

Uso e Cobertura do Solo na Área de Proteção Ambiental Triunfo do Xingu (APATX) a Partir de Alertas de Desmatamento dos Anos de 2016 e 2023

Aline Fernandes Amorim^{1*}, Itallo Michael Soares Leal², Tabilla Verena da Silva Leite³, Fernanda Pantoja Souza⁴, Artur Magno de Carvalho⁵

¹Doutoranda em Ciências Florestais, Universidade Federal Rural da Amazônia, Brasil. (*Autor correspondente: aline.engflorestal21@gmail.com)

²Especialista em Geoprocessamento e Georreferenciamento, Universidade Federal Rural da Amazônia, Brasil.

³Doutoranda em Desenvolvimento Sustentável no Trópico Úmido, Universidade Federal do Pará, Brasil.

⁴Doutoranda em Ciências Florestais, Universidade Federal Rural da Amazônia, Brasil.

⁵Mestrando em Gestão de recursos naturais e desenvolvimento local na Amazônia, Universidade Federal do Pará, Brasil.

Histórico do Artigo: Submetido em: 14/01/2026 – Revisado em: 20/02/2026 – Aceito em: 24/02/2026

RESUMO

O estudo teve como objetivo analisar a dinâmica do uso e cobertura do solo na Área de Proteção Ambiental Triunfo do Xingu (APATX) entre os anos de 2016 e 2023, com um enfoque específico nos alertas de desmatamento emitidos no período. Utilizando dados dos sistemas de alerta do Sistema de Detecção do Desmatamento em Tempo Real (DETER) e do projeto MapBiomass, a metodologia envolveu técnicas de geoprocessamento realizadas no software QGIS, bem como a análise detalhada de dados no Microsoft Excel. Essas ferramentas permitiram discriminar os diferentes tipos de alertas de desmatamento, analisar a distribuição espacial e temporal desses eventos e avaliar a efetividade das detecções do DETER. Os resultados da pesquisa revelaram que os principais tipos de alertas foram: Desmatamento Corte Raso (44,77%), Cicatriz de Queimada (41,04%) e Degradação (12,65%), sendo o ano de 2020 identificado como o período mais crítico em termos de desmatamento. Além disso, na comparação da cobertura da terra de 2016 e 2022, houve um aumento significativo na área destinada à pastagem e uma consequente redução na área de formação florestal com 318.557,13 hectares de floresta reduzidos. A conclusão do estudo sublinha a necessidade urgente de aprimorar os métodos de classificação do uso do solo e a precisão dos alertas de desmatamento. Entre as sugestões, destaca-se a incorporação de imagens de satélite de alta resolução e o desenvolvimento de algoritmos avançados, capazes de aumentar a acurácia na detecção de áreas desmatadas e, assim, contribuir para a melhor gestão e preservação da APATX.

Palavras-Chaves: Sensoriamento remoto, Monitoramento ambiental, Unidades de conservação.

Land user and cover in the Triunfo do Xingu Environmental Protection Area (APATX) from Deforestation Alerts from 2016 to 2023

ABSTRACT

The study aimed to analyze the dynamics of land use and land cover in the Triunfo do Xingu Environmental Protection Area (APATX) between 2016 and 2023, with a specific focus on deforestation alerts issued during this period. Using data from the Real-Time Deforestation Detection System (DETER) and the MapBiomass project, the methodology involved geoprocessing techniques conducted with QGIS software, as well as detailed data analysis in Microsoft Excel. These tools allowed for the discrimination of different types of deforestation alerts, spatial and temporal distribution analysis of these events, and evaluation of DETER detection effectiveness. The research results revealed that the main types of alerts were: Clear-Cut Deforestation (44.77%), Burn Scar (41.04%), and Degradation (12.65%), with 2020 identified as the most critical year in terms of deforestation. Furthermore, in the comparison of land cover between 2016 and 2022, there was a significant increase in the area allocated to pasture and a consequent reduction in forested areas, with 318,557.13 hectares of forest reduced. The study concludes with an urgent need to improve land use classification methods and the accuracy of deforestation alerts. Recommendations include incorporating high-resolution satellite images and developing advanced algorithms to enhance accuracy in detecting deforested areas, thus contributing to better management and preservation of APATX.

Keywords: Remote Sensing, Environmental Monitoring, Conservation Units.

Amorim, A. F., Leal, I. M. S., Leite, T. V. S., Souza, F. P., & Carvalho, A. M. (2026). Uso e cobertura do solo na Área de Proteção Ambiental Triunfo do Xingu (APATX) a partir de alertas de desmatamento dos anos de 2016 e 2023. *Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto*, v.7, n.1, p.50-64.



1. Introdução

Nos últimos anos, São Félix do Xingu se destacou pelos alarmantes índices de desmatamento, tornando-se um ponto central para as políticas de controle do uso do solo. Dentro deste município encontra-se a Área de Proteção Ambiental Triunfo do Xingu (APATX), a unidade de conservação estadual mais pressionada pelo desmatamento, liderando o ranking de áreas protegidas ameaçadas. O desmatamento dentro dessas áreas protegidas compromete os serviços ambientais, além de gerar riscos de redução ou redefinição de seus limites (Imazon, 2022). Em resposta a essa situação, foi criado um complexo de terras protegidas, que inclui a APATX e diversas Unidades de Conservação (UCs) federais e estaduais na região da Terra do Meio (Souza et al., 2020).

As UCs foram estabelecidas com o objetivo de definir critérios e diretrizes para a criação, implementação e administração dessas áreas de significativa importância, visando garantir a preservação e sustentabilidade dos ecossistemas correspondentes (Ideflor-bio, 2011). A APA Triunfo do Xingu é uma unidade de conservação criada no ano de 2006 pelo Governo do Estado do Pará (Decreto nº 2.612, 04/12/2006) abrangendo uma área de 1.679.280,5 hectares, onde 65,7% estão situados no município de São Félix do Xingu e 34,3% no município de Altamira.

Segundo Fonseca (2021), a APATX esteve entre as unidades de conservação que mais sofreram pressão antrópica nos últimos anos, principalmente pela localização dos polos madeireiros próximos aos centros urbanos, que para Costa (2017), tem sido um dos principais impulsionadores do uso indiscriminado dos recursos naturais do município São Félix do Xingu, acarretando diversos impactos ambientais, como o aumento das áreas degradadas.

Diante desses desafios, as técnicas de sensoriamento remoto têm se mostrado ferramentas essenciais para a avaliação do estado da vegetação frente às mudanças no uso e cobertura do solo, bem como para a identificação de diferentes tipos de alertas de desmatamento. Estudos demonstram que essas técnicas possibilitam o monitoramento de áreas degradadas e auxiliam a fiscalização ambiental e o planejamento de ações de controle do desmatamento, especialmente em regiões sob forte pressão antrópica (Sampaio et al., 2021). Nesse contexto, sistemas operacionais desenvolvidos pelo INPE, como o DETER, têm sido amplamente utilizados para a detecção quase em tempo real de áreas desmatadas, contribuindo para o combate ao desmatamento ilegal (INPE, 2024). De forma complementar, iniciativas como o MapBiomias permitem a análise da dinâmica temporal da cobertura e uso do solo, fornecendo subsídios para a avaliação dos impactos das atividades humanas sobre os ecossistemas ao longo do tempo (Valeriano et al., 2016; MapBiomias, 2022).

