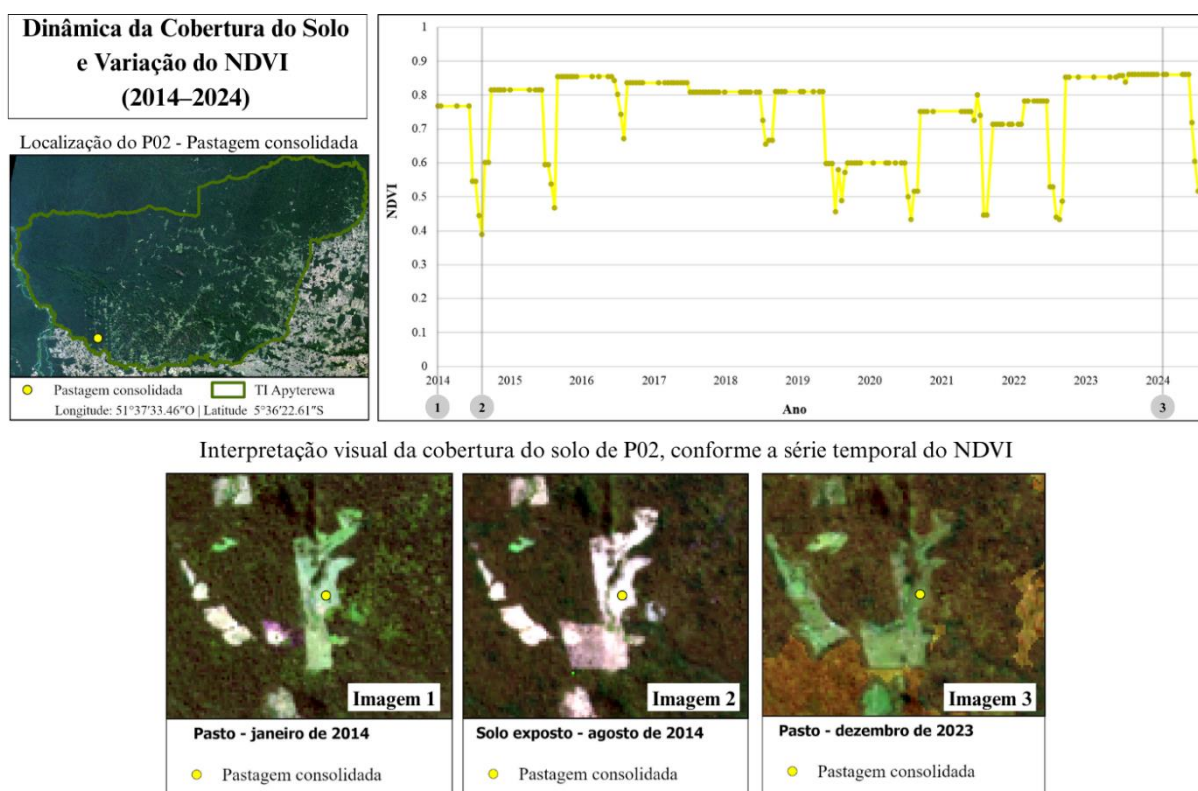
De forma semelhante, no gráfico correspondente ao ponto P01 (2014–2024), verifica-se que o desmatamento ocorreu a partir de julho de 2018, quando o NDVI apresenta uma queda acentuada, refletindo a supressão da vegetação florestal e a posterior conversão em pastagem. Nos anos seguintes, o NDVI também apresenta oscilações anuais, reproduzindo o mesmo comportamento observado no gráfico da

Embrapa e reforçando a correspondência entre os padrões temporais de variação do índice e o uso pecuário consolidado na área pós desmate.

### 5.3.2 Dinâmica de transição em P02

A Figura 6 representa a série temporal de NDVI para o P02, onde foi observado a dinâmica de pastagem consolidada, desde (pelo menos) 2014. Em destaque na figura, encontram-se as imagens representativas das seções do gráfico de NDVI e a localização do ponto em análise.

Figura 6 – Transição do uso e cobertura da terra (de pastagem consolidada) no P02. As seções de 1 a 3 apresentam as imagens Landsat (OLI) das datas indicadas.



Interpretação visual da cobertura do solo de P02, conforme a série temporal do NDVI

Fonte: Imagens OLI (2014-2024). Elaborado pela autora.

