

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA (UNESP)  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS E CIÊNCIAS EXATAS - CÂMPUS DE RIO CLARO

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

Pesquisador Responsável: Prof. Dr. Danilo Marques de Magalhães

Número do Processo FAPESP: 2024/13710-0

Período de vigência do projeto: 01/10/2024 a 30/09/2025

Período coberto pelo Relatório Científico: 10/10/2025

## 1. Resumo

O bioma Amazônico reconhecido como o mais extenso do Brasil, contudo, enfrenta pressões antrópicas significativas, principalmente pela expansão agropecuária, que ocupa cerca de 16% da região, sendo 88% destinada a pastagens. As Terras Indígenas (TI) funcionam como barreiras naturais contra o desmatamento, mas algumas apresentam essa função comprometida, como a Terra Indígena Apyterewa, localizada em São Félix do Xingu (PA), que entre 2019 e 2024 manteve altos índices de desmatamento. Para compreender a dinâmica da cobertura vegetal, foram utilizadas séries temporais de imagens do satélite Landsat-8 (2014–2024), processadas no Google Earth Engine. As imagens foram organizadas em coleções temporais, filtradas espacial e temporalmente, e submetidas a máscara de nuvens, sombras e aerossóis, seguida de preenchimento de pixels nublados, garantindo séries contínuas e confiáveis para cálculo do NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada). Esse índice, aliado a análises visuais de composições RGB, permitiu a classificação anual da TI em três classes de cobertura: floresta, pastagem e áreas antropizadas. Os resultados revelam ciclos de conversão de floresta em pastagem e áreas antropizadas, com períodos de desmatamento mais intenso e outros de estabilização ou regeneração parcial da vegetação. A análise dos pontos de estudo indicou que o manejo pecuário, com uso sazonal do fogo, influencia a dinâmica das pastagens, enquanto áreas em regeneração apresentam aumento gradual do NDVI, sugerindo recuperação parcial, ainda insuficiente para restituir a estrutura original da floresta. O estudo demonstra que o sensoriamento remoto, aliado ao processamento em nuvem e à análise de séries temporais de NDVI, é uma ferramenta eficaz para monitorar alterações na cobertura vegetal da TI Apyterewa, mesmo em regiões de elevada nebulosidade. Os resultados fornecem subsídios importantes para estratégias de conservação e gestão ambiental em áreas críticas da Amazônia.

