



ANÁLISE DA FRAGILIDADE AMBIENTAL DA APA TRIUNFO DO XINGU, PARÁ

Kayque da Silva Dias ¹
Ana Paula Silva Fernandes ²
Alan Nunes Araújo ³

RESUMO

O estudo analisou a fragilidade ambiental da Área de Proteção Ambiental (APA) Triunfo do Xingu, localizada no sudeste do Pará, sob uma perspectiva geossistêmica e integrada da paisagem. Foram utilizadas variáveis físico-territoriais como relevo, solos, proximidade de cursos d'água e uso e cobertura da terra, processadas em ambiente SIG. Os resultados indicaram que aproximadamente 60% do território apresenta fragilidade ambiental alta ou muito alta, sobretudo nas regiões centro-leste e sudoeste, marcadas pela expansão da fronteira agropecuária, mineração e ocupações desordenadas. Em contrapartida, áreas do noroeste, sul e parte do sudeste mantêm blocos florestais preservados, classificados como de baixa ou muito baixa fragilidade. A pesquisa reforça a importância de estratégias de planejamento territorial que conciliem conservação e uso sustentável, destacando a necessidade de recuperação de áreas críticas e fortalecimento da gestão participativa na unidade de conservação.

Palavras-chave: Artigo completo, Normas científicas, Congresso, Realize, Boa sorte.

RESUMEN

Este estudio analizó la fragilidad ambiental del Área de Protección Ambiental (APA) Triunfo do Xingu, ubicada en el sureste de Pará, desde una perspectiva geosistémica e integrada del paisaje. Se procesaron en un entorno SIG variables físico-territoriales como relieve, suelos, proximidad a cursos de agua y uso y cobertura de la tierra. Los resultados indicaron que aproximadamente el 60% del territorio presenta fragilidad ambiental alta o muy alta, especialmente en las regiones centro-este y suroeste, influenciadas por la expansión de la frontera agropecuaria, la minería y los asentamientos desordenados. En contraste, las regiones noroeste, sur y parte del sureste aún mantienen bloques forestales preservados, clasificados como de fragilidad baja o muy baja. La investigación resalta la importancia de estrategias de planificación territorial que concilien conservación y uso sostenible, enfatizando la necesidad de recuperar áreas críticas y fortalecer la gestión participativa en la unidad de conservación.

Palabras clave: Artículo completo, Normas científicas, Congreso, Darse cuenta, Buena suerte.

ABSTRACT

¹ Mestrando do Curso de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Pará - UFPA, kayquedias093@gmail.com;

² Mestranda do Curso de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Pará - UFPA, anapga4@gmail.com;

³ Professor do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal do Pará - UFPA, alan.nunes@ufpa.br;



This study analyzed the environmental fragility of the Triunfo do Xingu Environmental Protection Area (APA), located in southeastern Pará, from a geosystemic and integrated landscape perspective. Physical-territorial variables such as relief, soils, proximity to watercourses, and land use/land cover were processed in a GIS environment. Results indicated that approximately 60% of the territory presents high or very high environmental fragility, especially in the central-eastern and southwestern regions, driven by agricultural frontier expansion, mining, and unplanned settlements. In contrast, the northwestern, southern, and part of the southeastern regions still preserve forest blocks classified as low or very low fragility. The research highlights the importance of territorial planning strategies that reconcile conservation and sustainable use, emphasizing the need for the recovery of critical areas and the strengthening of participatory management within the conservation unit.

Keywords: Environmental Fragility; Triunfo do Xingu APA; Geosystems; Territorial Planning.

INTRODUÇÃO

A Teoria Geral dos Sistemas (BERTALANFFY, 1975), ao ser incorporada pelas ciências geográficas, trouxe novos caminhos para a compreensão da paisagem como expressão da totalidade dinâmica das relações entre natureza e sociedade.

Compreender o espaço geográfico sob uma perspectiva sistêmica implica analisar os fluxos de energia, matéria e informação que circulam entre os componentes físicos, bióticos e humanos, construindo um campo metodológico favorável à análise ambiental integrada (TRICART, 1977;

A atuação humana, especialmente em contextos amazônicos, tem provocado descompassos entre os ritmos naturais e os usos sociais do território, alterando profundamente a configuração original dos sistemas ambientais e impondo novos desafios ao ordenamento territorial (ARAÚJO & PRATES, 2018).

A partir do conceito de ecodinâmica, é possível distinguir áreas de maior ou menor estabilidade, associadas a diferentes combinações de relevo, solo, cobertura vegetal e uso da terra, o que permite identificar zonas com maior suscetibilidade à degradação.

A Área de Proteção Ambiental (APA) Triunfo do Xingu, localizada no sudeste do Pará, entre os municípios de São Félix do Xingu e Altamira, ocupa uma área de aproximadamente 1.280.000 hectares. Criada em 2006 como unidade de conservação de uso sustentável, a APA se insere em uma das regiões de maior fragilidade socioambiental da Amazônia Legal, onde coexistem florestas tropicais densas, atividades pecuárias extensivas, mineração ilegal, loteamentos e ocupações desordenadas. Tais fatores têm comprometido a conectividade ecológica, intensificando os efeitos da fragmentação da paisagem e promovendo alterações estruturais e funcionais nos sistemas ambientais locais (LAURANCE *et al.*, 2001; PIROVANI *et al.*, 2014, FERNANDES *et al.*, 2023).



A ruptura desses sistemas complexos compromete não apenas a biodiversidade, mas também os fluxos de energia, o ciclo hidrológico e a dinâmica climática regional, gerando estados de fragilidade ambiental potencial e emergente, conforme demonstrado por Araújo (2019) na análise integrada da bacia do rio Araguari, no Amapá. Essas fragilidades são expressões da instabilidade ecodinâmica e da vulnerabilidade territorial, exigindo abordagens que articulem o conhecimento geossistêmico, o planejamento ambiental e a gestão territorial.

Diante dessa realidade, a presente pesquisa tem como objetivo realizar a análise da fragilidade ambiental da APA Triunfo do Xingu, a partir de uma abordagem integrada da paisagem que considera suas principais características fisiográficas (relevo, solos, hidrografia) e os padrões de uso e cobertura da terra observados nas últimas décadas.

METODOLOGIA

Caracterização da área de estudo

A área de estudo localiza-se no sudoeste do Estado do Pará, na região conhecida como “Terra do Meio”, e tem como limites: ao norte, o Parque Nacional - Parna da Serra do Pardo e a Estação Ecológica - Esec da Terra do Meio; a leste a cidade de São Félix do Xingu; a oeste a Esec da Terra do Meio; ao sul a Terra Indígena - TI Kaiapó, sob as coordenadas de latitude: 5°27'19.88"S longitude: 54°2'11.19"W, latitude: 5°41'49.46"S, longitude: 51°56'57.69"W, latitude: 7°19'2.44"S, longitude: 53°55'50.14"W, latitude: 7°18'13.58"S, longitude: 52°10'9.10"W (Figura 1).