Em complemento à dinâmica observada no P01, o ponto P02 também indica uma área onde ocorre o manejo pecuário baseado no controle periódico da pastagem, possivelmente por meio da aplicação de fogo durante a estação seca. A série temporal do NDVI evidencia um padrão cíclico, de variações anuais, em que o vigor vegetativo se reduz durante a estação seca - seja pela ocorrência de queimadas de renovação do pasto (Figura 6 - Imagem 2), seja pela perda natural de água pelas plantas. Bem como, em complemento à dinâmica, observa-se um aumento do NDVI na estação chuvosa, refletindo a recomposição da cobertura de pasto (Figura 6 - Imagem 1 e

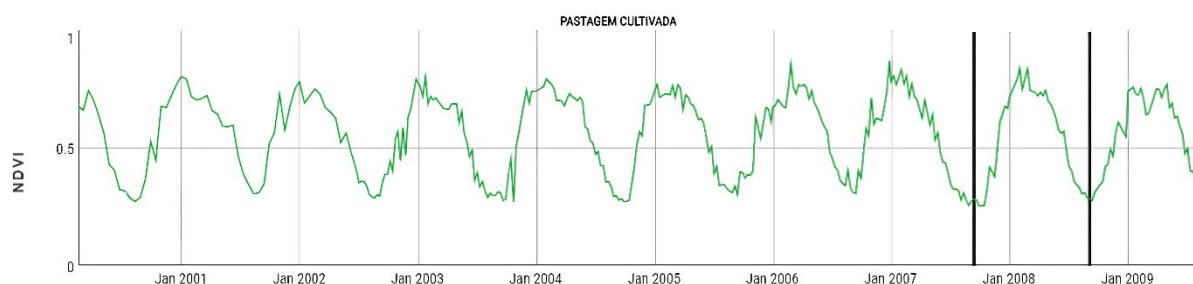
Figura 6 - Imagem 3). Esse comportamento cíclico é corroborado pela interpretação visual das imagens de satélite, que reforça a dinâmica observada.

Essa variação indica que o NDVI no P02 está fortemente associado ao ciclo de crescimento e remoção da pastagem em função do regime hidrológico e reforça a dinâmica cíclica da área, voltada ao uso pecuário contínuo, com ciclos de pastagem, remoção da cobertura vegetal e preparo do solo com fogo para iniciação da regeneração florestal.

#### 5.3.2.1 Biblioteca de padrão SATVeg da EMBRAPA de pastagem cultivada

A Figura 7, em contexto, frente ao padrão SatVeg observado, mostra a análise do P02 que foi confrontada com a biblioteca da Embrapa, a fim de verificar a correspondência entre o comportamento espectro-temporal das pastagens locais e o padrão descrito para essa classe. Observa-se que as variações do NDVI em P02 acompanham a dinâmica típica das pastagens cultivadas.

Figura 7 – Biblioteca de padrões da SATVeg da EMBRAPA para pastagem cultivada.



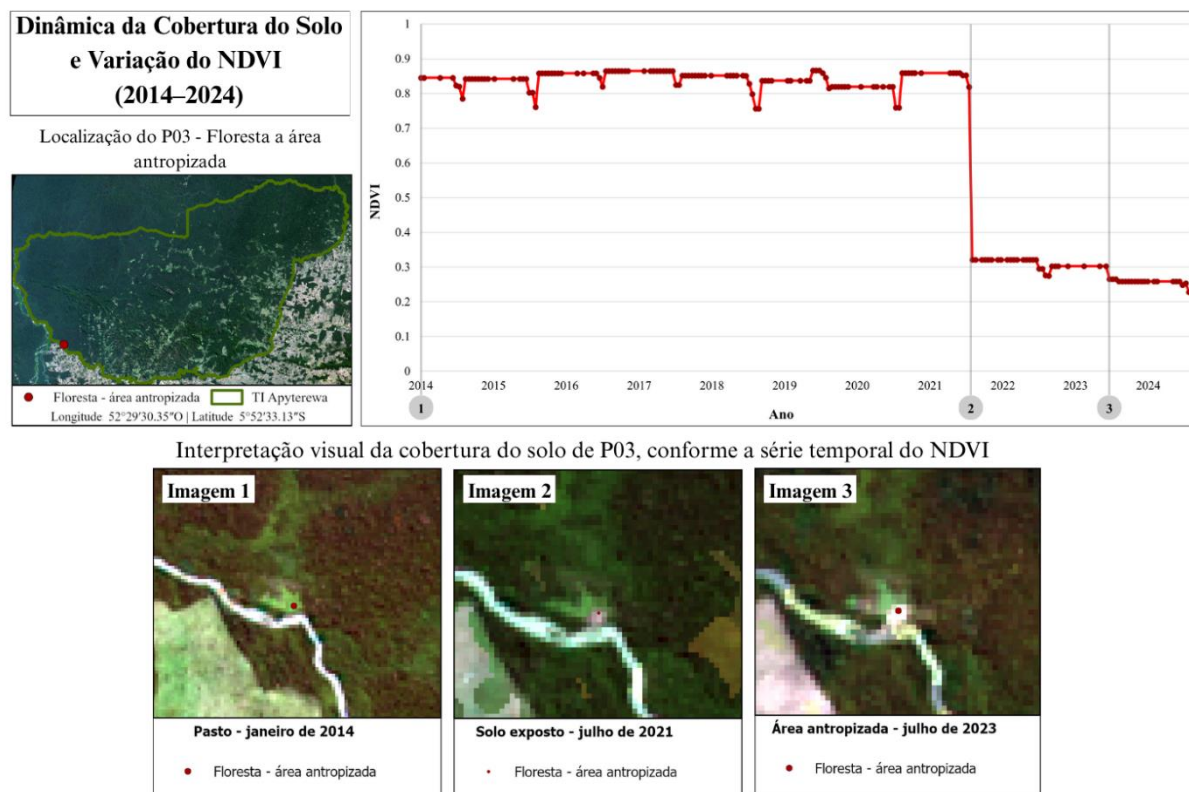
Fonte: SatVeg – Sistema de Análise Temporal da Vegetação (EMBRAPA, 2025).