Para discriminar os tipos de alertas é necessário implementar metodologias que identifiquem e classifiquem os diferentes padrões de alertas, considerando características como tamanho, intensidade e localização geográfica. Assim, com intuito de auxiliar na fiscalização dos órgãos responsáveis pelo combate e controle do desmatamento e degradação florestal, foi que em 2004 o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE criou o sistema DETER (Detecção de Desmatamento em Tempo Real), explorando a alta resolução temporal quase que diariamente com base nos dados do sensor MODIS com resolução espacial de 250 m (INPE, 2024).

Os padrões de alteração da cobertura vegetal do DETER são identificados por interpretação visual tendo como base cinco elementos (cor, tonalidade, textura, forma e contexto) e 3 classes de desmatamento: solo exposto, com vegetação e mineração (Valeriano et al., 2016). Outra ferramenta que permite analisar a dinâmica da cobertura do solo é o Mapbiomas, que envolve a utilização de imagens de satélite e técnicas de sensoriamento remoto para monitorar as mudanças na cobertura vegetal ao longo do tempo, identificando padrões de uso da terra e avaliando os impactos das atividades humanas sobre o ecossistema local (Mapbiomas, 2022).

Diante dessas informações, o presente estudo tem como objetivo verificar a efetividade dos alertas DETER com as classes identificadas e analisar a dinâmica do uso e cobertura do solo a partir da classificação do Mapbiomas na Área de Proteção Ambiental Triunfo do Xingu- APATX entre os anos de 2016 e 2023.

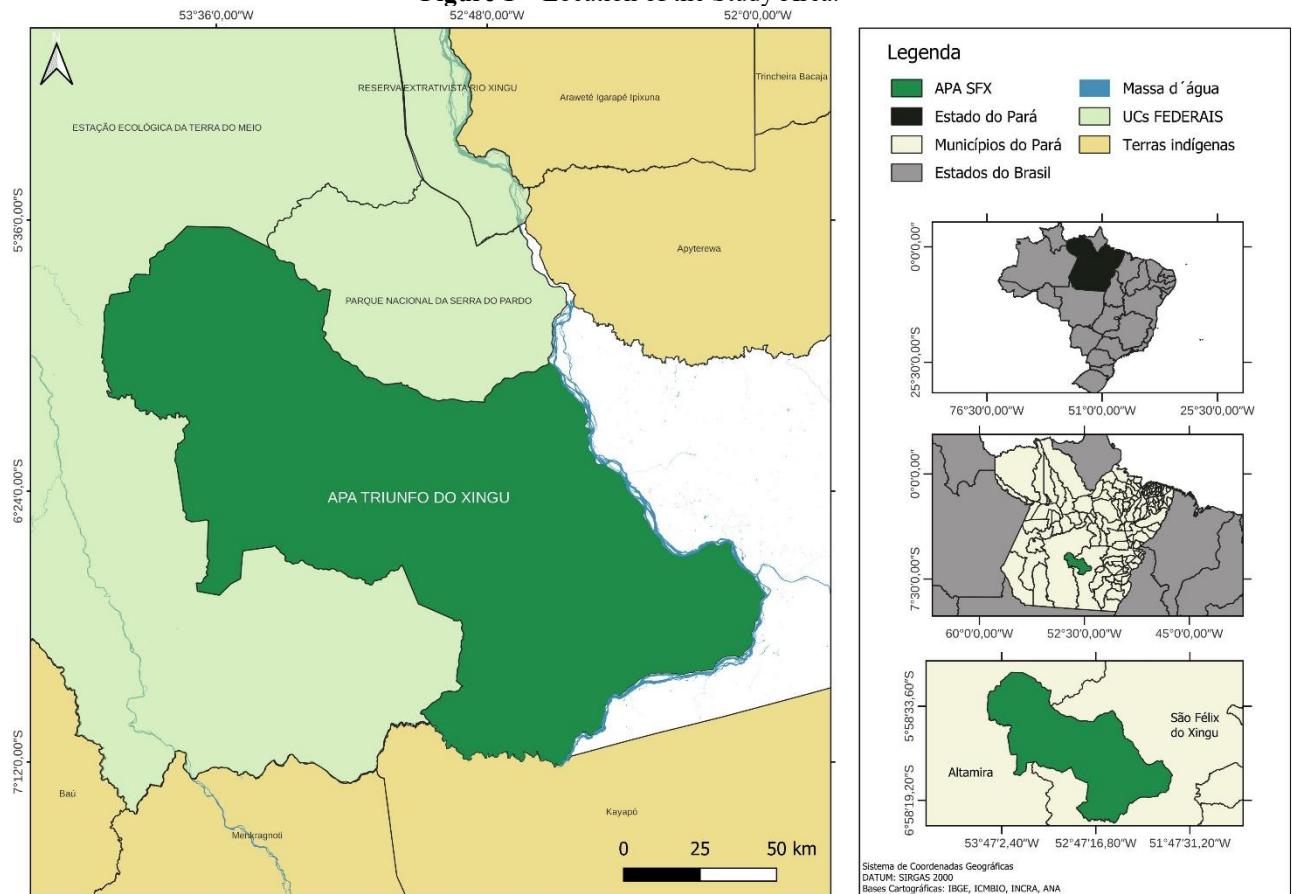
2. Material e Métodos

2.1 Área de estudo

O estudo foi realizado na Área de Proteção Ambiental (APA) Triunfo do Xingu, localizada no município de São Félix do Xingu, na mesorregião sudoeste do estado do Pará. O município de São Félix do Xingu possui uma área territorial total de 84.212,90 km², sendo um dos maiores municípios do Brasil em extensão territorial (IBGE, 2023).

Figura 1 – Localização da área de Estudo.

Figure 1 – Location of the Study Area.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Source: Prepared by the authors (2024).

A APA Triunfo do Xingu é limitada, ao norte, pelo Parque Nacional da Serra do Pardo; a oeste e noroeste, pela Estação Ecológica da Terra do Meio; ao sul, pela Terra Indígena Kayapó; e, a leste, pelo Rio Xingu, que constitui seu limite natural, conforme ilustrado no mapa de localização apresentado na Figura 1.

2.2 Base de dados

Os dados utilizados na pesquisa abrangem o período de 2016 a 2023 e são provenientes dos alertas de desmatamento gerados pelo Sistema de Detecção do Desmatamento em Tempo Real (DETER), desenvolvido e disponibilizado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Os alertas de desmatamento encontram-se classificados em três categorias, de acordo com o tipo de evento detectado, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Tipologia das classes dos alertas do sistema DETER
Table 1 – Typology of the DETER System Alert Classes

Classe	Tipologia
Desmatamento com vegetação	Quando há um intervalo entre o corte raso da floresta e a detecção via satélite, pode ocorrer o crescimento de vegetação herbácea, pastagens ou cultivos agrícolas. Nessas áreas desmatadas, a imagem pode apresentar uma cor verde clara a média, com textura lisa e forma regular, dificultando a identificação do desmatamento recente.
Desmatamento de corte raso	Remoção total da cobertura vegetal em curto intervalo de tempo, fica evidente a reflectância do solo exposto, em cor magenta.
Mineração	Áreas de mineração em locais isolados, como ao longo de rios menores, tendem a ter formas irregulares e, nas imagens de satélite, aparecem com uma mistura de cores magenta e azul e textura rugosa, devido à combinação de sinais de solo exposto e água.