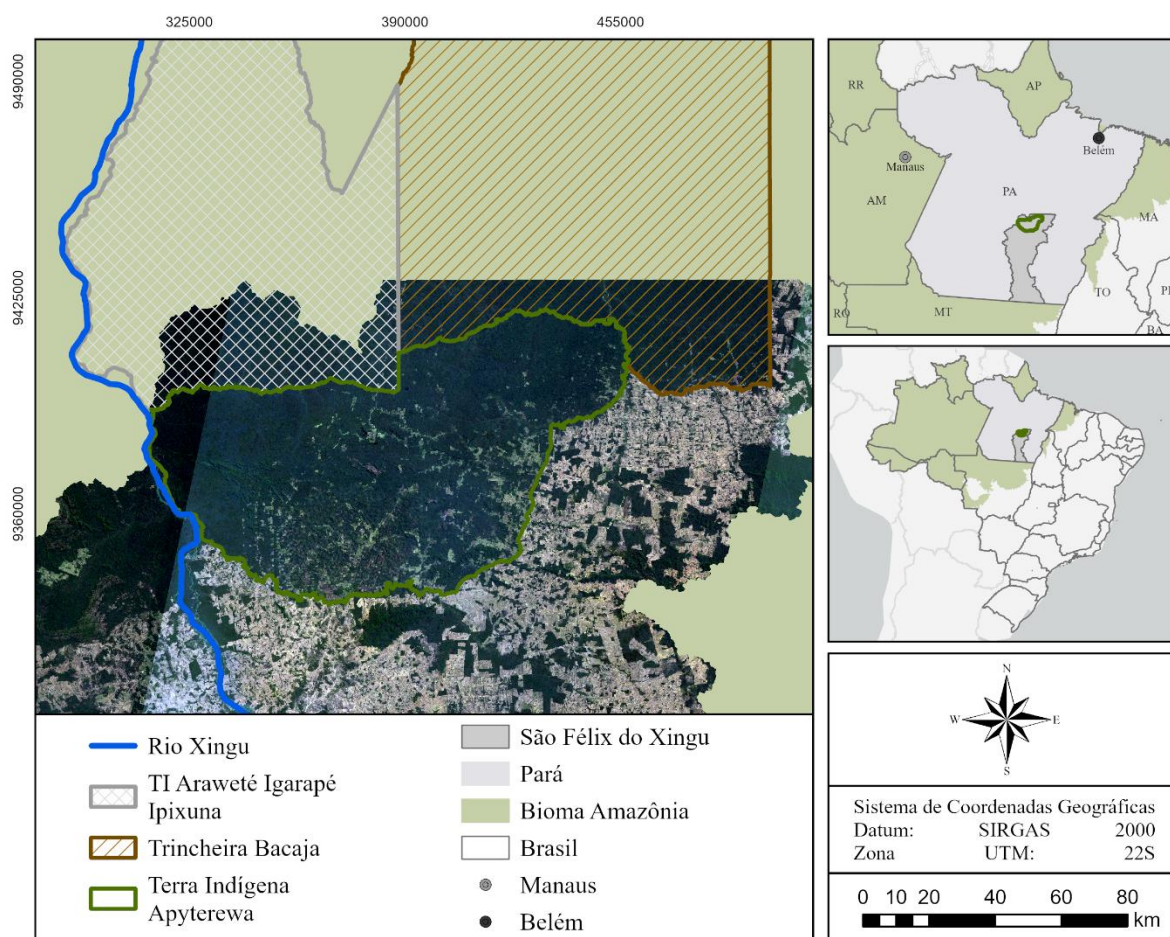
## **2. Resumo das atividades realizadas**

O bioma Amazônico é reconhecido como o mais extenso do Brasil, abrange cerca de 5 milhões de km<sup>2</sup> e abriga aproximadamente 58 mil espécies (AB'SABER, 1977; PNUMA/OTCA, 2008). No entanto, enfrenta pressões antrópicas, principalmente pela expansão agropecuária, que ocupa 16% da região, sendo 88% dessas áreas destinadas a pastagens (MAPBIOMAS, 2023). Esse processo reflete-se no aumento do desmatamento, que atingiu 1,3 milhão de ha em 2021, patamar não registrado desde 2008 (INPE, PRODES, 2024). Nesse contexto, as Terras Indígenas (TIs) destacam-se como barreiras naturais contra o desflorestamento (WALKER et al., 2020). Contudo, algumas TIs têm essa função comprometida. É o caso da Terra Indígena Apyterewa, que em 2019 tornou-se a mais desmatada da Amazônia, com 8 mil ha suprimidos de sua área total de 773 mil ha. Entre 2021 e 2023, manteve consecutivamente os maiores índices de desmatamento da região, alcançando em 2022 seu recorde histórico (10 mil ha). Embora em 2024 o desmatamento tenha apresentado redução de 48% (1.093 ha) em relação a 2023, o histórico de degradação ambiental da TI Apyterewa permanece evidente.

Diante desse cenário, para compreender a dinâmica do desmatamento, recorreu-se a recursos de vanguarda do sensoriamento remoto, no caso as séries temporais de imagens de satélite combinadas a índices espectrais, como o NDVI (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada). Essas séries consistem em observações sucessivas de uma mesma área da superfície terrestre, as quais viabilizam a continuidade dos dados e possibilitam o monitoramento das alterações na cobertura vegetal ao longo do tempo, ainda que de forma remota (SIMÕES et al., 2021).