Considerando o padrão de referência do SatVeg para áreas de pastagem cultivada, observa-se que o comportamento temporal do NDVI em P02 apresenta grande semelhança com o registrado pela biblioteca, indicando um regime sazonal bem definido. A variação anual do índice reflete o ciclo de produtividade das gramíneas (predominantes nas pastagens), com valores mais altos nos períodos chuvosos e queda acentuada na estação seca. Essa redução no NDVI, observada de forma recorrente ao longo dos anos, coincide com a diminuição da biomassa e da umidade do solo, momento em que a vegetação se torna mais suscetível à queima. Assim, é provável que o manejo local se aproveite desses períodos de baixa vegetação verde para a aplicação do fogo.

#### 5.3.3 Dinâmica de transição em P03

A Figura 8 retrata a transição para área antropizada, especificamente, por instalações antrópicas. No gráfico são sinalizadas três seções, associadas a alterações significativas de valores de NDVI e suas respectivas datas, analisadas pelas imagens de satélite.

Figura 8 – Transição do uso e cobertura da terra (de coberta vegetal em estágio inicial de regeneração a área antropizada) no P03. As seções de 1 a 3 apresentam as imagens Landsat (OLI) das datas indicadas.



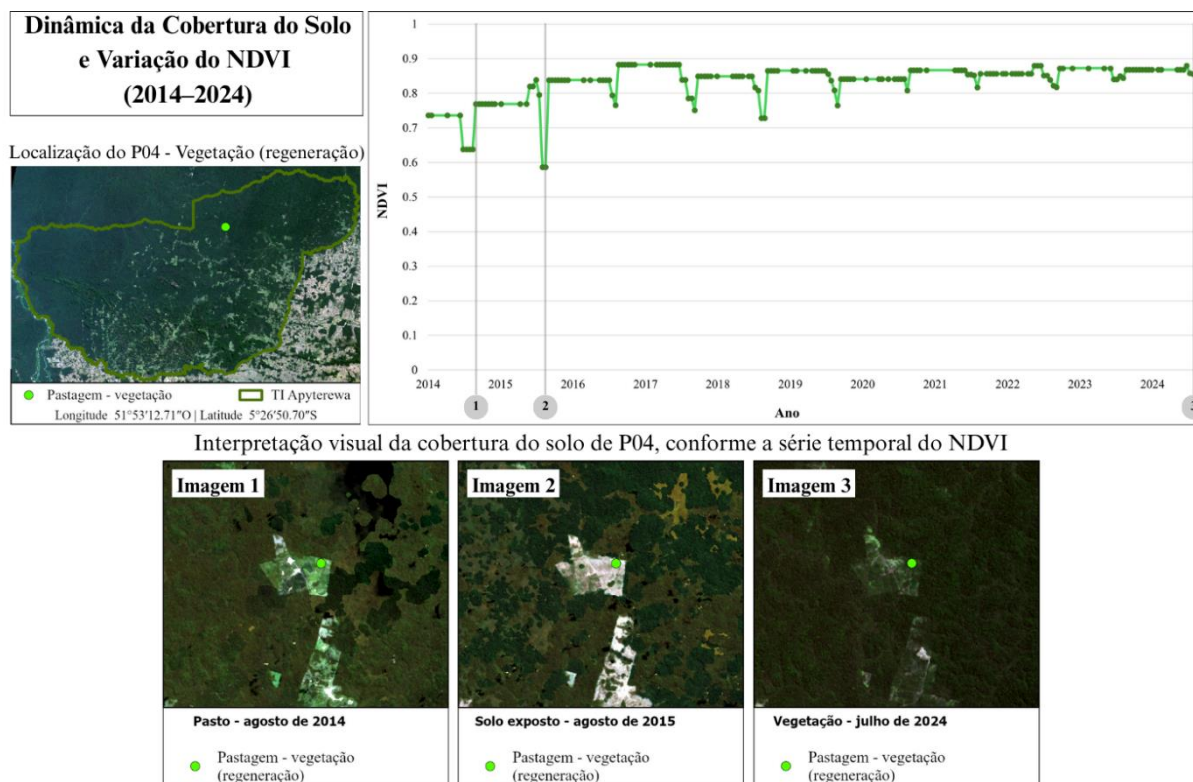
Fonte: Imagens OLI (2014-2024). Elaborado pela autora.