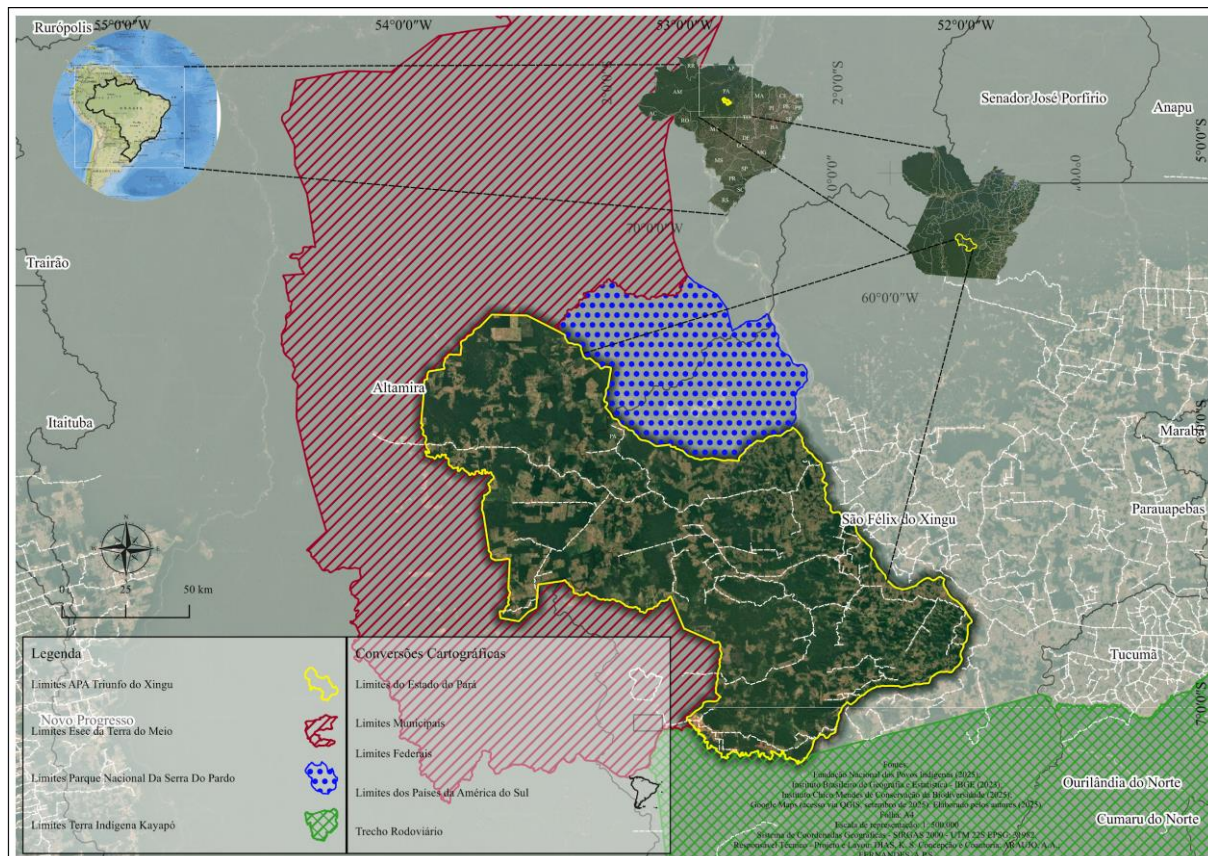


Figura 1 - Mapa de Localização da APA. Fonte: Fundação Nacional dos Povos Indígenas (2025); IDEFLOR-BIO (2006); Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2023); Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (2025); Google Maps (acesso via QGIS, setembro de 2025). Elaborado pelos autores (2025). Elaborado pelos autores (2025).

Estrutura metodológica

A pesquisa estrutura-se em três eixos metodológicos principais:

1. Abordagem ecodinâmica da paisagem, conforme proposta por Tricart (1977), que interpreta a paisagem como resultado das interações entre elementos naturais e antrópicos.
2. Conceitos de fragilidade ambiental potencial e emergente, segundo Ross (1994) e Spörl & Ross (2004), que orientam a avaliação da vulnerabilidade dos sistemas ambientais frente à ação humana.
3. Método de Crepani et al. (2001), que integra Sensoriamento Remoto, Geoprocessamento e Análise Multicritério (AHP), aplicados ao planejamento e à gestão ambiental do território

Levantamento de Dados Secundários: Nesta etapa, foram coletadas e organizadas informações cartográficas e temáticas provenientes de fontes secundárias, abrangendo os seguintes elementos:



- **Relevo e declividade:** obtidos a partir do Modelo Digital de Elevação Copernicus Global Digital Surface Model (DSM) com resolução espacial de 30 metros;
- **Solos:** base de dados do IBGE;
- **Hidrografia e proximidade de drenagens:** shapefiles do IBGE e ANA;
- **Uso e cobertura da terra:** dados gerados na plataforma do Google Earth Engine.

Tratamento das variáveis e álgebra de mapas: A análise da fragilidade ambiental potencial foi realizada a partir da espacialização e reclassificação de cinco variáveis físico-ambientais fundamentais: declividade, solos, geomorfologia, corpos hídricos e uso e cobertura da terra.

Cada variável foi reclassificada em cinco níveis de fragilidade, seguindo a metodologia de Ross (1994), adaptada por Araújo & Prates (2018), conforme o quadro abaixo:

- **Muito baixa** (valor 1)
- **Baixa** (valor 2)
- **Média** (valor 3)
- **Alta** (valor 4)
- **Muito alta** (valor 5)

Os valores foram atribuídos de acordo com o grau de influência de cada variável nos processos erosivos e na instabilidade da paisagem. As maiores classes de fragilidade foram associadas a declividades superiores a 30%, solos rasos e pouco desenvolvidos, altas precipitações e áreas degradadas ou com exposição do solo. Em contrapartida, declividades inferiores a 6% correspondem a áreas planas e suavemente onduladas, geralmente menos suscetíveis à degradação.

O processamento e a reclassificação dos dados foram realizados no software QGIS 3.34.15, empregando-se a álgebra de mapas e a Análise Multicritério Ponderada (AHP), conforme a Equação 1.

$$A_{ij} = \sum_{k=1}^n (P_k \times N_k)$$

Equação - 1 Análise de Multicritério. Adaptada de Franco et al. (2013).

Síntese Interpretativa: Fragilidade Potencial e Emergente

A fragilidade ambiental emergente foi obtida por meio da sobreposição ponderada entre o mapa de fragilidade potencial e o mapa atual de uso e cobertura da terra. Essa integração permitiu identificar as áreas em que a ação antrópica intensifica a vulnerabilidade natural dos sistemas ambientais.

O mapa síntese resultante expressa as zonas com diferentes níveis de suscetibilidade à degradação ambiental, constituindo um instrumento técnico de apoio à gestão territorial da APA Triunfo do Xingu. Essa abordagem permite compreender a complexidade socioambiental da



unidade e identificar áreas prioritárias para ações de monitoramento, preservação e ordenamento ambiental.

REFERENCIAL TEÓRICO

A Amazônia como território-fronteira e acumulação por espoliação

O conceito de “território-fronteira” mantém-se como uma ideia-força que invisibiliza dinâmicas sociais, culturais e ecológicas próprias da região amazônica. Após a Segunda Guerra Mundial, mesmo sob o discurso desenvolvimentista, grandes eixos de infraestrutura, como rodovias, hidrelétricas e projetos minerais a exemplo do Projeto Grande Carajás consolidaram o padrão histórico de “acumulação por espoliação” (HARVEY, 2003). Esse processo abriu caminho ao neoextrativismo, em que a intensificação da produção de commodities tornou-se estratégia estatal de inserção subordinada na economia global. Assim, estradas e ferrovias converteram-se em “condutores materiais” desse modelo, substituindo a antiga territorialidade fluvial (PORTO-GONÇALVES, 2006; GUDYNAS, 2009).

A intensificação agropecuária notadamente a pecuária extensiva e o cultivo de soja impulsionou processos de grilagem, conflitos fundiários e desmatamento acelerado. Estudos de Fearnside (2023) e Sauer (2018) destacam que o sudeste paraense é uma das áreas mais afetadas. Segundo o PRODES/INPE, a Amazônia perdeu 9.064 km² de floresta em 2022/2023, afetando diretamente a estrutura da paisagem com alterações em granulometria, conectividade e heterogeneidade (TURNER, 1989). Em um cenário de múltiplas territorialidades (HAESBAERT, 2004), as Unidades de Conservação (UCs) tornaram-se instrumentos centrais da política ambiental brasileira. Reguladas pela Lei nº 9.985/2000 (SNUC), essas áreas buscam conciliar conservação e uso sustentável. Contudo, sua eficácia depende de governança, regularização fundiária e participação social efetiva.