Fonte: Adaptado de De Almeida *et al.* (2022)

Source: Adapted from De Almeida *et al.* (2022)

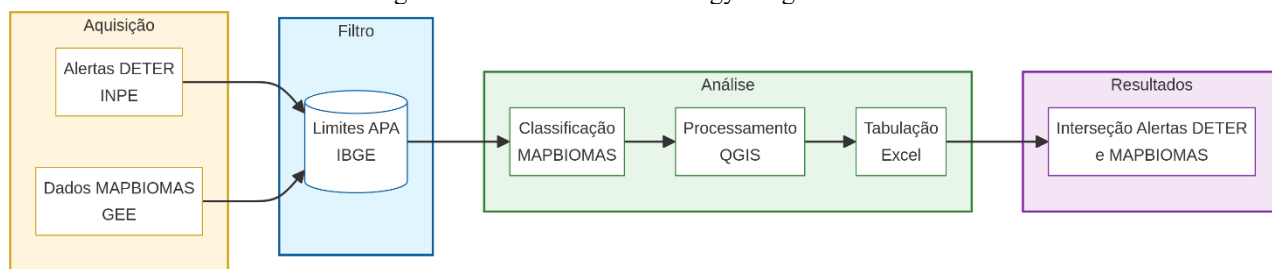
Nesse estudo os alertas foram filtrados somente para a classe de desmatamento de corte raso. As bases cartográficas relacionadas à Área de Proteção Ambiental (APA) Triunfo do Xingu foram coletadas a partir dos dados disponibilizados pelo Ministério do Meio Ambiente (MMA) de 2024.

2.3 Análise da cobertura e uso do solo

Para o mapeamento de uso e cobertura do solo, adotou-se a metodologia da pesquisa, a qual encontra-se sintetizada no diagrama apresentado na Figura 2. O diagrama ilustra de forma esquemática os principais procedimentos metodológicos que conduziram o desenvolvimento deste trabalho, bem como as ferramentas empregadas em cada etapa e os produtos gerados ao longo do processo de análise.

Figura 2 – Diagrama de metodologia da pesquisa.

Figure 2 – Research Methodology Diagram.

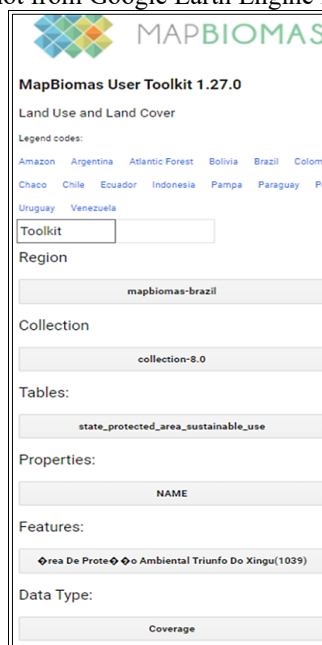


Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Source: Prepared by the authors (2024).

Os dados utilizados neste estudo para a análise da cobertura e uso do solo foram obtidos a partir do projeto MapBiomass, Coleção 8, que disponibiliza informações para o período de 1985 a 2022. Dessa forma, para a extração dos dados referentes aos anos de 2016 e 2022, utilizou-se o toolkit do MapBiomass, versão 1.27.0, implementado na plataforma *Google Earth Engine* (Figura 3).

Figura 3 - Captura de tela do Google Earth Engine para a obtenção de dados de cobertura.
Figure 3 – Screenshot from Google Earth Engine for Data Acquisition.



Fonte: Google Earth Engine (2024).
Source: Google Earth Engine (2024).

A escolha desses anos possibilita a comparação temporal da dinâmica de uso e cobertura do solo em diferentes momentos do período analisado. Ressalta-se que a plataforma permite a aplicação de filtros espaciais específicos por unidade de conservação, o que viabilizou o *download* dos dados já recortados para os limites da Área de Proteção Ambiental Triunfo do Xingu, garantindo maior precisão espacial e otimização do processamento dos dados.

2.4 Processamento de dados

Os dados utilizados neste estudo compreendem informações da Coleção 8 do projeto MapBiomass e os alertas de desmatamento do sistema DETER, abrangendo o período de 2016 a 2023. A escolha desse intervalo temporal deve-se à disponibilidade e consistência dos dados, bem como à relevância do período para a intensificação do desmatamento na Amazônia Legal, permitindo a análise das dinâmicas recentes de uso e cobertura do solo na área de estudo.

Inicialmente, ambos os conjuntos de dados foram recortados para os limites da área de estudo por meio da ferramenta Recortar do software QGIS. Todas as etapas de processamento espacial foram realizadas no sistema de referência geodésico SIRGAS 2000, garantindo a padronização cartográfica e a precisão das análises espaciais.

Os dados de uso e cobertura do solo provenientes do MapBiomass apresentam resolução espacial de 30 metros, sendo amplamente utilizados em estudos ambientais e de monitoramento do desmatamento. Em

seguida, realizou-se o cruzamento espacial das bases de dados por meio da operação de interseção entre os alertas de desmatamento do DETER e a classificação de uso e cobertura do solo do MapBiomass, conforme estabelecido na Coleção 8. Esse procedimento teve como objetivo identificar as classes de uso do solo associadas aos alertas de desmatamento por corte raso.

Todas as análises espaciais foram conduzidas no QGIS, versão 3.28.11, enquanto o Microsoft Excel foi utilizado para o tratamento dos dados tabulares, cálculo da soma das áreas com alertas de desmatamento, expressas em hectares (ha), e organização das informações. Os produtos gerados foram representados por meio de mapas temáticos e gráficos, permitindo a análise espacial e temporal das classes de uso e cobertura do solo associadas ao desmatamento na área de estudo.