A dinâmica observada revela que a área é convertida diretamente de cobertura vegetal (não florestal) para solo exposto e, por fim, para área construída. O período entre 2014 e 2021 apresenta valores de NDVI elevados e regulares, o que indicaria a presença de vegetação. Entretanto, a imagem de janeiro de 2014 (Figura 8 - Imagem 1) revela que a área não corresponde a floresta densa, mas provavelmente estava coberta por vegetação em estágio inicial de regeneração, e que se manteve até 2021. A partir de julho desse ano, observa-se uma queda abrupta nos valores de NDVI (Figura 8 - Imagem 2), sinalizando a presença de solo exposto e a remoção da cobertura vegetal anterior. O NDVI permanece baixo ao longo dos anos posteriores (Figura 8 - Imagem 3), o que mostra a instalação de estruturas, indicando a conversão definitiva da área para uso antrópico.

### 5.3.4 Dinâmica de transição em P04

Em divergência dos cenários de transição apresentados anteriormente, a Figura 9 ilustra a transição no P04, onde a cobertura da terra mudou de pastagem para vegetação mais densa, indicando um possível processo de regeneração natural.

Figura 9 – Transição do uso e cobertura da terra (de pastagem a cobertura vegetal de regeneração) no P04. As seções de 1 a 3 apresentam as imagens Landsat (OLI) das datas indicadas.



Fonte: Imagens OLI (2014-2024). Elaborado pelos autores.

A partir dos gráficos apresentados, percebe-se uma tendência de aumento do NDVI ao longo dos anos, principalmente a partir de 2017, sugerindo um processo de regeneração. A Figura 9 - Imagem 1 e os valores de NDVI indicam vegetação de pasto. A Figura 9 - Imagem 2 (de agosto de 2015) mostra uma queda expressiva no NDVI e revela a presença de solo exposto, resultado da remoção da pastagem anterior para possível preparo do solo. Entretanto, em contraste com os cenários de transições anteriores, o padrão cíclico de pastagem e remoção da vegetação é interrompido. Esse contexto é demonstrado na Figura 9 - Imagem 3, que indica uma cobertura florestal densa, sem áreas expostas visíveis. Dessa forma, a transição capturada revela que o uso pecuário foi interrompido ou significativamente reduzido, permitindo o retorno da vegetação e o aumento gradual e sustentado do NDVI.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do estudo apresentado, conclui-se que, a análise global entre 2014 e 2024, indica uma tendência da perda da cobertura vegetal na Terra Indígena Apyterewa com conversão de floresta para pastagem e outras áreas antropizadas, seguidos por períodos de consolidação do uso da terra. Ainda que apresentado flutuações pontuais, observa-se uma tendência de crescimento contínuo dessas classes ao longo da série temporal, indicando expansão contínua da ocupação e deflorestamento no território.

Em termos quantitativos, entre 2014 e 2024, verificou-se um acréscimo expressivo das áreas não naturais, que passaram de 211,44 km<sup>2</sup> (sendo 189,62 km<sup>2</sup> de pastagens e 21,82 km<sup>2</sup> de áreas antropizadas) para 574,61 km<sup>2</sup> (com 484,13 km<sup>2</sup> de pastagens e 90,48 km<sup>2</sup> de áreas antropizadas), o que representa um aumento de aproximadamente 171,8% no período analisado.

Nesse sentido, observa-se uma tendência constante de desmatamento, ilustrada por uma linha ascendente (Gráfico 1) sobre a qual se destacam dois picos de intensificação. Tais sobressaltos não configuram ciclos, uma vez que não há interrupção ou reversão da tendência, mas podem estar associados a conjunturas econômicas, políticas ou institucionais que, em determinados períodos, favoreceram a ampliação das pressões sobre o território.

Embora a análise aqui proposta não tenha como foco identificar diretamente essas causas, os resultados obtidos abrem espaço para novas investigações que explorem possíveis conexões entre a dinâmica observada e o contexto socioeconômico e político regional ou nacional. Assim, este trabalho contribui não apenas para compreender a evolução recente do uso da terra na Terra Indígena Apyterewa, mas também para subsidiar futuras pesquisas voltadas à compreensão dos fatores que impulsionam o desmatamento em territórios indígenas.

Para os períodos de aparente estabilização da perda florestal, a interrupção do crescimento das áreas desmatadas não significa redução da pressão antrópica. Na verdade, observa-se a consolidação dos usos já estabelecidos, especialmente das pastagens, que se mantêm ativas e predominantes nessas regiões. Assim, ainda que a supressão florestal apresente menor variação anual, a ocupação humana e as atividades agropecuárias permanecem constantes, sustentando a pressão sobre a paisagem.