Segundo Coelho, Cunha e Monteiro (2009), a criação de UCs deve ser entendida não apenas como resposta técnica à degradação ambiental, mas como processo sociopolítico que envolve disputas por recursos, narrativas de poder e redefinição de territorialidades.

A formação do Mosaico Terra do Meio e a Área de Proteção Ambiental Triunfo do Xingu (APA-TX)

Entre 2004 e 2006, a criação de UCs na Amazônia intensificou-se, impulsionada por pressões internacionais e episódios de violência no campo, como o assassinato de Dorothy Stang em Anapu (VELÁSQUEZ et al., 2006). Nesse contexto, instituiu-se o Mosaico Terra do Meio, um corredor ecológico de cerca de 3 milhões de hectares que combina estações ecológicas, parques nacionais e reservas extrativistas. Entretanto,

fragilidades na fiscalização e na articulação interinstitucional ainda permitem práticas ilegais, como grilagem e extração de madeira (ICMBIO, 2015; ISA, 2013).

A Criada em 2006, a APA Triunfo do Xingu (APA-TX) tornou-se uma das UCs mais degradadas da Amazônia. Entre 2006 e 2024, perdeu cerca de 437.000 hectares de floresta, o que representa 22% de sua área original (INPE, 2024). Somente em 2024, foram desmatados 6.413 hectares, colocando a APA-TX no topo do ranking nacional de UCs mais desmatadas (MAPBIOMAS, 2025). Localizada entre Altamira e São Félix do Xingu, a UC está inserida no coração do sudeste paraense — região marcada por pressões globais de commodities, déficit de governança e elevados índices de violência fundiária (SEMAS, 2024; PORTO-GONÇALVES, 2006). Em 2023, registrou o maior rebanho bovino municipal do Brasil, com 2,5 milhões de cabeças (IBGE, 2024).

A conversão florestal para pastagens e a abertura de estradas reduziram drasticamente a conectividade florestal, elevando o risco de incêndios (NEPSTAD et al., 2006). Em 2024, o Programa Queimadas/INPE registrou 3.334 focos de calor na APA-TX, equivalendo a 62% dos incêndios em UCs da região (INFOAMAZONIA, 2025).

Apesar desse quadro crítico, as UCs continuam sendo pilares da política ambiental brasileira. Na Amazônia, são essenciais para conter a expansão das fronteiras produtivas e proteger modos de vida tradicionais (DIEGUES, 1999; RYLANDS; BRANDON, 2005). A eficácia da APA-TX depende de arranjos de governança inclusivos, da regularização fundiária e da implementação de seu plano de gestão (IDEFLOR-BIO, 2024).

Assim, a APA Triunfo do Xingu emerge como território-chave para compreender os impasses das políticas de conservação na Amazônia, articulando dimensões históricas, biofísicas e político-territoriais das transformações recentes da paisagem.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Relevo e Declividade

A APA Triunfo do Xingu apresenta uma topografia diversificada, conforme evidenciado pelas curvas de nível em seu mapa altimétrico. As altitudes na APA variam significativamente, indo de aproximadamente 20 metros nas áreas mais baixas até cerca de 640 metros nos pontos mais elevados. Essa variação altimétrica é um fator crucial que influencia a distribuição de ecossistemas, a hidrografia e a biodiversidade da região, moldando a paisagem de maneira complexa e dinâmica.

As porções de menor altitude, representadas pelos tons mais claros no mapa (Figura 2) variam entre 20 a 220 metros, concentram-se predominantemente nas proximidades dos grandes rios que margeiam a APA, como o Xingu e o Iriri, e ao longo dos principais cursos

d'água internos. Essas áreas são caracterizadas por um relevo mais suave e planícies de inundação, que são vitais para a formação de igarapés, córregos e áreas úmidas. A baixa declividade nessas regiões favorece a acumulação de água e a formação de solos mais férteis, sustentando uma rica variedade de flora e fauna adaptadas a ambientes aquáticos e semi-aquáticos.

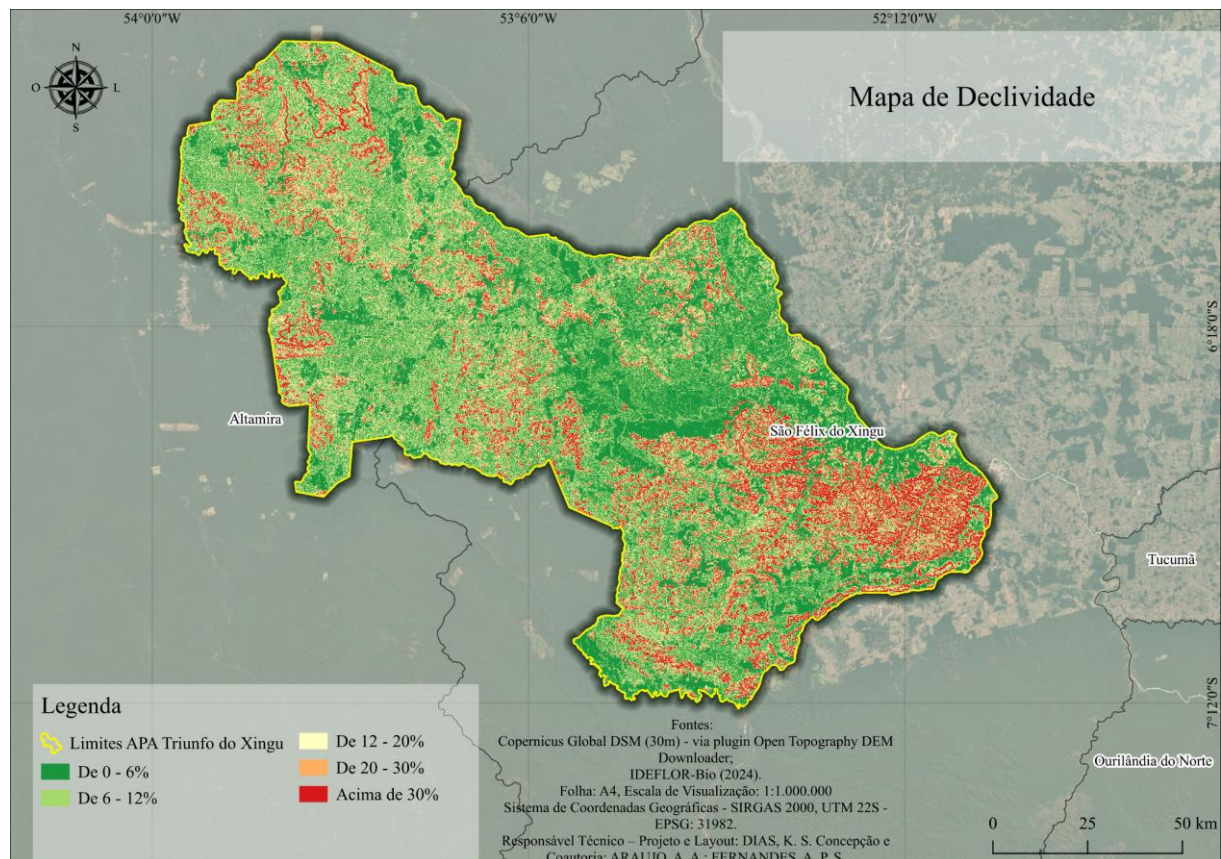


Figura 2 - Mapa de declividade da APA.

Fonte: Copernicus Global DSM (30m) via plugin Open Topography DEM Downloader. Elaborado pelos autores (2025).