Assim, Apyterewa foi definida como área de estudo considerando a relevância dessa abordagem metodológica e o quadro crítico de desmatamento na TI. Essa área, situa-se integralmente no bioma amazônico, no município de São Félix do Xingu (Pará), e insere-se na bacia do rio Xingu, nas coordenadas 5°17'38,78"S e 52°53'30,56"O. A Figura 1 apresenta sua localização, destacada em verde escuro.

Figura 1: Localização da Terra Indígena Apyterewa.



Fonte: Elaborado pela autora.

A TI faz fronteira com as TIs Araweté Igarapé Ipixuna e Trincheira Bacajá ao norte. A oeste, localiza-se o rio Xingu. Ao Sul, observa-se a intensificação de atividades antrópicas, provavelmente pela expansão do município de São Félix do Xingu, cuja economia é consolidada na pecuária (PPM - IBGE, 2022).

Esse contexto de características geográficas reforça a importância de Apyterewa como estudo de caso de desmatamento. Por isso, o trabalho foi estruturado em etapas sequenciais, de modo a capturar as alterações espaciais e temporais na cobertura vegetal. As etapas i a v foram realizadas no Google Earth Engine (GEE), enquanto as demais foram conduzidas no ArcGIS Pro. O fluxo metodológico compreendeu:

i) seleção da coleção de imagens de satélite; ii) aplicação de máscara para nuvens e sombras; iii) execução de um script de substituição dos pixels nublados; iv) correção dos valores de reflectância de superfície; v) cálculo do índice NDVI; vi) reclassificação anual (2012–2024) da TI em faixas de uso e cobertura da terra, com apoio do NDVI para orientar a identificação de

alterações na vegetação; vii) análise quantitativa do uso e cobertura da terra; viii) detecção das mudanças ao longo do período; ix) seleção de pontos representativos, em áreas com alterações significativas, para análise detalhada da dinâmica de ocupação do solo.

A etapa inicial consistiu na organização das imagens do sensor Operational Land Imager (OLI), a bordo do satélite Landsat-8, disponibilizadas na plataforma Google Earth Engine (GEE). Para análise temporal, no GEE, essas imagens foram organizadas em *Image Collections* utilizando um script que reúne cenas de uma mesma área adquiridas em datas diferentes, e que permitiu a construção de séries temporais. Ainda no script, aplicou-se filtragem temporal e espacial, selecionando cenas correspondentes ao período de 2014 a 2024, e que cobrisse integralmente a área da TI Apyterewa. Ao final desta etapa, obteve-se uma série temporal de 10 anos, totalizando 174 imagens que atendiam aos critérios definidos.

Devido à alta frequência de chuvas na Amazônia, foi necessário remover pixels de nuvens, sombras e aerossóis, já que esses elementos comprometem a consistência temporal das imagens. Sem esse procedimento, 148 imagens seriam descartadas (das 174 disponíveis). Para tanto, aplicou-se no GEE um script de máscara para exclusão desses pixels, seguido de um algoritmo complementar de substituição para preencher os pixels removidos. Sua lógica consistiu em manter os valores válidos da imagem original e preencher os pixels nulos (mascarados) com dados “limpos” provenientes de imagens subsequentes da série temporal, desde que correspondam à mesma posição espacial. O preenchimento é cumulativo: o script percorre as imagens seguintes até encontrar o primeiro valor confiável, que é usado para substituir o pixel nublado. Dessa forma, cada pixel da série temporal é preenchido com um valor coerente no espaço e no tempo, resultando em uma sequência livre das lacunas causadas pela cobertura de nuvens.

Após remoção dos pixels nublados, os valores digitais (*Digital Number – DN*) das bandas espectrais foram convertidos em valores físicos de reflectância de superfície (*Surface Reflectance – SR*). Para isso, seguiram-se as orientações do *United States Geological Survey* para a coleção Landsat-8 (USGS, 2021). Esse procedimento foi implementado através de um script no GEE, que realizou a conversão em todas as imagens da série, garantindo a extração precisa de índices espectrais, como o NDVI. Esse índice é proposto para identificar as variações na cobertura vegetal ao longo do tempo na Terra Indígena, e, para tanto, foi calculado para cada imagem da coleção no ambiente do GEE, por meio de um script que automatizou o cálculo.