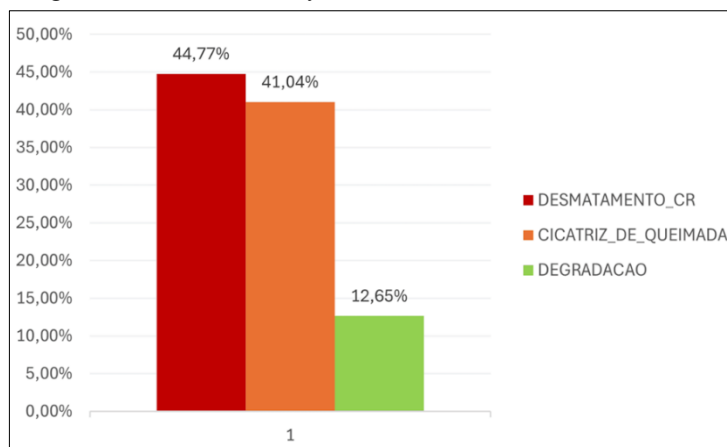
3. Resultados e Discussão

Os resultados obtidos nesta pesquisa são de extrema importância, pois oferecem uma visão detalhada e precisa sobre a dinâmica do uso e cobertura do solo na Área de Proteção Ambiental Triunfo do Xingu ao longo dos últimos anos, com ênfase nos períodos de alerta de desmatamento. Os dados analisados demonstram mudanças significativas na cobertura vegetal, o que reforça a relevância de criação de políticas públicas voltadas para a preservação e recuperação dessa unidade de conservação.

3.1 Distribuição geral dos alertas DETER

A análise dos dados referentes ao período de 2016 a 2023 evidencia que aproximadamente 463.632,70 hectares da Área de Proteção Ambiental Triunfo do Xingu (APATX) foram impactados por alertas do sistema DETER, revelando um quadro de intensa pressão antrópica sobre essa unidade de conservação de uso sustentável. Nesse contexto, a predominância dos alertas de Desmatamento por Corte Raso (44,77%) e de Cicatriz de Queimada (41,04%), conforme apresentado na Figura 4.

Figura 4 – Área coberta por alertas de 2016 a 2023 em hectares.
Figure 4 – Area covered by alerts from 2016 to 2023 in hectares.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).
Source: Prepared by the authors (2024).

Indica que os processos de supressão total da vegetação nativa e a recorrência de queimadas constituem os principais vetores de transformação da paisagem no interior da APA. Esse padrão é recorrente em Áreas de

Proteção Ambiental da Amazônia, onde o regime jurídico mais flexível, aliado à ocupação prévia do território e à presença de atividades agropecuárias, tende a reduzir a efetividade das ações de conservação ambiental. (Cortinhas et al., 2021; Nolte et al., 2013).

Embora as APAs tenham como objetivo conciliar conservação ambiental e uso sustentável dos recursos naturais, estudos apontam que, na prática, essas unidades apresentam menor capacidade de contenção do desmatamento quando comparadas às unidades de proteção integral, sobretudo em contextos de elevada pressão fundiária e baixa governança ambiental (Nolte et al., 2013; Pfaff et al., 2014). Nesse sentido, a elevada proporção de alertas de corte raso na APATX sugere fragilidades nos instrumentos de ordenamento territorial, fiscalização e controle ambiental, corroborando análises que indicam que o simples estabelecimento legal da unidade não é suficiente para garantir a conservação da cobertura florestal (Fearnside, 2017; Soares-filho et al., 2014).

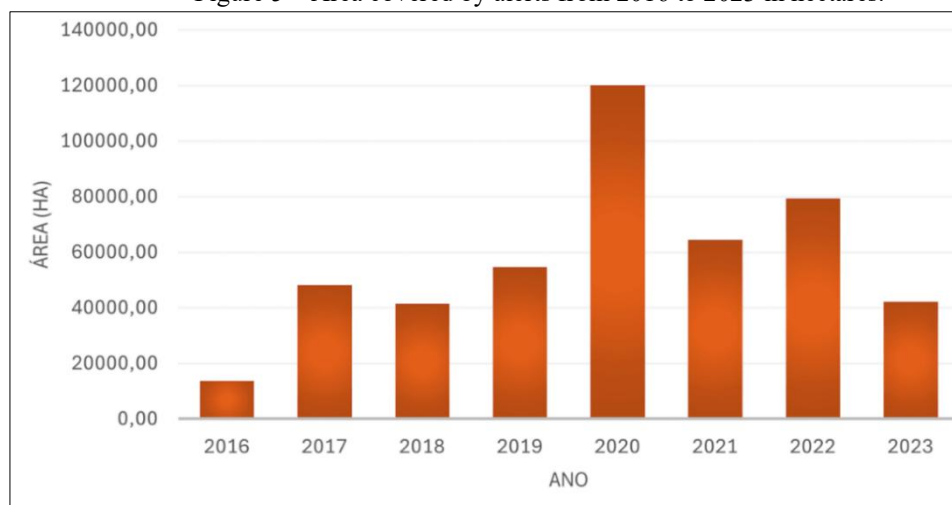
O desmatamento por corte raso, que implica na remoção integral da vegetação, compromete a integridade dos ecossistemas florestais e tem como principais motivações a expansão da pecuária extensiva e a grilagem de terras (Silva Junior et al., 2021). Já as cicatrizes de queimadas, frequentemente associadas ao uso do fogo como ferramenta de manejo após o desmatamento, agravam os impactos ambientais, elevando as emissões de carbono e contribuindo para a degradação da fertilidade do solo e para a fragmentação dos habitats (Barlow et al., 2020).

Embora com menor representatividade percentual, os alertas classificados como degradação (12,65%) também merecem atenção, pois indicam processos mais difusos e muitas vezes subestimados de impacto ambiental, como a exploração seletiva de madeira, abertura de trilhas e pequenas clareiras. Esses processos, por sua natureza insidiosa, podem provocar alterações microclimáticas, perda de biodiversidade e comprometer a regeneração natural da floresta, dificultando a recuperação ecológica das áreas afetadas (Souza et al., 2020; Matricardi et al., 2020).

Ao analisar a quantidade de área coberta em hectare por ano, 2020 foi particularmente crítico, respondendo por 120.106,12 hectares, o equivalente a 25,91% do total observado no período (Figura 5).

Figura 5 – Área coberta por alertas de 2016 a 2023 em hectares.

Figure 5 – Area covered by alerts from 2016 to 2023 in hectares.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Source: Prepared by the authors (2024).

Esse pico expressivo pode estar relacionado a múltiplos fatores, incluindo o enfraquecimento das

políticas ambientais, aumento de atividades ilegais e redução na fiscalização (Aguiar et al. 2020; Barlow et al., 2020; Khan & Silva, 2023).