Em contraste, as áreas de maior altitude, indicadas pelos tons mais escuros (acima de 330 metros, chegando a 640 metros), são observadas em porções mais centrais e elevadas da APA. Nesses locais, as curvas de nível aparecem mais próximas umas das outras, denotando um relevo mais acidentado, com a presença de morros e platôs. Essas elevações contribuem para a formação de nascentes e divisores de água, influenciando diretamente o padrão de drenagem da bacia hidrográfica da APA. A topografia mais íngreme também pode criar microclimas e nichos ecológicos distintos, abrigando espécies vegetais e animais adaptadas a essas condições específicas.

Solos

A degradação da vegetação, especialmente em áreas de maior fragilidade edáfica, tende a intensificar processos de compactação, lixiviação e perda de nutrientes, comprometendo a capacidade produtiva e a resiliência ecológica da paisagem. Nesse sentido, a próxima etapa da análise busca compreender a composição, extensão e distribuição dos principais tipos de solos da APA.

De forma geral, a configuração pedológica da APA Triunfo do Xingu mostra uma paisagem com predominância de solos distróficos, de baixa fertilidade e sensíveis a processos erosivos.

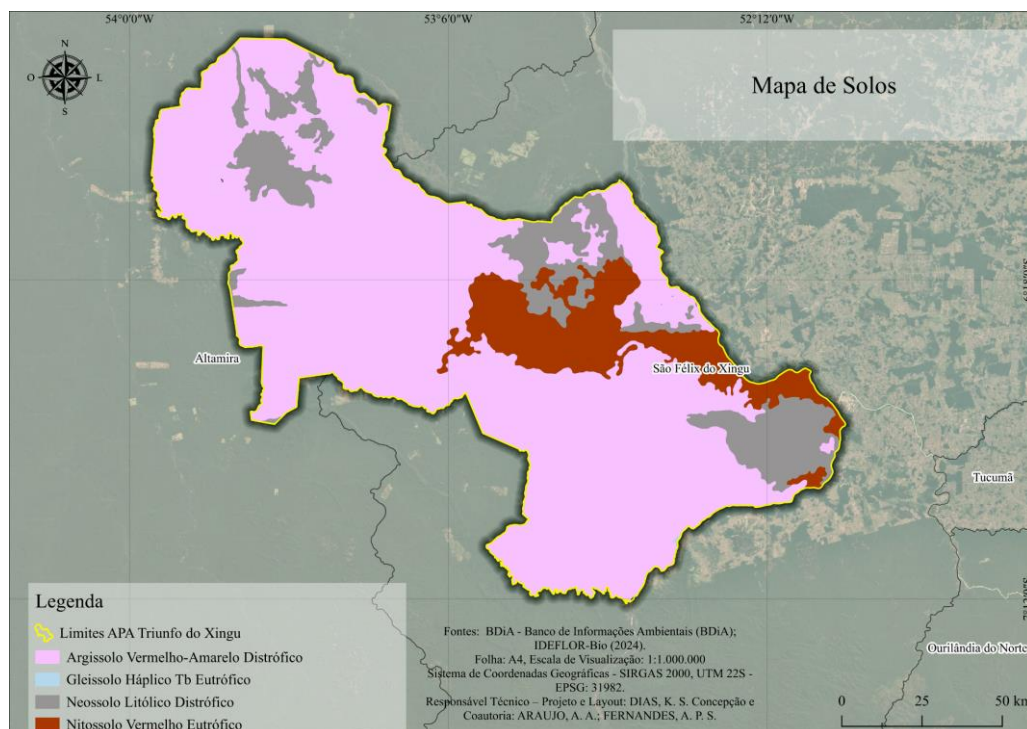


Figura 3 - Mapa de solos da APA. Fonte: Banco de Informações Ambientais (BDIA/IBGE). Elaborado pelos Autores (2025).

Observa-se que a APA evidencia um território marcado por elevada complexidade físico-natural e intensa pressão antrópica. A análise integrada das informações, permite compreender as potencialidades e fragilidades que condicionam o uso e a conservação dos recursos naturais nessa unidade de conservação de uso sustentável.

De acordo com a metodologia de Ross (1994), os tipos de solo exercem influência direta na fragilidade potencial da paisagem, uma vez que características como profundidade, textura, drenagem e grau de intemperização condicionam a estabilidade das vertentes e a suscetibilidade à erosão. Na Área de Proteção Ambiental (APA) Triunfo do Xingu, observa-se a predominância de solos com diferentes níveis de resistência aos processos morfodinâmicos, refletindo-se nas classes de fragilidade atribuídas (Tabela 1).

Tabela 1 - Tipos de Solos da APA.



Tipo de Solo	Classificação Ross(1994)	Classe Correspondente
Argissolo Vermelho-Amarelo	Podzólico Vermelho-Amarelo	Classe 4 (alta)
Gleissolo	Não previsto na tabela	Classe 1 (muito baixo)
Neossolo Litólico	Litólicos	Classe 5 (muito alta)
Nitossolo Vermelho	Terra Roxa	Classe 3 (média)

Fonte: Adaptado de Ross (1994).

Os Argissolos Vermelho-Amarelos, amplamente distribuídos na região, correspondem à classe dos Podzólicos Vermelho-Amarelos na tabela de Ross (1994), enquadrando-se na Classe 4 (Alta fragilidade). Essa classificação decorre de sua textura média a argilosa, presença de horizontes Bt com acúmulo de argila e baixa permeabilidade, fatores que favorecem o escoamento superficial e a erosão laminar em áreas declivosas.

Os Neossolos Litólicos, equivalentes aos Litólicos em Ross (1994), situam-se na Classe 5 (Muito Alta fragilidade). São solos rasos, pedregosos e pouco desenvolvidos, ocorrendo geralmente em relevo acidentado ou sobre afloramentos rochosos. Nessas condições, há restrição à infiltração e à fixação vegetal, o que torna o ambiente altamente vulnerável à ação erosiva e à perda de cobertura.

Os Nitossolos Vermelhos podem ser correlacionados aos solos classificados por Ross (1994) como Terra Roxa, pertencentes à Classe 3 (Média fragilidade). Apesar de possuírem boa estrutura e maior estabilidade devido à profundidade e alta coesão, podem apresentar fragilidade moderada em declividades acentuadas ou sob manejo inadequado.

Por outro lado, os Gleissolos, típicos de áreas mal drenadas e planas, não possuem correspondência direta na tabela original de Ross (1994). Contudo, considerando sua saturação hídrica permanente e ocorrência em ambientes de várzea e planícies aluviais, esses solos tendem a apresentar fragilidade específica associada à instabilidade hídrica, sendo sensíveis a intervenções antrópicas que alterem o regime natural das águas.

De modo geral, a combinação entre solos rasos e argilosos nas áreas mais declivosas da APA Triunfo do Xingu resulta em altos índices de fragilidade potencial, demandando práticas de manejo e conservação adequadas para minimizar processos erosivos e preservar a estabilidade ambiental da unidade de conservação.

Geomorfologia



As depressões configuram áreas de fragilidade média, caracterizadas por relevo suavemente ondulado ou rebaixado, frequentemente associadas à acumulação de sedimentos finos e drenagem deficiente. Apesar de apresentarem menor energia de relevo, as bordas dessas unidades podem sofrer processos erosivos localizados devido à concentração de fluxos superficiais e à ocupação desordenada, o que justifica seu enquadramento intermediário na escala de fragilidade.

Os planaltos, por sua vez, são classificados com alta fragilidade. Essas formas de relevo, geralmente elevadas e de topo plano, apresentam encostas com declividades moderadas a acentuadas, nas quais a remoção da vegetação natural e o uso inadequado do solo favorecem processos de escoamento superficial concentrado, sulcos e ravinamentos. Assim, embora as porções de cimeira apresentem relativa estabilidade, as vertentes tornam-se áreas críticas em termos de erosão e instabilidade.