Para o cálculo do índice, utilizou-se a Equação 1 que combina as bandas espectrais, onde  $\alpha(\text{NIR})$  corresponde à banda 5 e  $\alpha(\text{RED})$  corresponde à banda 4:

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

Assim, para cada ano (2014-2024), selecionou-se uma imagem de NDVI, que foi analisada em conjunto com as composições RGB, com o objetivo de interpretar e inferir o uso e cobertura da terra. Essa interpretação serviu de base para reclassificar os valores do índice em três tipologias de cobertura: floresta (NDVI: 0,79–0,98), pastagem (NDVI: 0,62–0,79) e áreas antropizadas (essas, englobam solo exposto, edificações ou açudes; com NDVI entre: -0,99–0,62). Com base nessa 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. As informações foram organizadas em um quadro-síntese, permitindo identificar padrões na dinâmica das classes, incluindo períodos de aumento ou redução da cobertura de floresta, pastagem e áreas antropizadas.

O passo seguinte consistiu na seleção de áreas representativas de mudança no uso e cobertura da terra. Para isso, empregou-se a ferramenta *Change Detection* do ArcGIS Pro, que identifica alterações a partir da comparação dos valores de NDVI entre 2014 e 2024. Com as áreas de mudança destacadas, selecionaram-se pontos de análise com alterações significativas, de onde se extraíram os valores de NDVI que subsidiaram a elaboração dos gráficos temporais do índice. Esses gráficos foram interpretados em conjunto com imagens de satélite em composição RGB, o que permitiu identificar com maior precisão o tipo de uso estabelecido após a perda da cobertura florestal. A integração dessas etapas metodológicas possibilitou consolidar a evolução temporal das classes de uso e cobertura da terra, apresentada no Quadro 1, que sintetiza estatisticamente, em km<sup>2</sup>, as áreas correspondentes a cada ano analisado.

Entre 2014 e 2024, observou-se a conversão de floresta em pastagem e em áreas antropizadas, marcada por variações na intensidade do desmatamento ao longo do tempo. 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 no aumento nas áreas antropizadas (1,70%) e de pastagem (5,35%). Entre 2017 e 2019, a cobertura florestal manteve-se relativamente estável. Entretanto, de 2020 a 2022 registrou-se o ciclo mais crítico de desmatamento. O pico ocorreu em 2022, quando a pastagem ocupou 6,69% e as áreas antropizadas 4,58% do território, enquanto a floresta atingiu sua menor extensão, de 6.867,55

km². 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 da regeneração recente, a vegetação não apresenta ainda a composição estrutural e a diversidade da floresta original do território.

Quadro 1: Área das classes de uso e cobertura da terra da TI (2014-2024), em km².

Ano	Área antropizada (km²)	Área antropizada (%)	Pastagem (km²)	Pastagem (%)	Floresta (km²)	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 km²</b>		<b>100%</b>	