Nesse sentido, retomando o comportamento da classe “área antropizada”, observa-se uma redução inesperada em 2021, acompanhada de novas quedas em 2023 e 2024. A análise visual das imagens desses anos indica que essa variação não representa uma diminuição real da pressão antrópica, mas sim uma alternância entre estágios de uso da terra. Nesses períodos, nota-se a presença predominante de pastagens nas áreas que, em outros anos, foram classificadas como antropizadas – o que sugere uma dinâmica de transição entre fases de remoção da cobertura (solo exposto) e posterior estabelecimento de pastagem. Assim, essas oscilações refletem mais a alternância entre diferentes formas de uso antrópico do solo do que uma reversão efetiva do processo de desmatamento.

Nos períodos de desmate ativo, observa-se a predominância da pastagem em relação às áreas antropizadas durante todo o período analisado (2014-2024), e essa dominância vem acompanhada de práticas de manejo recorrentes, como nos pontos P01 e P02, em que o uso sazonal do fogo é aplicado para manter a vegetação de pasto destinada à pecuária. A prática é utilizada junto à estação, de modo a degradar e “recuperar” intencionalmente a cobertura vegetal. Essa consolidação do uso do solo contribui para explicar que as áreas que apresentaram sinais de regeneração, como no P04, raramente retornam ao estado original ou levam décadas para recuperar sua biodiversidade e funções ecossistêmicas.

Adicionalmente, observa-se uma tendência espacial de atividades antrópicas que se concentram no sul e sudeste da Terra Indígena, provavelmente favorecida pela proximidade com estradas ou limites da TI. Assim, ainda que identificadas em menor expressão as áreas edificadas, como no P03, podem servir como núcleos de expansão de novas áreas antropizadas.

Por fim, o sensoriamento remoto moderno, aliado à construção de séries temporais de NDVI e ao processamento em nuvem, viabilizou a realização das análises mesmo em áreas com alta frequência de cobertura de nuvens. A metodologia permitiu a utilização das 174 imagens da coleção para avaliação do uso e cobertura da terra, das quais 148 apresentavam cobertura nebulosa. O script de mascaramento e preenchimento conseguiu resgatar 85% dessas imagens, demonstrando seu potencial de aplicação em diferentes regiões de estudo.

## REFERÊNCIAS

AB'SABER, A. N. Os domínios morfoclimáticos na América do Sul: primeira aproximação. *Geomorfologia*, v. 52, p. 1-23, 1997.

AHMAD, R.; MISHRA, C.; SHARMA, K.; SINGH, N. J.; RAWAT, G. S.; BHATNAGAR, Y. V. Avoiding areas with high livestock pressure: Understanding impacts of livestock on markhor in north-western Himalayas. *Journal for Nature Conservation*, v. 86, p. 126933, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jnc.2025.126933>. Acesso em: 25 de jul. 2025.

ALENCAR, A.; NEPSTAD, D.; MCGRATH, D.; MOUTINHO, P.; PACHECO, P.; DIAZ, M. D. C. V.; SOARES-FILHO, B. Desmatamento na Amazônia: indo além da emergência crônica. Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM), 2004. Disponível em: [https://ipam.org.br/wp-content/uploads/2004/03/desmatamento\\_na\\_amazo%CC%82nia\\_indo\\_ale%CC%81m\\_da\\_-e.pdf](https://ipam.org.br/wp-content/uploads/2004/03/desmatamento_na_amazo%CC%82nia_indo_ale%CC%81m_da_-e.pdf). Acesso em: 24 de jul. 2025.

ALVEZ, P. H. C. S.; LIMA, E. S.; VELOSO, G. A. Dinâmica do desmatamento na Terra Indígena Apyterewa (Pará – Brasil) mediante a aplicação de técnicas de sensoriamento remoto, 2022.

BARBOSA, A. B.; MENGUE, V. P.; MORAES, E. R.; SORIA, L. S. Impacto das rodovias na degradação ambiental na região amazônica brasileira. *Anais do XXI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Salvador, 2025.

BORINI ALVES, D.; PÉREZ-CABELLO, F.; RODRIGUES M., M. Land-use and land-cover dynamics monitored by NDVI multitemporal analysis in a selected southern Amazonian area (Brazil) for the last three decades. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, p. 329–335, 2015. Disponível em: <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-7-W3-329-2015>. Acesso em: 28 jul. 2025.

BRASIL. Constituição (1988). Constituição da República Federativa do Brasil. Diário Oficial da União, Brasília, 5 out. 1988. Disponível em: [https://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/constituicao/constituicao.htm](https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicao.htm). Acesso em: 8 jul. 2025.