As planícies enquadram-se na classe de muito baixa fragilidade, pois constituem áreas planas e de baixa energia de relevo, frequentemente associadas a ambientes fluviais e de sedimentação recente. Nessas unidades, a suscetibilidade à erosão em encostas é reduzida; entretanto, podem ocorrer inundações periódicas e alterações no regime hídrico decorrentes de intervenções antrópicas, o que demanda atenção em termos de planejamento territorial e conservação.

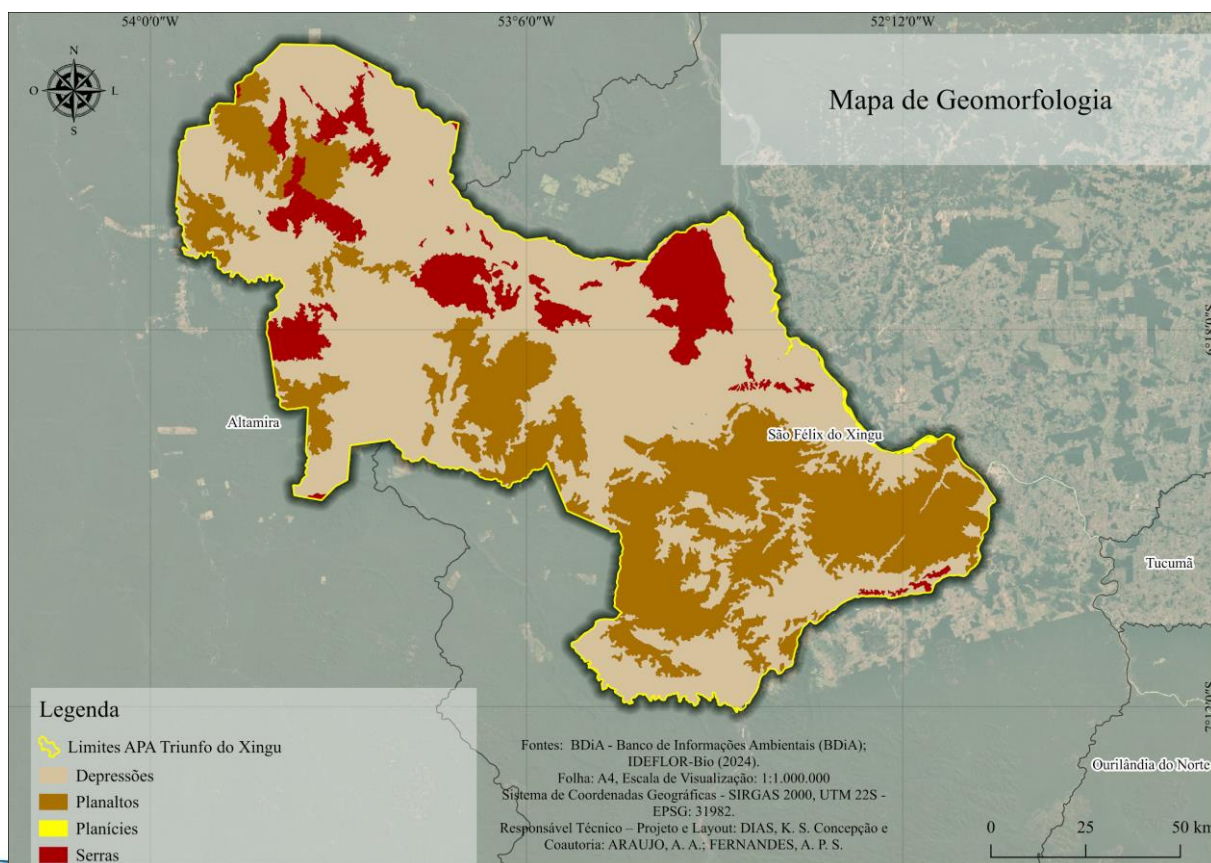


Figura 4 - Mapa de Geomorfologia da APA. Fonte: Banco de Informações Ambientais (BDIA/IBGE). Elaborado pelos Autores (2025).

Por fim, as serras representam as unidades de muito alta fragilidade, devido à combinação de altas declividades, solos rasos e intensa dissecação do relevo. A exposição contínua aos agentes intempéricos, associada ao desmatamento e à exploração econômica — como atividades agropecuárias e minerárias —, intensifica os processos erosivos e a instabilidade das encostas, tornando essas áreas as mais vulneráveis da APA Triunfo do Xingu.

De forma geral, a análise geomorfológica evidencia que as serras e planaltos constituem as porções mais frágeis do território, enquanto as planícies e depressões apresentam maior estabilidade relativa. Essa diferenciação é essencial para orientar ações de manejo ambiental e zoneamento ecológico-econômico, de modo a compatibilizar o uso do solo com a capacidade de suporte natural da paisagem.

Assim, a compartimentação geomorfológica (Tabela 2) constitui um dos principais fatores determinantes da fragilidade potencial da paisagem, pois condiciona a dinâmica dos processos erosivos, o escoamento superficial e a estabilidade das vertentes. Na APA Triunfo do Xingu, as unidades de relevo apresentam comportamentos distintos quanto à vulnerabilidade ambiental, sendo avaliadas conforme a classificação proposta por Ross (1994).

Tabela 2 - Compartimentação Geomorfológica da APA

Unidade Geomorfológica	Fragilidade	Classes Correspondentes
Depressões	Média	Classe 3
Planaltos	Alta	Classe 4
Planícies	Muito baixa	Classe 1
Serras	Muito alta	Classe 5

Fonte: Adaptado de Ross (1994).

Hidrografia e Proximidade de Drenagem

A hidrografia da APA Triunfo do Xingu, evidenciando a densa rede de drenagem que percorre a unidade de conservação. Essa hidrografia é de extrema relevância ecológica, pois desempenha papel fundamental no equilíbrio ambiental, no abastecimento hídrico e na manutenção da biodiversidade local.

O mapa da APA Triunfo do Xingu revela uma densa e intrincada rede de rios, igarapés e massas d'água que serpenteiam por toda a extensão da área protegida. A hidrografia é

dominada por uma vasta quantidade de pequenos e médios cursos d'água que se ramificam em diversas direções, formando um padrão dendrítico característico de regiões com relevo relativamente plano e alta pluviosidade. Esses afluentes menores são essenciais para a manutenção dos ecossistemas florestais, fornecendo água para a flora e fauna, além de servirem como corredores ecológicos.

O principal curso d'água que delimita parte da APA é o rio Xingu, que aparece em destaque na porção oriental do mapa. O rio Xingu é um dos mais importantes da região amazônica e atua como um eixo hidrográfico e ecológico fundamental para a APA, conectando-a com outras áreas de vegetação e corredores ecológicos. Além de servir como limite natural da unidade, o rio Xingu é responsável pela drenagem de uma vasta bacia hidrográfica que influencia diretamente o regime de chuvas, a dinâmica sedimentar e a qualidade ambiental da área.

Outro rio destacado na imagem é o rio Iriri, localizado na porção oeste da APA. O rio Iriri é um afluente importante do Xingu e atravessa áreas de difícil acesso, sendo essencial para a manutenção dos ecossistemas florestais e para o deslocamento de populações tradicionais. Assim como o Xingu, o rio Iriri possui trechos com águas claras, corredeiras e biodiversidade aquática significativa.



Figura 5 - Mapa de Corpos Hídricos. Fonte: Elaborado pelos Autores.

Fonte: Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2012). Elaborado pelos autores (2025).

Uso e Cobertura da Terra

A classificação supervisionada das imagens de satélite foi realizada utilizando o algoritmo Random Forest (RF), seguindo um procedimento sistemático. Para cada ano, foram selecionadas bandas espectrais e índices como NDVI, EVI, NDWI, MNDWI e NDBI, além das bandas SR_B1 a SR_B7. Amostras de diferentes classes de uso e cobertura do solo – como Formação Florestal, Floresta Alagada, Formação Savânica, Afloramento Rochoso, Pastagem, Agricultura, Área não Vegetada, Corpo d'Água – foram coletadas a partir das regiões de interesse (ROI) e divididas em conjuntos de treinamento (80%) e teste (20%).