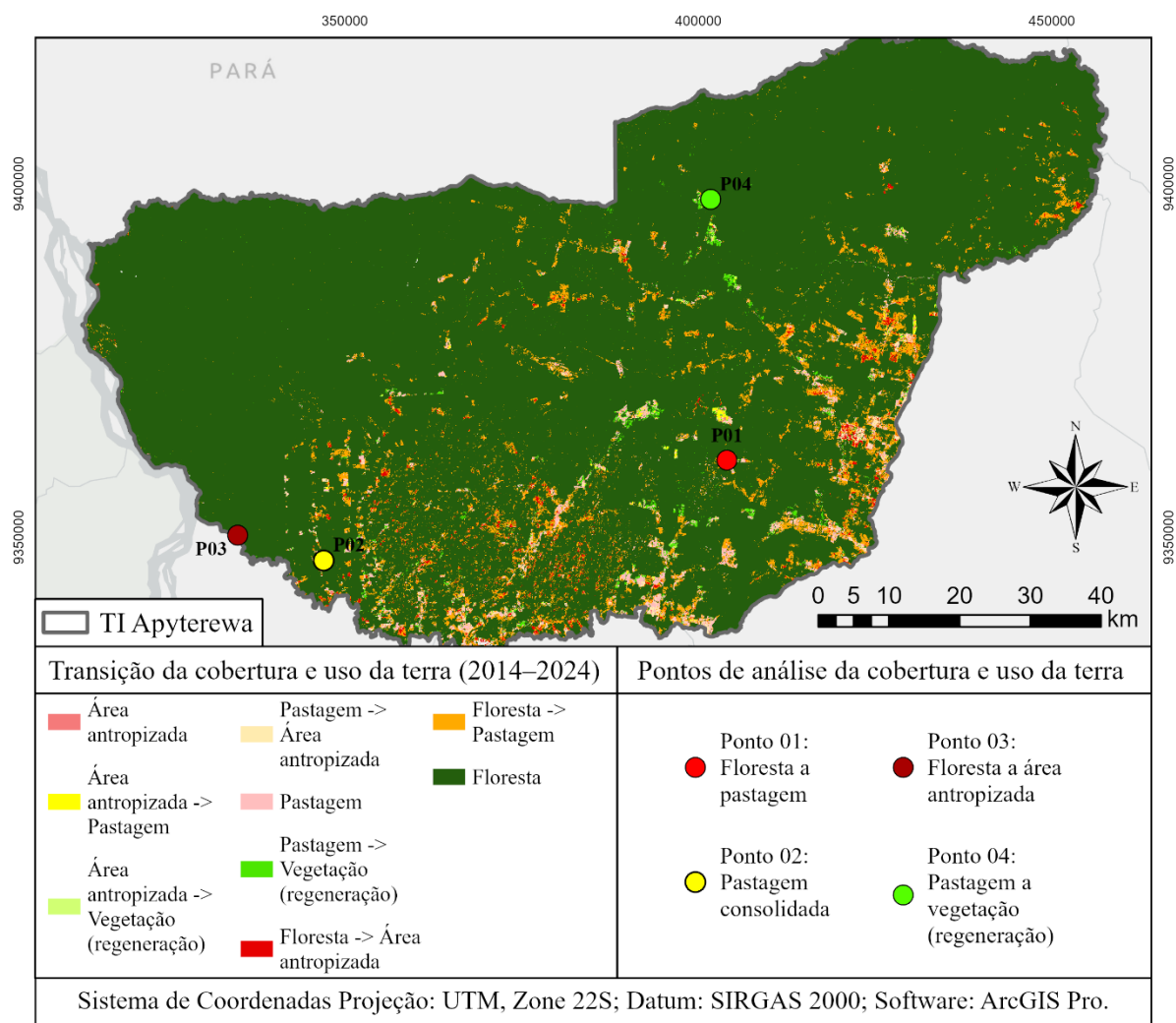
Fonte: Elaborado pela autora.

A Figura 2 ilustra as classes de uso e cobertura da terra em Apyterewa, destacando alguns pontos onde ocorreram alterações entre 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.

A figura mostra ampla cobertura florestal (verde escuro), mas com expressiva conversão para pastagem nas regiões central, sul e leste. As áreas antropizadas concentram-se em pastagens já existentes, sugerindo relação entre essas classes. Destaca-se ainda na borda sul, pastagens consolidadas que se mantêm de forma contínua desde 2014. Além disso, a figura ressalta processos com indícios de regeneração (em tons mais claros de verde), embora esses processos sejam insuficientes para compensar a perda florestal, pois a restauração demanda longos períodos e as áreas recém-regeneradas apresentam funcionalidade ecológica reduzida.

A dinâmica de transição de floresta é demonstrada a partir da Figura 3, 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 a seguir.