BRASIL. Lei nº 5.173, de 27 de outubro de 1966. *Diário Oficial da União: seção 1*, Brasília, DF, 28 out. 1966.

CABRAL, A. L. A.; MORAS FILHO, L. O.; BORGES, L. A. C. Uso do fogo na agricultura: legislação, impactos ambientais e realidade na Amazônia. *Fórum Ambiental da Alta Paulista*, v. 9, n. 5, p. 159–172, 2013.

CAPECHE, C. L. Impactos das queimadas na qualidade do solo: degradação ambiental e manejo e conservação do solo e água. In: ENCONTRO CIENTÍFICO DO PARQUE ESTADUAL DOS TRÊS PICOS, 2., 2012, Cachoeiras de Macacu, RJ. Anais. Rio de Janeiro: INEA, 2012. 6 p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/956695/impactos-das-queimadas-na-qualidade-do-solo---degradacao-ambiental-e-manejo-e-conservacao-do-solo-e-agua>. Acesso em: 22 out. 2025.

CHEN, Q.; VAUDOUR, E.; RICHER-DE-FORGES, A. C.; ARROUAYS, D. Spectral indices in remote sensing of soil: definition, popularity, and issues. *Remote Sensing of Environment*, v. 329, p. 114918, nov. 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2025.114918>. Acesso em: 28 de jul. 2025

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). *SatVeg: Sistema de Análise Temporal da Vegetação*, 2025.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE. Change detection in ArcGIS Pro. ArcGIS Pro Documentation. Disponível em: <https://pro.arcgis.com/en/pro-app/latest/help/analysis/image-analyst/change-detection-in-arcgis-pro.htm>. Acesso em: 15 de out. 2025.

FAUSTO, C. Inimigos fiéis: história, guerra e xamanismo na Amazônia. São Paulo, Edusp, 2001.

FEARNSIDE, P. M. *A floresta amazônica nas mudanças globais*. 2. ed. Manaus: Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), 2003. p. 10.

FERREIRA PINTO, K.; PAMBOUKIAN, S. V. D. USO DE GEOTECNOLOGIAS PARA DETECÇÃO DE DESMATAMENTOS. *Revista Mackenzie de Engenharia e Computação*, v. 24, n. 1, p. 62–86, 2024. Disponível em: <https://editorarevistas.mackenzie.br/index.php/rmec/article/view/16367>. Acesso em: 5 nov. 2025.

FERREIRA, K. R.; QUEIROZ, G. R.; VINHAS, L.; MARUJO, R. F. B.; SIMÕES, R. E. O.; PICOLI, M. C. A.; CAMARA, G.; CARTAXO, R.; GOMES, V. C. F.; SANTOS, L. A.; SANCHEZ, A. H.; ARCANJO, J. S.; FRONZA, J. G.; NORONHA, C. A.; COSTA, R. W.; ZAGLIA, M. C.; ZIOTI, F.; KORTING, T. S.; SOARES, A. R.; CHAVES, M. E. D.; FONSECA, L. M. G. Earth Observation Data Cubes for Brazil: Requirements, Methodology and Products. *Remote Sensing*, v. 12, n. 24, art. 4033, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs12244033>. Acesso em: 29 de jul. 2025.

FUNG, T.; SIU, W. Environmental quality and its change: an analysis using NDVI. *International Journal of Remote Sensing*, v. 21, n. 5, p. 1011–1024, 2000.

GOMES, V. C. F.; QUEIROZ, G. R.; FERREIRA, K. R. An overview of platforms for big Earth observation data management and analysis. *Remote Sensing*, [S.l.], v. 12, n. 8, art. 1253, 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2072-4292/12/8/1253>. Acesso em: 28 jul. 2025.

HENRIQUES, M.; McVICAR, T. R.; HOLLAND, K. L.; DALY, E. Monitoring spatially heterogeneous riparian vegetation around permanent waterholes: a method to integrate LiDAR and Landsat data for enhanced ecological interpretation of Landsat fPAR time-series. *Remote Sensing of Environment*, v. 315, p. 114382, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2024.114382>. Acesso em: 28 de jul. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Malhas territoriais: divisão político-administrativa do Brasil, 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/15774-malhas.html>. Acesso em: 3 nov. 2025.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE); Ministério do Meio Ambiente (MMA). Mapa de Biomas do Brasil - Primeira Aproximação, 2004.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Brasil tem 1,7 milhão de indígenas e mais da metade deles vive na Amazônia Legal. 2022a.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). PPM – Pesquisa da Pecuária Municipal. 2022b. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9107-producao-da-pecuaria-municipal.html>. Acesso em: 22 de abr. de 2024.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). COORDENAÇÃO GERAL DE OBSERVAÇÃO DA TERRA. PROGRAMA DE MONITORAMENTO DA AMAZÔNIA E DEMAIS BIOMAS. Desmatamento – Amazônia Legal. Disponível em: [http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/app/dashboard/deforestation/biomes/legal\\_amazon/rates](http://terrabrasilis.dpi.inpe.br/app/dashboard/deforestation/biomes/legal_amazon/rates). Acesso em 18 de abr. de 2024.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). Limites dos Biomas. Dados vetoriais — polígonos dos novos limites dos biomas brasileiros, 2022. Disponível em: <https://data.inpe.br/geonetwork/srv/api/records/0d88678e-4cdb-44f3-9b1d-8edc00bc4122>. Acesso em: 3 nov. 2025.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). PRODES – Monitoramento do desmatamento da floresta Amazônica brasileira por satélite. São José dos Campos: INPE, 2024. Disponível em: [https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/app/dashboard/deforestation/biomes/legal\\_amazon/rates](https://terrabrasilis.dpi.inpe.br/app/dashboard/deforestation/biomes/legal_amazon/rates). Acesso em: 7 jul. 2025.