O classificador RF foi treinado com 100 árvores de decisão, utilizando as amostras de treinamento e suas respectivas classes. Em seguida, as imagens anuais foram classificadas com base no modelo treinado. Os resultados, então obtidos, foram exportados e manipulados em Sistema de Informação Geográfica (SIG) Qgis 3.34.15, para o refinamento e a elaboração dos mapas temáticos (Figura 3). Esse procedimento assegura a consistência da classificação e permite a análise detalhada das mudanças na cobertura do solo ao longo do tempo.

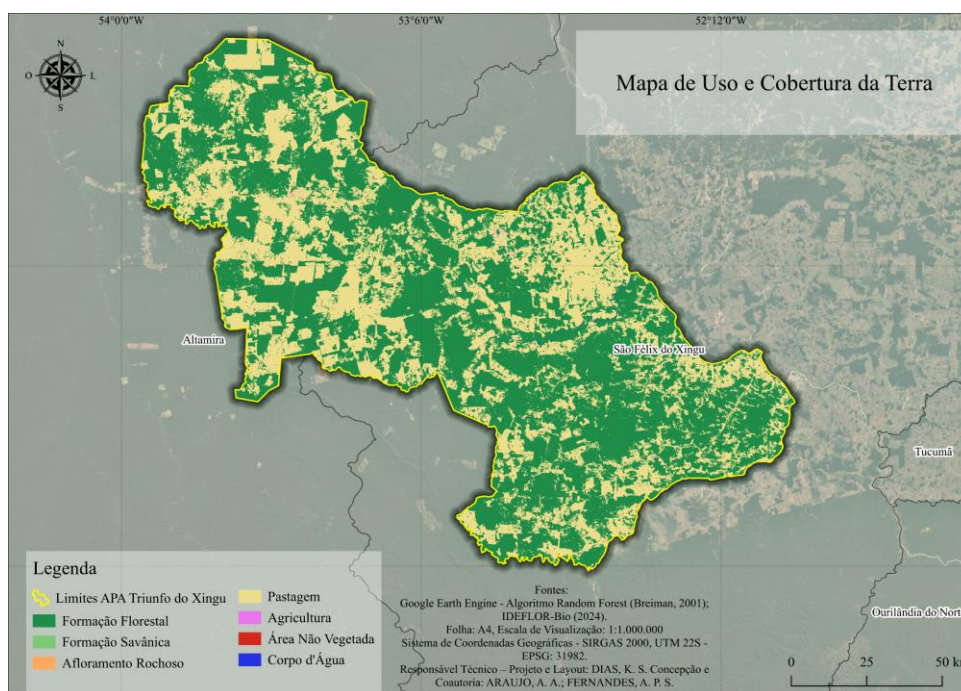


Figura 6 - Mapa de uso e cobertura da terra da APA. Fonte: Google Earth Engine - Algoritmo Random Forest (Breiman, 2001). Elaborado pelos autores (2025).

A análise do uso e cobertura da terra é um dos elementos fundamentais na avaliação da fragilidade ambiental emergente, conforme proposto por Ross (1994), pois reflete o grau de interferência antrópica sobre o meio físico-natural e a capacidade da paisagem de manter seu equilíbrio dinâmico. Na Área de Proteção Ambiental (APA) Triunfo do Xingu, as diferentes formas de uso do solo expressam contrastes marcantes entre áreas preservadas e intensamente transformadas, revelando distintos níveis de vulnerabilidade.



As formações florestais, savanícolas e florestas alagadas enquadram-se na Classe 1 (Muito Fraca fragilidade). Esses ambientes naturais mantêm alta cobertura vegetal e densa biomassa, que atuam na proteção do solo contra o impacto das chuvas, favorecendo a infiltração da água e reduzindo significativamente o escoamento superficial. Além disso, o enraizamento profundo e a diversidade estrutural da vegetação contribuem para a estabilidade das encostas e margens fluviais, desempenhando papel essencial na manutenção dos processos ecológicos da APA.

Tabela 3 - Compartimentação de Uso e Cobertura da Terra da APA

Classe	Classificação Ross(1994)	Classe Correspondente
Formação Florestal	Floresta e Mata	Classe 1 (muito fraca)
Formação Savânica	Floresta e Mata	Classe 1 (muito fraca)
Afloramento Rochoso	Não se aplica	Classe 1 (muito fraca)
Pastagem	Pastagem	Classe 2 (fraca)
Agricultura	Culturas de Ciclo Curto	Classe 4 (alta)
Área Não Vegetada	Áreas desmatadas, de queima e solo exposto	Classe 5 (muito alta)
Corpo d'Água	Não se aplica	Classe 1 (muito fraca)

Fonte: Adaptado de Ross (1994).

As áreas de pastagem, predominantes nas zonas de maior ocupação agropecuária, foram classificadas como Classe 2 (Fraca fragilidade). Embora apresentem cobertura vegetal, esta é substituída por gramíneas de raízes superficiais, o que implica menor proteção do solo e aumento da suscetibilidade à compactação e erosão superficial, sobretudo em relevos mais declivosos ou sob pisoteio intenso do gado.

As áreas destinadas à agricultura de ciclo curto correspondem à Classe 4 (Alta fragilidade). A substituição da vegetação natural por cultivos temporários, associada ao preparo intensivo do solo e à ausência de cobertura permanente, favorece processos erosivos, lixiviação de nutrientes e degradação física do solo. Nessas condições, a paisagem torna-se mais vulnerável, especialmente quando o manejo agrícola não incorpora práticas conservacionistas.

Por fim, as áreas de extração, desmatamento recente, queimadas e solo exposto representam a Classe 5 (Muito Alta fragilidade). São espaços de forte intervenção antrópica, onde a retirada completa da cobertura vegetal e o revolvimento do solo comprometem totalmente a capacidade de autorregulação do sistema natural, acelerando processos de erosão, assoreamento e perda de fertilidade. Na APA Triunfo do Xingu, tais áreas estão frequentemente

associadas a atividades madeireiras e minerárias, que exercem pressão direta sobre os ecossistemas e ampliam a degradação ambiental.

Em síntese, a análise do uso e cobertura do solo evidencia que as formações vegetais naturais da APA desempenham papel essencial na manutenção da estabilidade ambiental, enquanto as áreas antrópicas — especialmente agrícolas e de extração — representam os maiores focos de fragilidade emergente. Essa relação reforça a importância de políticas de recuperação de áreas degradadas, manejo sustentável e ordenamento territorial voltadas à conservação da integridade ecológica da unidade.

Fragilidade Emergente

A paisagem apresenta, por natureza, um grau intrínseco de fragilidade, resultante das interações dinâmicas entre os fatores internos e externos que moldam continuamente a superfície terrestre. Essa condição reflete a fragilidade ambiental potencial, ou seja, a suscetibilidade natural dos sistemas ambientais frente aos processos geomorfológicos e climáticos que atuam sobre eles.