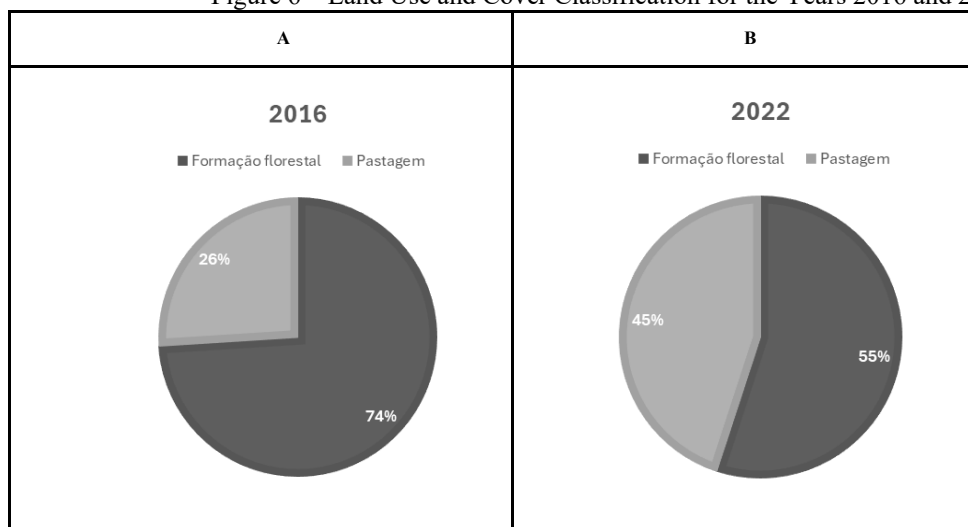
O caso da APATX exemplifica as limitações das Unidades de Conservação (UCs) de uso sustentável em conter o avanço do desmatamento em áreas sob forte pressão econômica. Merencio e Vieira (2021) identificaram que, já em 2019, 65,57% dos alertas DETER na APA se concentravam no município de São Félix do Xingu, um dos maiores produtores de gado do país. De acordo com Neto et al. (2024), a conversão de florestas em pastagens continua sendo o principal vetor de desmatamento na região, e a UC não tem conseguido exercer um papel efetivo de contenção. Isso indica uma dissonância entre o status legal de proteção e a efetividade prática da conservação.

Além dos fatores econômicos e produtivos, elementos estruturais como a ocupação irregular de terras, a ausência de demarcação efetiva e a deficiência no ordenamento fundiário dificultam a governança ambiental. Para Araújo (2017), a informalidade no uso da terra e a fragilidade dos mecanismos de controle favorecem a atuação de agentes ilegais e comprometem a aplicação de políticas públicas ambientais. A sobreposição de registros fundiários e a morosidade nos processos de regularização criam um cenário propício à grilagem, ao desmatamento especulativo e à violência no campo (Souza et al., 2020). Esses resultados não apenas destacam a vulnerabilidade da APATX, mas também reforçam a necessidade urgente de estratégias eficazes de monitoramento e conservação para mitigar os impactos contínuos dessas práticas destrutivas.

3.2 Análise da cobertura e uso da terra com o Mapbiomas

Na classificação do Mapbiomas, obteve-se 10 classes, destas as mais representativas foram Formação Florestal e Pastagem, portanto foram feitas comparações entre essas classes para os anos de 2016 e 2022. Em 2016, na Área de Proteção Ambiental (APA) Triunfo do Xingu, a classe de Formação Florestal cobria 1.236.924,31 hectares, representando 73,46% da cobertura total, enquanto a classe de Pastagem ocupava 429.732,35 hectares, ou 25,52%. Em 2022, a área de Formação Florestal reduziu para 918.367,18 hectares, representando 54,54% da cobertura total, e a área de Pastagem aumentou para 750.037,17 hectares, correspondendo a 44,55% (Figura 6).

Figura 6 – Classificação de uso e cobertura da terra para o ano de 2016 e 2022.
Figure 6 – Land Use and Cover Classification for the Years 2016 and 2022.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).
Source: Prepared by the authors (2024).

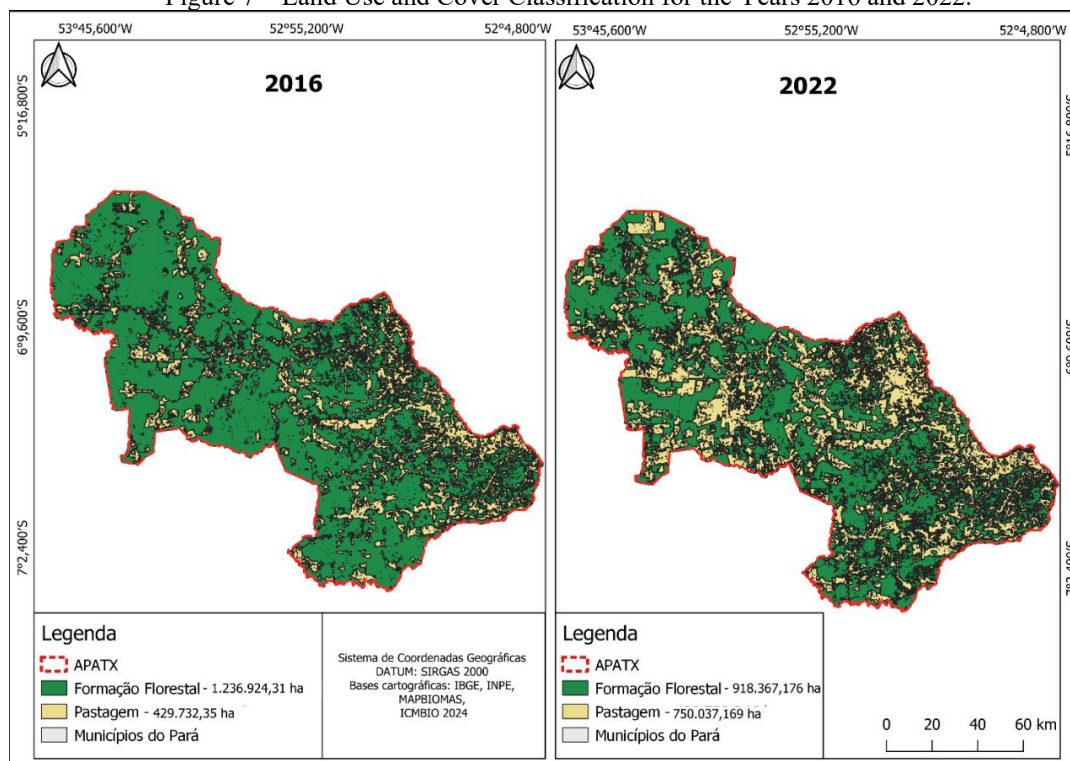
Os dados indicam uma redução de 318.557,13 hectares na área de Formação Florestal e um aumento de 320.304,82 hectares na área de Pastagem, refletindo uma significativa conversão de áreas florestais para pastagem. Esses resultados colaboram com os estudos de Pinho, Pinho e Gomes (2017) que em análise de cobertura e dinâmica de desflorestamento, a classe que mais teve acréscimo em área nos anos de 2008 e 2014 foi pastagem na APA Triunfo do Xingu.

Nesse contexto, a conversão de florestas em pastagens compromete a integridade ecológica da APA, intensifica a fragmentação de habitats, reduz a capacidade de manutenção da biodiversidade e contribui para o agravamento das mudanças climáticas, ao diminuir os estoques de carbono florestal e aumentar a vulnerabilidade da paisagem a incêndios florestais (Fearnside, 2017; Nepstad et al., 2001; Aragão et al., 2018). Estudos indicam que a perda florestal associada à expansão da pecuária extensiva é um dos principais vetores de emissões de gases de efeito estufa na Amazônia, além de desencadear processos de degradação ambiental de longo prazo (Soares-filho et al., 2014; Matricardi et al., 2020). Dessa forma, os resultados reforçam que, sem o fortalecimento da gestão territorial, fiscalização contínua e implementação efetiva das políticas públicas ambientais, a APA Triunfo do Xingu tende a reproduzir dinâmicas típicas de áreas não protegidas da Amazônia, conforme discutido na literatura científica (Nolte et al., 2013; Pfaff et al., 2014; Ferreira et al., 2014).