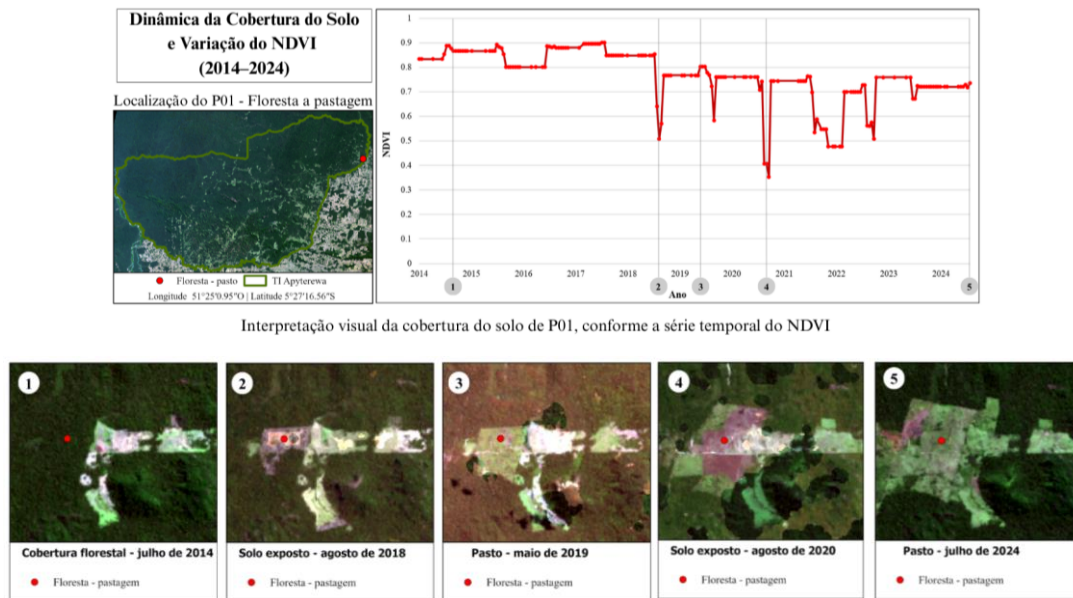
Figura 2: Classe de cobertura e uso da terra, em destaque, alguns pontos que apresentaram transição do uso entre 2014 e 2024.



Fonte: Elaborado pela autora.



Figura 3: 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.

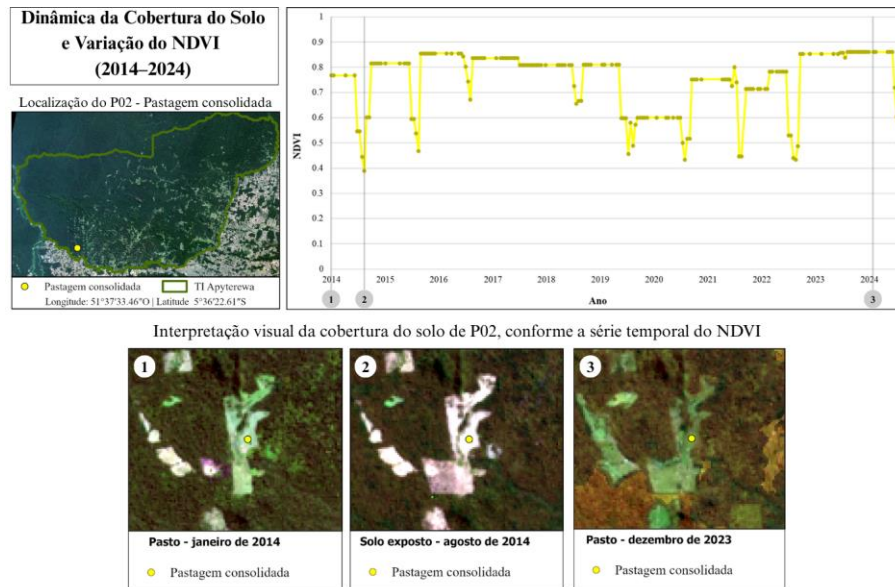


Fonte: Elaborado pela autora.