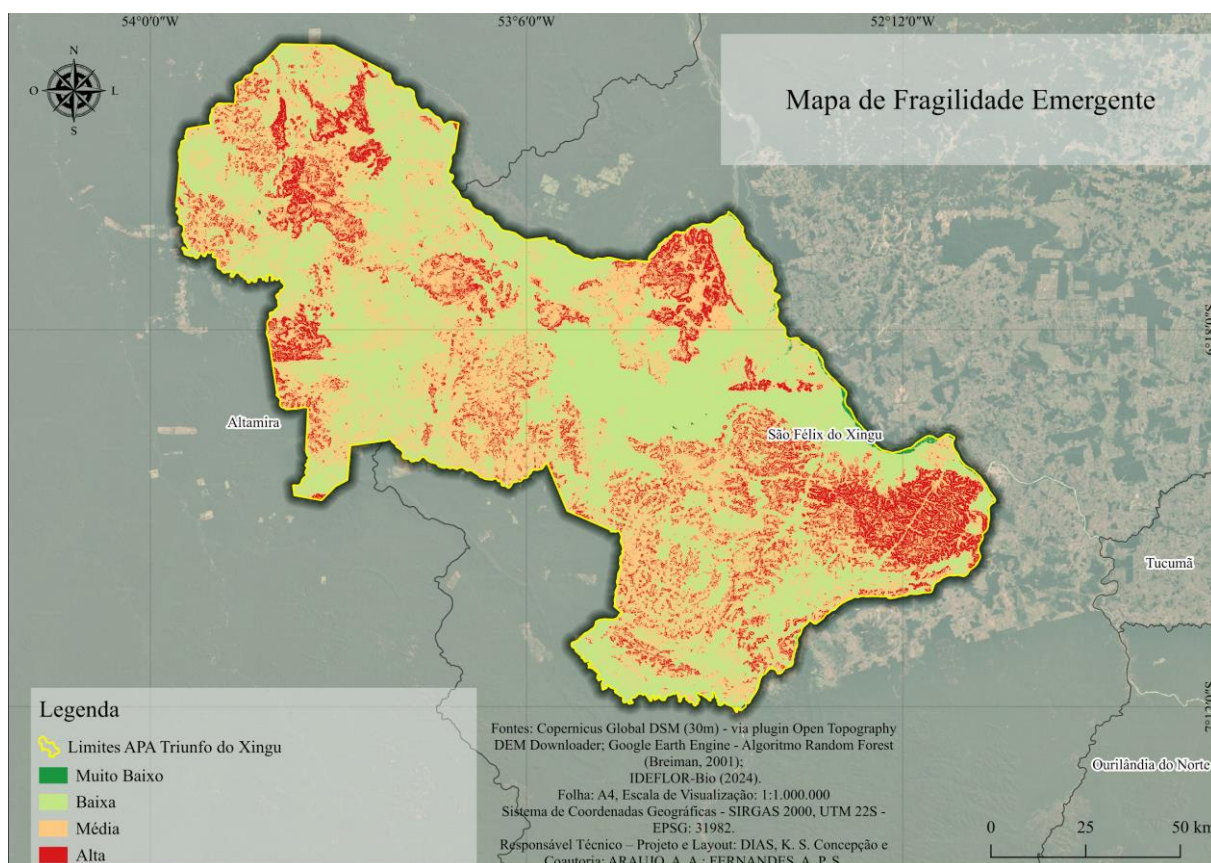


Figura 7 - Mapa de Fragilidade Emergente da APA.

Fonte: Copernicus Global DSM (30m) via plugin Open Topography DEM Downloader. Elaborado pelo autor (2025).



Embora tais ambientes tendam a manter um equilíbrio dinâmico entre os fluxos de energia e matéria, esse equilíbrio pode ser alterado quando há intervenções humanas que modificam o uso e a cobertura da terra, intensificando a vulnerabilidade do meio. Nesse contexto, surge o conceito de fragilidade ambiental emergente, que representa o resultado da interação entre a fragilidade natural e o grau de pressão antrópica sobre o território (Ross, 1990, 1994).

Na APA Triunfo do Xingu, essa relação é especialmente evidente. As áreas de maior declividade, associadas a solos pouco desenvolvidos e à remoção da vegetação nativa para atividades agropecuárias, demonstram níveis elevados de fragilidade emergente. A expansão das pastagens, o desmatamento e a ocupação desordenada contribuem para ampliar a instabilidade dos sistemas naturais, acelerando processos erosivos e a perda de biodiversidade. Assim, compreender a fragilidade emergente nessa unidade de conservação é essencial para orientar ações de planejamento e gestão ambiental, visando à compatibilização entre uso sustentável e conservação dos recursos naturais.

Fragilidade Potencial

Os limites entre os espaços naturais não são fixos nem geometricamente definidos, mas caracterizam-se por zonas de transição que refletem a interdependência entre os componentes da paisagem. Nesse sentido, o mapa de fragilidade ambiental potencial resulta da integração das variáveis declividade, solos, geomorfologia, corpos hídricos e uso e cobertura da terra, refletindo o comportamento natural do meio diante de processos morfodinâmicos.

De acordo com Ross (1994), compreender a gênese e a dinâmica das formas de relevo requer a análise integrada dos fatores físicos e bióticos que constituem cada unidade de paisagem. Assim, a fragilidade potencial (Figura 8) expressa o nível de estabilidade natural dos sistemas ambientais, considerando sua capacidade de resistir às forças erosivas e às transformações induzidas pela dinâmica da superfície terrestre.

Na APA Triunfo do Xingu, a distribuição espacial dessa fragilidade revela contrastes significativos. As áreas de relevo suave, com declividades inferiores a 6%, concentram-se predominantemente nas porções centro-sul e sudeste da unidade, sendo classificadas como de muito baixa a baixa fragilidade — zonas mais estáveis, associadas à presença de planícies e tabuleiros sedimentares. Em contrapartida, as regiões com declividades superiores a 30%, especialmente nas bordas oeste e noroeste, apresentam alta a muito alta fragilidade, refletindo maior suscetibilidade a processos erosivos e instabilidade geomorfológica.

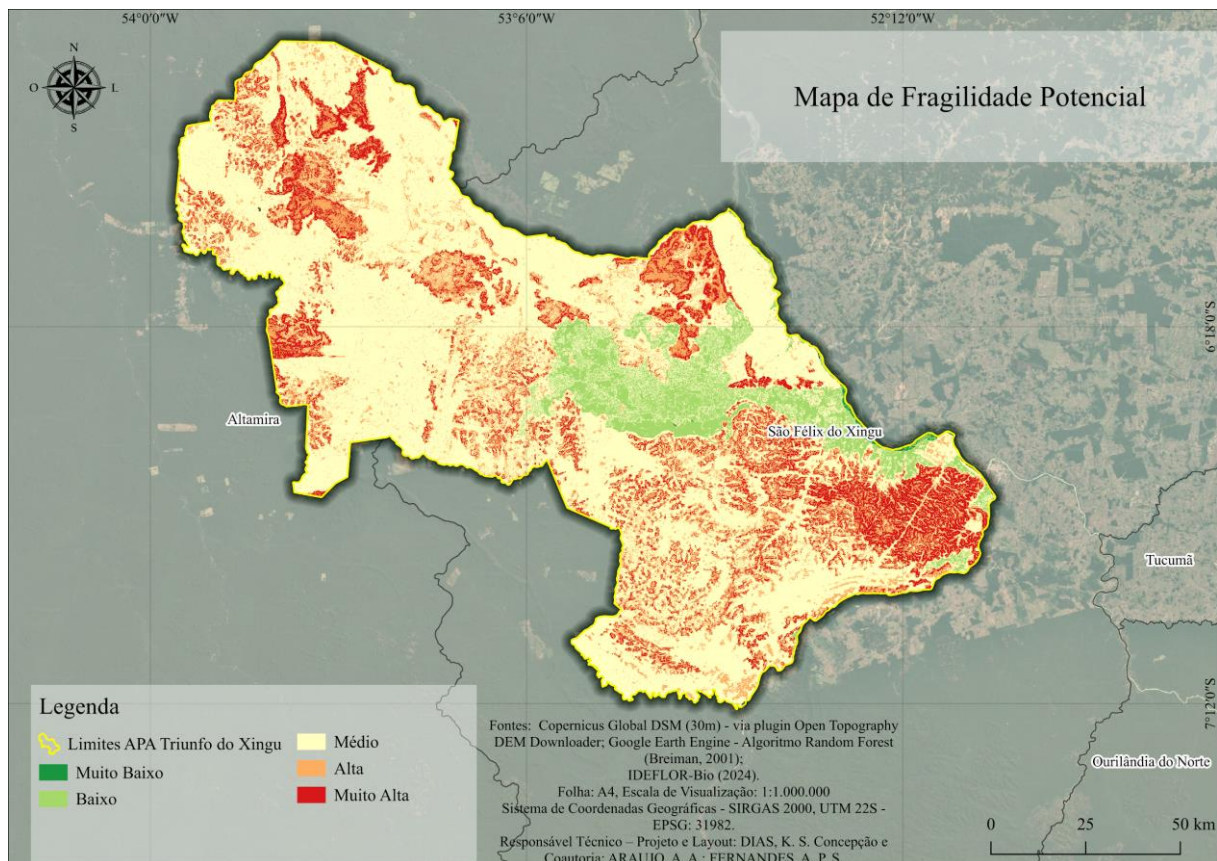


Figura 8 - Mapa de Fragilidade Potencial da APA.