No mapa comparativo é possível perceber nitidamente a mudança da cobertura e uso da terra. Essa mudança tem implicações ambientais e socioeconômicas importantes, destacando a necessidade de estratégias de manejo sustentável do solo para equilibrar conservação e desenvolvimento econômico na região (Figura 7).

Figura 7 – Classificação de uso e cobertura da terra para o ano de 2016 e 2022.

Figure 7 – Land Use and Cover Classification for the Years 2016 and 2022.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Source: Prepared by the authors (2024).

A análise dos dados do MapBiomias evidencia uma expressiva conversão de áreas florestais em pastagens na Área de Proteção Ambiental Triunfo do Xingu entre 2016 e 2022, configurando um cenário crítico para a conservação da biodiversidade e a estabilidade dos sistemas ambientais locais. Esse processo está diretamente associado à expansão da pecuária extensiva, reconhecida como um dos principais agentes de transformação da paisagem amazônica, especialmente em áreas de fronteira agrícola (Rivero et al., 2009; Margulis, 2004).

Estudos indicam que a conversão florestal para pastagens ocorre, em grande parte, como estratégia de ocupação e consolidação fundiária, sendo frequentemente acompanhada pelo uso do fogo como ferramenta de manejo, o que intensifica os impactos ambientais e amplia a degradação dos ecossistemas (Alencar et al., 2004; Cochrane, 2003). Esses resultados concordam com os de Miranda, et al. (2021), os quais apontam essa conversão das áreas florestais em pastagens na mesorregião do sudeste paraense para o período de 2016 e 2020.

3.3 Interseção entre alertas do DETER e classificação do Mapbiomas

O estudo analisou as falhas na metodologia do DETER ao detectar áreas de pastagem como desmatamento. Em 2016, foram gerados 349 alertas que compreendem 9.759,752 ha de áreas com alertas de desmatamento de corte raso. Destas o DETER identificou 8.424,144 em áreas de formação florestal, no entanto, também reconheceu erroneamente 1.335,608 hectares de pastagem como áreas de alertas para desmatamento de corte raso (Tabela 2).

Tabela 2 – Interseção entre alertas do DETER e Classificação do Mapbiomas (2016).

Table 2 – Intersection Between DETER Alerts and MapBiomas Classification (2016).

Alerta DETER	Classe (ha)		Total (ha)
Desmatamento CR	Formação Florestal	Pastagem	9.759,7252
	8424,144	1335,608	

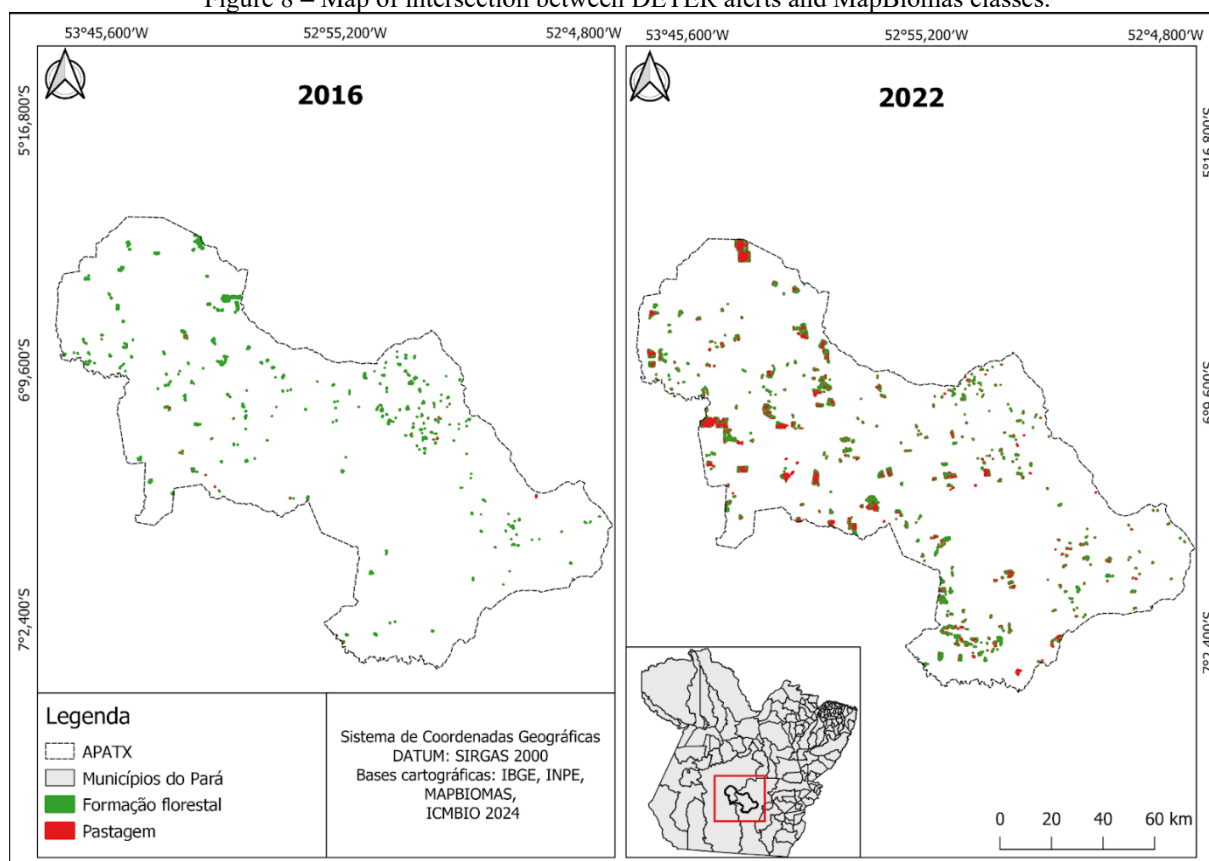
Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Source: Prepared by the authors (2024).

A ocorrência de alertas incidindo sobre áreas classificadas como pastagem pode estar associada tanto à dinâmica de uso do solo quanto às limitações inerentes à resolução espacial e temporal dos sensores utilizados pelo sistema DETER, cujo objetivo principal é o monitoramento rápido do desmatamento, e não o mapeamento detalhado da cobertura da terra (INPE, 2023). Dessa forma, áreas de pastagem degradada, vegetação secundária e superfícies recentemente queimadas apresentam assinaturas espectrais semelhantes, dificultando a correta atribuição das classes (Lu et al., 2004; Foody, 2002).

A Figura 8 evidencia uma mudança expressiva no padrão espacial e quantitativo dos alertas de desmatamento entre 2016 e 2022.

Figura 8 – Mapa de interseção dos alertas DETER com classes do Mapbiomas.
 Figure 8 – Map of intersection between DETER alerts and MapBiomas classes.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024).

Source: Prepared by the authors (2024).