KANJIN, K.; ALAM, B. M. Assessing changes in land cover, NDVI, and LST in the Sundarbans mangrove forest in Bangladesh and India: A GIS and remote sensing approach. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, v. 36, p. 101289. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352938524001538>. Acesso em: 24 jul. 2025.

KENNEDY, R. E.; YANG, Z.; COHEN, W. B. Detecting trends in forest disturbance and recovery using yearly Landsat time series: 1. LandTrendr – Temporal segmentation algorithms. *Remote Sensing of Environment*, v. 114, n. 12, p. 2897-2910, 2010. DOI: 10.1016/j.rse.2010.07.008. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0034425710002245>. Acesso em: 22 set. 2025.

LOUREIRO, V. R.; PINTO, J. N. A. A questão fundiária na Amazônia. *Estudos Avançados*, v. 19, n. 54, p. 77–98, ago, 2005.

MA, M.; VEROUSTRAETE, F. Reconstructing Pathfinder AVHRR land NDVI time-series data for the Northwest of China. *Advances in Space Research*, v. 37, n. 4, p. 835-840, 2006. DOI: 10.1016/j.asr.2005.08.037. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0273117705010331>. Acesso em: 22 set. 2025.

MAPBIOMAS. Projeto MapBiomas – Coleção 9.0 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil, 1985-2023. Disponível em: <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org>. Acesso em: 22 de jul. 2025.

MELÉNDEZ-ALDANA, M. A.; FLORES-RENTERÍA, D.; PADILLA RAMÍREZ, F. J.; HUERTA-MARTÍNEZ, F. M.; SALCEDO-PÉREZ, E. Assessing soil health under contrasting livestock grazing management systems and environmental conditions. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 393, p. 107142, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2025.107142>. Acesso em: 28 de jul. 2025.

MELO, E. T. Diagnóstico Físico Conservacionista da Microbacia Hidrográfica do Riacho dos Cavalos – Crateús/CE, 2008.

MONTERO, D.; AYBAR, C.; MAHECHA, M. D.; MARTINUZZI, F.; SÖCHTING, M.; WIENEKE, S. A standardized catalogue of spectral indices to advance the use of remote sensing in Earth system research. *Scientific Data*, v. 10, n. 1, art. 197, abr. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41597-023-02096-0>. Acesso em: 28 de jul. 2025.

MULLER, M.; LIBONATI, R.; PERES, L.; RODRIGUES, J. A. Comparação espaço temporal do regime de fogo em Terras Indígenas na Amazônia. *Anais do XXI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Salvador, 2025.

NEPSTAD, D. C.; MOREIRA, A.; ALENCAR, A. A. A Floresta em Chamas: Origens, Impactos e Prevenção de Fogo na Amazônia. *Programa Piloto para a Proteção das Florestas Tropicais do Brasil*, Brasília, 1999.

NEPSTAD, D. C.; SCHWARTZMAN, S.; BAMBERGER, B.; SANTILLI, M.; RAY, D.; SCHLESINGER, P.; LEFEBVRE, P.; ALENCAR, A.; PRINZ, E.; FISKE, G.; ROLLA, A. Inhibition of Amazon deforestation and fire by parks and indigenous lands. *Conservation Biology*, v. 20, n. 1, p. 65–73, 2006. DOI: 10.1111/j.1523-1739.2006.00351.

NGUYEN, T. H.; JONES, S. D.; SOTO-BERELOV, M.; HAYWOOD, A.; HISLOP, S. A spatial and temporal analysis of forest dynamics using Landsat time-series. *Remote Sensing of Environment*, v. 217, p. 461–475, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.08.028>. Acesso em: 28 de jul. 2025.

NIU, W.; DING, J.; FU, B.; ZHAO, W.; ELDRIDGE, D. Global effects of livestock grazing on ecosystem functions vary with grazing management and environment. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, v. 350, p. 107237, 2025. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2024.107237>. Acesso em: 25 de jul. 2025.