Até meados de 2017, observa-se estabilidade nos valores de NDVI, compatível com a presença de cobertura florestal, conforme exemplifica a Figura 3 - Imagem 1. O desmate iniciou-se em setembro de 2017, evidenciado pela queda abrupta no NDVI e confirmada pela Figura 3 - Imagem 2, que mostra 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, como setembro de 2019 e julho de 2024. Esses períodos podem indicar manejo da pastagem por meio do uso controlado do fogo, evidenciada pela presença de solo exposto nas Figura 3 - 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 2019 (Figura 3 - Imagem 3) e julho de 2024 (Figura 3 - 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, no qual o fogo é empregado como prática econômica para implantação, manutenção e estímulo ao rebrote, especialmente na estação seca (Nepstad et al., 2006; Pivello, 2011; Schroeder et al., 2009).

A Figura 4 representa a série temporal de NDVI para o P02, onde foi observada 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 4: Uso e cobertura da terra (de pastagem consolidada) no P02. As seções de 1 a 3 apresentam as imagens Landsat (OLI) das datas indicadas.

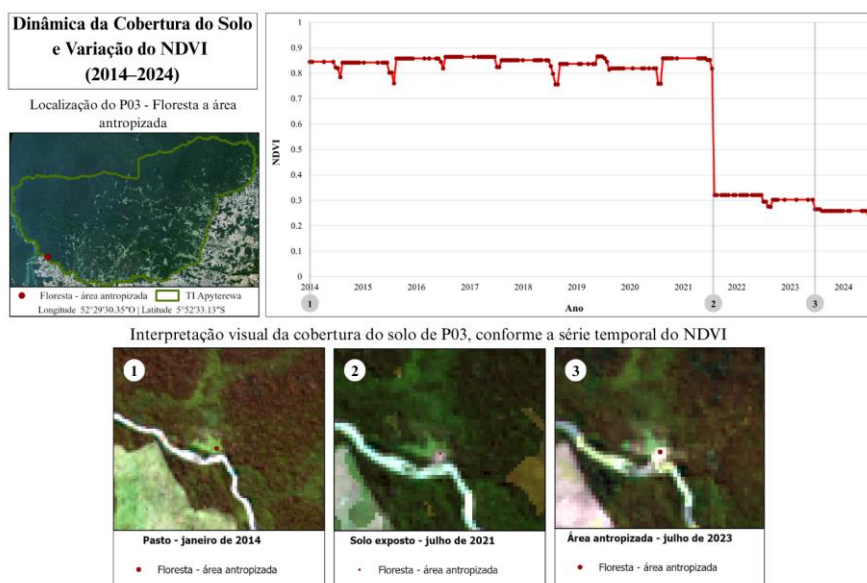


Fonte: Elaborado pela autora.

Em complemento à dinâmica observada no P01, o ponto P02 também reflete um 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 4 - Imagem 2), ou pela perda natural de água pelas plantas. Observa-se, também, um aumento do NDVI na estação chuvosa, refletindo a recomposição da cobertura de pasto (Figura 4 - Imagem 1 e Figura 4 - Imagem 3).

A Figura 5 retrata a transição de cobertura vegetal (não florestal) para solo exposto e, por fim, para área construída. No gráfico, são sinalizadas quatro seções, associadas a alterações significativas de valores de NDVI e suas respectivas datas, analisadas pelas imagens de satélite.

Figura 5: Transição do uso e cobertura da terra (de pastagem a área antropizada) no P03. As seções de 1 a 3 apresentam as imagens Landsat (OLI) das datas indicadas.