Em 2016, observa-se um número reduzido de alertas, predominantemente associados à classe de formação florestal, indicando que os eventos de supressão vegetal estavam concentrados, majoritariamente, sobre áreas ainda cobertas por vegetação nativa. Em contrapartida, em 2022 a APA Triunfo do Xingu experimentou um aumento substancial no desmatamento, com pastagens sendo o principal vetor de conversão florestal. Múltiplos estudos corroboram este padrão. Os autores Neto et al., (2024) identificaram que a conversão de terras para pastagem foi o principal fator de desmatamento na área, assim como Da Silva et al., (2025) confirmam a tendência, observando alterações significativas na paisagem, especialmente na classe “Pastagens Herbáceas e Arbustivas Cultivadas”.

Dos Santos et al. (2023) reforçam que essas pressões estão associadas principalmente à pecuária extensiva, revelando que a APA tem sido uma “notável barreira de pressões antrópicas”. O aumento dos alertas de desmatamento reflete não apenas a intensificação do desmatamento, mas também o avanço prévio da conversão florestal, resultando na expansão de áreas antropizadas.

O resultados apresentam que a diferença na escala temporal e nos objetivos operacionais entre os sistemas DETER e MapBiomas pode gerar inconsistências na análise integrada dos dados, pois o DETER foi concebido para o monitoramento quase em tempo real do desmatamento, priorizando rapidez na detecção de eventos recentes, enquanto o MapBiomas utiliza mosaicos temporais consolidados, baseados em séries anuais de imagens, capazes de capturar variações sazonais e mudanças graduais no uso e cobertura do solo que nem

sempre são imediatamente detectáveis pelos sistemas de alerta rápido (Shimabukuro et al., 2013; Souza Jr. et al., 2020). Essa diferença metodológica pode resultar em divergências na identificação e na classificação das áreas afetadas.

Além disso, a semelhança espectral entre áreas de pastagem, superfícies recentemente desmatadas e áreas submetidas ao uso do fogo, associada às limitações da resolução espacial dos sensores orbitais, tende a aumentar a ocorrência de falsos positivos nos alertas de desmatamento, sobretudo em paisagens altamente fragmentadas e intensamente antropizadas (Foody, 2002; Lu et al., 2004; Morton et al., 2008). Como consequência, parte dos esforços de fiscalização pode ser direcionada a áreas já convertidas para uso agropecuário, reduzindo a eficiência das ações de controle ambiental e monitoramento territorial.

Diante desse cenário, a literatura aponta a necessidade de aprimoramento dos sistemas de detecção, por meio da integração de dados provenientes de sensores com diferentes resoluções espaciais e temporais, bem como do avanço no uso de algoritmos de aprendizado de máquina e técnicas de classificação mais robustas, capazes de melhorar a distinção entre classes de uso e cobertura do solo (Pontius JR.; Millones, 2011; Souza Jr. et al., 2020). A adoção dessas estratégias tende a reduzir erros de classificação, aumentar a confiabilidade dos alertas e potencializar o uso mais eficiente dos recursos destinados à fiscalização ambiental, especialmente em unidades de conservação de uso sustentável como a APA Triunfo do Xingu.

3. Conclusão

A análise multitemporal evidenciou um aumento expressivo da classe de pastagem e uma redução concomitante da formação florestal na APA Triunfo do Xingu entre 2016 e 2022, confirmando a intensificação do processo de conversão do uso da terra na área de estudo. Esses resultados reforçam a necessidade de aprimorar os métodos de classificação de uso e cobertura do solo, especialmente em contextos marcados por rápidas transformações da paisagem e elevada heterogeneidade espacial, onde a mistura espectral entre diferentes classes vegetativas representa um desafio recorrente. Avanços na resolução espacial e temporal dos dados de satélite, aliados à aplicação de técnicas mais robustas de processamento digital de imagens, como a classificação supervisionada e não supervisionada, fusão de dados ópticos e de radar (por exemplo, Landsat e Sentinel-1), algoritmos de aprendizado de máquina (Random Forest, Support Vector Machine e redes neurais), além de métodos de detecção de mudanças têm potencial para ampliar significativamente a precisão na detecção e no monitoramento do desmatamento, contribuindo para o fortalecimento das ações de conservação ambiental na região.

Para mitigar as limitações identificadas, propõe-se a integração de dados provenientes de sensores com diferentes resoluções espaciais e temporais, bem como o avanço na aplicação de algoritmos de aprendizado de máquina voltados à classificação do uso e cobertura da terra. Essa abordagem possibilita uma melhor distinção entre classes com assinaturas espectrais semelhantes, reduzindo falhas de classificação e aumentando a confiabilidade dos produtos gerados. Adicionalmente, recomenda-se a incorporação de imagens de alta resolução espacial, a integração de sensores de radar, menos sensíveis à cobertura de nuvens, e a realização de validações periódicas em campo. Em conjunto, essas estratégias têm potencial para aprimorar substancialmente a acurácia dos sistemas de alerta de desmatamento, como o DETER, otimizando o uso dos recursos de fiscalização e contribuindo de forma mais efetiva para a proteção ambiental de áreas críticas, especialmente Unidades de Conservação de uso sustentável.

4. Agradecimentos

Os autores agradecem ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) pela disponibilização dos dados do sistema DETER, bem como ao Projeto MapBiomias pelo acesso às informações de uso e cobertura do solo utilizadas neste estudo. Agradecem também à comunidade de desenvolvedores da plataforma Google Earth Engine, cujas ferramentas foram fundamentais para o processamento e análise dos dados. Por fim, expressam gratidão aos revisores anônimos pelas contribuições e sugestões que auxiliaram no aprimoramento deste trabalho.