PIMENTEL, D.; BURGESS, M. Soil Erosion Threatens Food Production. *Agriculture*, v. 3, n. 3, p. 443–463, 2013. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2077-0472/3/3/443>. Acesso em: 24 jul. 2025.

PINHEIRO, M. S. B.; TRECCANI, G. D. O avanço da fronteira sobre as terras indígenas na Amazônia, a partir do Relatório da Comissão Nacional da Verdade. *Revista de Direito Agrário e Agroambiental*, Maranhão, v. 3, n. 2, p. 82–98. 2017.

PIVELLO, Vânia R. The Use of Fire in the Cerrado and Amazonian Rainforests of Brazil: Past and Present. *Fire Ecology*, v. 7, n. 1, p. 24–39, 2011. DOI: 10.4996/fireecology.0701024.

PNUMA/OTCA. *Perspectivas do Meio Ambiente na Amazônia: Geo Amazônia*. Brasília: PNUMA, 2008. p.109.

RIBEIRO, et al. Análise temporal de dados NDVI para o município de Toledo PR, obtidos de imagens Landsat 8, 2018.

RIQUETTI, N. B.; BESKOW, S.; GUO, L.; MELLO, C. R. Soil erosion assessment in the Amazon basin in the last 60 years of deforestation. *Environmental Research*, v.

236, p. 115-125, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2023.115125>. Acesso em: 24 jul. 2025.

ROMERO-RUIZ, A.; MONAGHAN, R.; MILNE, A.; COLEMAN, K.; CARDENAS, L.; SEGURA, C.; WHITMORE, A. P. Modelling changes in soil structure caused by livestock treading. *Geoderma*, v. 422, p. 115857, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2023.115857>. Acesso em: 28 jul. 2025.

SÁ, R. J. DA S. de; FÉLIX, I. B.; SOUZA, G. B. de; SILVA, A. P. dos S.; SOUZA, A. G. S. de; RIBEIRO, J. M. F. A importância da biodiversidade amazônica. 2019. p. 4.

SALOMÃO, C. S. C.; STABILE, M. C. C.; SOUZA, L.; ALENCAR, A.; CASTRO, I.; GUYOT, C.; MOUTINHO, P. Amazônia em chamas – desmatamento, fogo e pecuária em terras públicas: Nota Técnica nº 8. Brasília, DF: Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia (IPAM), 2021.

SANTOS, C. R.; RIBERO, O. S. A Amazônia entre os anos 1964 a 1970: apontamentos sobre as primeiras intervenções do autoritarismo, 2022.

SCHROEDER, W.; ALENCAR, A.; ARIMA, E.; SETZER, A. A distribuição espacial e variabilidade interanual do fogo na Amazônia. *Amazonia and Global Change*. Geophysical Monograph Series, v. 186, p. 43–60, 2009. DOI: 10.1029/2008GM000724.

SCHWIEDER, M.; WESEMAYER, M.; FRANTZ, D.; PFOCH, K.; ERASMI, S.; PICKERT, J.; NENDEL, C.; HOSTERT, P. Mapping grassland mowing events across Germany based on combined Sentinel-2 and Landsat 8 time series. *Remote Sensing of Environment*, v. 269, p. 112802, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2021.112802>. Acesso em: 28 jul. 2025.

SILVA, M. G. et al. Aplicação do NDVI para análise espaço-temporal da cobertura vegetal da Reserva Biológica do Gurupi, Maranhão, 2019.

SIMÕES, R.; CAMARA, G.; QUEIROZ, G.; SOUZA, F.; ANDRADE, P. R.; SANTOS, L.; CARVALHO, A.; FERREIRA, K. Satellite image time series analysis for big Earth observation data. *Remote Sensing*, Basel, v. 13, n. 13, art. 2428, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/rs13132428>. Acesso em: 15 set. 2025.

TERRAS INDÍGENAS NO BRASIL. Alerta no Xingu! Agosto registrou pior desmatamento desde 2018, 2021. Disponível em: <https://terrasindigenas.org.br/pt-br/noticia/215779>. Acesso em 19 de abr. de 2024.

TERRAS INDÍGENAS NO BRASIL. Terra Indígena Apyterewa. Disponível em: <https://terrasindigenas.org.br/pt-br/terras-indigenas/3585>. Acesso em 18 de abr. de 2024.

TUCKER, C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, v. 8, n. 2, p. 127–150, 1979.

WALKER, W. S. et al. O papel da conversão, degradação e perturbação florestal na dinâmica do carbono em territórios indígenas e áreas protegidas da Amazônia. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 117, n. 6, p. 3015–3025, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1913321117>.

WHITE, Benjamin Leonardo Alves. Spatiotemporal variability in fire foci detection in the state of Pará, Brazil. *Acta Amazonica*, v. 54, 2024.