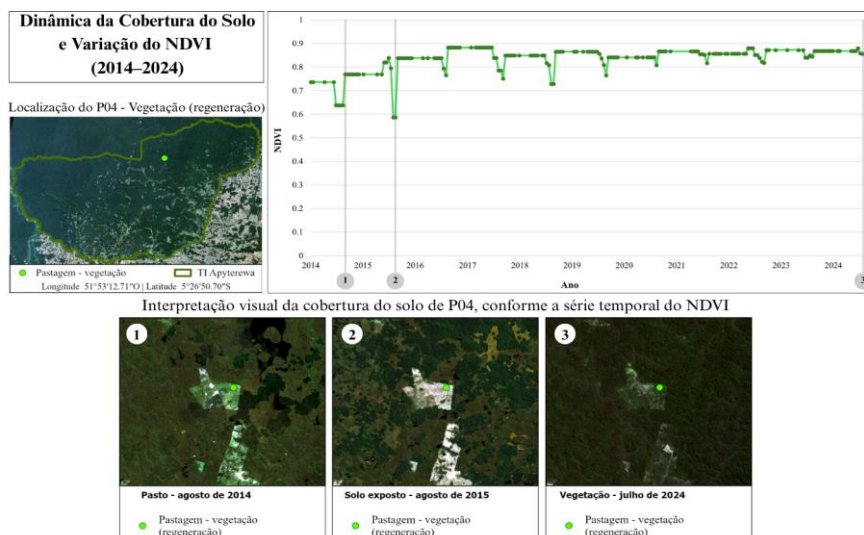


Fonte: Elaborado pela autora.

O período entre 2014 e 2021 apresenta valores de NDVI elevados e regulares, o que indicaria a presença de vegetação. Entretanto, a Figura 5 - Imagem 1 revela que a área não corresponde a floresta densa, mas provavelmente estava coberta por pastagem. Essa cobertura permanece até 2021. A partir de julho desse ano, observa-se uma queda abrupta nos valores de NDVI (Figura 5 - 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 5 - Imagem 3), o que mostra a instalação de estruturas, indicando a conversão definitiva da área para uso antrópico.

Em contraste com os cenários de transição apresentados anteriormente, a Figura 6 mostra, em três seções ilustradas pelas imagens correspondentes, a transição no P04, onde a cobertura da terra mudou de pastagem para vegetação mais densa, indicando um possível processo de regeneração.

Figura 6: 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: Elaborado pela autora.

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 6 - Imagem 1 e os valores de NDVI indicam vegetação de pasto. A Figura 6 - 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, o padrão cíclico de pastagem e remoção da vegetação é interrompido. Esse contexto é demonstrado na Figura 6 - 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 do NDVI.

Conclui-se que, entre 2014 e 2024, o desmatamento na TI Apyterewa ocorreu em ciclos de perda de floresta para pastagem e áreas antropizadas, seguidos por períodos de consolidação do uso da terra. A manutenção das pastagens é feita com auxílio de fogo, como evidenciam os P01 e o P02, aplicados de forma sazonal para manejo da vegetação. Áreas com regeneração, como no P04, dificilmente retornam ao estado original, podendo levar décadas para recuperar funções ecossistêmicas. As atividades antrópicas concentram-se no sul e sudeste, favorecidas pela proximidade de estradas e margens, enquanto áreas construídas, como no P03, podem servir como núcleos de expansão. Por fim, o sensoriamento remoto, neste contexto baseado no uso de séries temporais de NDVI que foi viabilizado pelo processamento em nuvem, permitiu análises mesmo em condições de alta nebulosidade e demonstrando o potencial dessas tecnologias para o combate ao desflorestamento ilegal mesmo em regiões onde há alta nebulosidade.

### 3. Referências bibliográficas

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

FAUSTO, Carlos. *Inimigos fiéis: história, guerra e xamanismo na Amazônia*. São Paulo: EDUSP, 2001. 587 p.

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

GOMES, V. C. F.; QUEIROZ, G. R.; FERREIRA, K. R. An overview of platforms for big Earth observation data management and analysis. *Remote Sensing*, v. 12, n. 8, art. 1253, 2020. DOI: 10.3390/rs12081253.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). PPM – Pesquisa da Pecuária Municipal. 2022. 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. 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.

INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL (ISA). *Desmatamento em Terras Indígenas na Amazônia e Cerrado - Prodes 2024*. São Paulo, 2024.

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.

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.

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.

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.

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.

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*, v. 13, n. 13, art. 2428, 2021. DOI: 10.3390/rs13132428.

UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). Landsat Collection 2 Level-2 Science Products. Disponível em: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-collection-2-level-2-science-products>. Acesso em: 1 ago. 2025.

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>.