5. Referências

- Aguiar, P. F.; Carvalho, R. G.; Guerreiro, J. de Sá. (2020). Análise de políticas públicas voltadas para o desflorestamento na Amazônia brasileira. **Paper do NAEA**, 30(1), 1–18. <https://doi.org/10.1590/S1413-99362009000100002>
- Alencar, A.; Nepstad, D.; McGrath, D.; Moutinho, P.; Pacheco, P.; Diaz, M. D. C. V.; Soares-Filho, B. (2004). *Desmatamento na Amazônia: indo além da “emergência crônica”* (Vol. 90). **IPAM**.
- Aragão, L. E.; Anderson, L. O.; Fonseca, M. G.; Rosan, T. M.; Vedovato, L. B.; Wagner, F. H.; Saatchi, S. (2018). 21st Century drought-related fires counteract the decline of Amazon deforestation carbon emissions. **Nature communications**, 9(1), 536.
- Araújo, E.; Barreto, P.; Baima, S.; Gomes, M. (2017). Unidades de conservação mais desmatadas da Amazônia Legal (2012–2015). **IMAZON**.
- Barlow, J.; Berenguer, E.; Carmenta, R.; França, F. (2020). Clarifying Amazonia’s burning crisis. **Global Change Biology**, 26(2), 319–321. <https://doi.org/10.1111/gcb.14872>
- Chang, T.; Lee, W.; Fu, H.; Lin, Y.; Hsueh, H. (2007). A study of an augmented CPFR model for the 3C retail industry. **Supply Chain Management: An International Journal**, 12(3), 200–209.
- Cochrane, M. A. (2003). Fire science for rainforests. **Nature**, 421(6926), 913–919.
- Costa, A. P.; Reis, L. R. (2017). A contribuição da APA Triunfo do Xingu para o ordenamento fundiário na região da Terra do Meio, estado do Pará. **Revista de Ciências Agrárias – Amazon Journal of Agricultural and Environmental Sciences**, 60, 96–102.
- Costa, B. O. (2017). **Degradação florestal por extração seletiva e fogo na Amazônia Legal** (Tese de doutorado). Universidade de Brasília, Brasília, DF, Brasil.
- Cortinhas, R.; Gomes, A.; Gomes, A.; Viana, J. (2021). Áreas de Proteção Ambiental na Amazônia: uma análise sobre a ocupação da APA Maroaga no município de Presidente Figueiredo – AM. **Revista Geomae – Geografia, Meio Ambiente e Ensino**.
- Da Silva, M. G. L.; da Silva, S. L. B.; De Oliveira, R. R. S.; Christine, B.; Pinho, P.; de Deus, R. J. A. (2025). Análise da Dinâmica de Uso e Cobertura da Terra na APA Triunfo do Xingu (Pará) entre os anos de 2008 e 2020. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 18(02), 1461-1474.
- De Almeida, C. A., et al. (2022). Metodologia utilizada nos sistemas PRODES e DETER (2ª ed.). **INPE**.
- Dos Santos, G. G.; Neris, J. P. F.; Coelho, R. F. R. (2023). Dinâmica dos focos de calor na Área de Proteção Ambiental Triunfo do Xingu, Amazônia paraense. **Revista GeoAmazônia**, 11(22), 23–45.

- Fearnside, P. M. (2017). Deforestation of the Brazilian Amazon. **Oxford Research Encyclopedia of Environmental Science**. Oxford University Press.
- Ferreira, J., et al. (2014). Brazil's environmental leadership at risk. **Science**, 346(6210), 706–707.
- Fonseca, A.; Ribeiro, J.; Alves, A.; Santos, B.; Amorim, L.; Ferreira, R.; Souza Jr., C. (2021). Ameaça e pressão de desmatamento em áreas protegidas: SAD de agosto 2020 a julho 2021. **IMAZON**.
- Foody, G. M. (2002). Status of land cover classification accuracy assessment. **Remote Sensing of Environment**, 80(1), 185–201.
- IBGE. (2023). Área territorial brasileira 2022. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**.
- IDEFLOR-Bio. (2024). APA Triunfo do Xingu. Disponível em: <https://ideflorbio.pa.gov.br>
- IMAZON. (2022). Ameaça e pressão de desmatamento em áreas protegidas: SAD de janeiro a março de 2022. **IMAZON**.
- INPE. (2023). Projeto DETER: Detecção do desmatamento em tempo real. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**.
- Lu, D.; Mausel, P.; Brondízio, E.; Moran, E. (2004). Change detection techniques. **International Journal of Remote Sensing**, 25(12), 2365–2401.
- MapBiomas. (2024). Coleção 6 da Série Anual de Mapas de Uso e Cobertura da Terra do Brasil. Disponível em: <https://mapbiomas.org>
- Matricardi, E. A. T.; Skole, D. L.; Pedlowski, M. A.; Chomentowski, W. (2020). Long-term forest degradation surpasses deforestation in the Brazilian Amazon. **Science**, 369(6509), 1378–1382.
- Margulis, S. (2004). Causes of deforestation of the Brazilian Amazon. (Vol 22). **World Bank Publications**.
- Morton, D. C., et al. (2008). Agricultural intensification increases deforestation fire activity in Amazonia. **Global Change Biology**, 14(10), 2262–2275.
- Nepstad, D.; Carvalho, G.; Barros, A. C.; Alencar, A.; Capobianco, J. P.; Bishop, J.; ...Prins, E. (2001). Road paving, fire regime feedbacks, and the future of Amazon forests. **Forest ecology and management**, 154(3), 395-407.
- Neto, M. R. R.; De Moraes, D. R. V.; Messias, C. G.; Soler, L.; De Almeida, C. A.; Camilotti, V. L. (2024). A ineficácia da Área de Proteção Ambiental Triunfo do Xingu em conter o desmatamento na Amazônia brasileira. **Geografia Ensino & Pesquisa**, 28, e85447-e85447.
- Nolte, C., Agrawal, A.; Silvius, K. M.; Soares-Filho, B. S. (2013). Governance regime and location influence avoided deforestation success of protected areas in the Brazilian Amazon. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, 110(13), 4956-4961.
- Pfaff, A.; Robalino, J.; Herrera, D.; Sandoval, C. (2015). Protected areas' impacts on Brazilian Amazon deforestation: examining conservation–development interactions to inform planning. **PloS one**, 10(7), e0129460.
- Pinho, B. C. P.; Gomes, D. O. (2017). Territórios desprotegidos e novas fronteiras dos recursos naturais na Amazônia. **Revista Contribuciones a las Ciencias Sociales**.
- Pontius Jr., R. G.; Millones, M. (2011). Death to Kappa. **International Journal of Remote Sensing**, 32(15), 4407–4429.

- Rivero, S.; Almeida, O.; Ávila, S.; Oliveira, W. (2009). Pecuária e desmatamento. **Nova Economia**, 19(1), 41–66.
- Sampaio, M. I. R.; Kunz, A.; Hillebrand, F. L.; Zamberlan, J. F.; Idalino, F. D. (2021). Análise dos índices de vegetação NDVI e NDRE em imagens obtidas por meio de sensor embarcado em um RPAS para as culturas da soja (*Glycine max*) e milho (*Zea mays*) irrigados. **Revista Brasileira de Geomática**, 9(4), 350-362.
- Shimabukuro, Y.; Duarte, V.; Anderson, L.; Valeriano, D.; Arai, E.; Freitas, R.; ... Moreira, M. (2006). Near real time detection of deforestation in the Brazilian Amazon using MODIS imagery. **Ambiente e Água- An Interdisciplinary Journal of Applied Science**, 1(1), 37-47.
- Silva Junior, C. H.; Pessôa, A. C.; Carvalho, N. S.; Reis, J. B.; Anderson, L. O.; Aragão, L. E. (2021). The Brazilian Amazon deforestation rate in 2020 is the greatest of the decade. **Nature ecology & evolution**, 5(2), 144-145.
- Soares-Filho, B.; Rajão, R.; Macedo, M.; Carneiro, A.; Costa, W.; Coe, M.; ... Alencar, A. (2014). Cracking Brazil's forest code. **Science**, 344(6182), 363-364.
- Souza Jr, C. M.; Z. Shimbo, J.; Rosa, M. R.; Parente, L. L.; A. Alencar, A.; Rudorff, B. F.; ... Azevedo, T. (2020). Reconstructing three decades of land use and land cover changes in brazilian biomes with landsat archive and earth engine. **Remote Sensing**, 12(17), 2735.
- Valeriano, D. M., et al. (2016). Metodologia do sistema DETER-B. **INPE**