Fonte: Copernicus Global DSM (30m) via plugin Open Topography DEM Downloader. Elaborado pelos autores (2025).

Os corpos hídricos exercem papel fundamental nesse contexto. A densa rede de drenagem, composta por rios, igarapés e cursos d'água de diferentes ordens, contribui para o escoamento superficial, a dissecação do relevo e a redistribuição de sedimentos, influenciando diretamente o grau de fragilidade das vertentes. Destacam-se os rios Xingu e Iriri, que, além de delimitarem parte da unidade de conservação, funcionam como eixos estruturantes da paisagem, fundamentais para o equilíbrio ecológico e a conectividade entre os ecossistemas florestais.

Desse modo, o mapa de fragilidade ambiental potencial sintetiza as condições naturais de estabilidade e vulnerabilidade do território da APA Triunfo do Xingu, servindo como base para a identificação das áreas mais propensas à degradação ambiental e para o planejamento territorial sustentável.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A análise da fragilidade ambiental da APA Triunfo do Xingu revela um cenário de marcantes contrastes e significativa pressão antrópica. Os resultados demonstram que aproximadamente 60% do território apresenta fragilidade ambiental alta ou muito alta, com



destaque para as regiões centro-leste e sudoeste, onde se concentram a expansão da fronteira agropecuária, a mineração e as ocupações irregulares. Essas áreas são as mais susceptíveis à degradação, com reflexos diretos na perda de biodiversidade, no comprometimento dos recursos hídricos e na desestabilização dos sistemas ecológicos.

Em contrapartida, blocos significativos de floresta preservada, localizados especialmente no noroeste, sul e porções do sudeste, mantêm-se como áreas de baixa ou muito baixa fragilidade. Esses espaços são fundamentais para a manutenção da conectividade ecológica, a conservação da biodiversidade e a prestação de serviços ambientais, representando oportunidades estratégicas para iniciativas de conservação e manejo sustentável.

A sobreposição entre a fragilidade potencial e o uso atual da terra evidencia como a ação humana tem intensificado a vulnerabilidade natural, especialmente em áreas de relevo acidentado e solos frágeis. A presença de pastagens, agricultura de ciclo curto e áreas com solo exposto amplifica os riscos de erosão, assoreamento e alterações hidrológicas, comprometendo a resiliência da paisagem.

Diante desse contexto, torna-se urgente a implementação de políticas públicas e instrumentos de gestão territorial que promovam a recuperação de áreas degradadas, o ordenamento das atividades produtivas e o fortalecimento da governança participativa. A conservação dos remanescentes florestais e a restauração ecológica em zonas críticas são essenciais para reverter o atual quadro de fragilidade e assegurar a sustentabilidade socioambiental da APA Triunfo do Xingu.

Por fim, este estudo reforça a importância de abordagens integradas para o planejamento ambiental em unidades de conservação de uso sustentável, especialmente em regiões sob intensa pressão antrópica, como a Amazônia Legal. A articulação entre conhecimento técnico, participação social e ação institucional é fundamental para conciliar conservação e desenvolvimento, garantindo a perpetuidade dos recursos naturais e a qualidade de vida das populações locais.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, Alan Nunes. **Análise integrada da bacia hidrográfica do rio Araguari - AP: subsídios ao planejamento ambiental**. 2019. Tese (Doutorado em Geografia) – Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2019.
- ARAÚJO, Alan Nunes; PRATES, Wanessa Pinheiro. Modelagem matemático-espacial na identificação de fragilidades ambientais da microbacia do rio Jarucu, município de Brasil Novo - PA. **Interespaço**, Grajaú, v. 4, n. 12, p. 207-226, 2018.
- BERTALANFFY, L. V. **Teoria Geral dos Sistemas: fundamentos, desenvolvimento e aplicação**. Petrópolis: Vozes, 1975.



- CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S.; AZEVEDO, L. G.; HERNANDEZ FILHO, P.; FLORENZANO, T. G.; DUARTE, V. **Curso de sensoriamento remoto aplicado ao zoneamento ecológico-econômico**. São José dos Campos: INPE, 2001.
- DIEGUES, A. C. **O mito moderno da natureza intocada: a ideologia da preservação e a população tradicional da Amazônia**. São Paulo: HUCITEC, 1999.
- FERNANDES, A.P.S. *et al.* ANÁLISE DO USO E COBERTURA DO SOLO NA APA TRIUNFO DO XINGU – PA. **Revista Contemporânea**, v. 3, n. 12, 2023. ISSN 2447-0961.
- FEARNSIDE, P. M. (2023). Grilagem de terras na Amazônia brasileira: introdução à série.
- FRANCO, G. B.; BETIM, L. S.; MARQUES, E. A. G.; GOMES, R. L.; CHAGAS, C. S. Relação qualidade da água e fragilidade ambiental da Bacia do Rio Almada, Bahia. **Brazilian Journal of Geology**, v. 43, n. 1, p. 114–127, 2013.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Rebanho bovino municipal 2023**. Rio de Janeiro: IBGE, 2024. Disponível em: </https://www.ibge.gov.br/> Acesso em: 22 set. 2025.
- INSTITUTO CHICO MENDES DE CONSERVAÇÃO DA BIODIVERSIDADE – ICMBIO. **Relatório de monitoramento das unidades de conservação federais na Amazônia**. Brasília: ICMBIO, 2015. Disponível em: </https://www.icmbio.gov.br/> Acesso em: 20 set. 2025.
- INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL E DA BIODIVERSIDADE – IDEFLOR-BIO. **Plano de gestão da APA Triunfo do Xingu**. Belém: IDEFLOR-BIO, 2024.
- INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS – INPE. **Projeto PRODES Amazônia: monitoramento do desmatamento**. São José dos Campos: INPE, 2024. Disponível em: </http://www.obt.inpe.br/prodes/>. Acesso em: 20 set. 2025.
- INSTITUTO SOCIOAMBIENTAL – ISA. **Mosaico Terra do Meio: gestão e desafios socioambientais**. São Paulo: ISA, 2013. Disponível em: </https://www.socioambiental.org/>. Acesso em: 20 set. 2025.
- MAPBIOMAS. Coleção 9: **monitoramento anual de cobertura e uso do solo no Brasil**. São Paulo: MapBiomas, 2025. Disponível em: </https://mapbiomas.org/>. Acesso em: 20 set. 2025.
- NEPSTAD, D.; STICKLER, C.; SOARES-FILHO, B.; SILVA, U. Interactions among Amazon land-use, forests and climate: prospects for a near-term forest tipping point. **Philosophical Transactions of the Royal Society B**, v. 363, n. 1498, p. 1737–1746, 2006.
- PIROVANI, D. B. *et al.* Análise espacial de fragmentos florestais na bacia do rio Itapemirim, ES. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 38, n. 2, p. 271-281, 2014.
- PORTO-GONÇALVES, Carlos Walter. **A reinvenção dos territórios: a experiência latino-americana e caribenha**. Buenos Aires: CLACSO, 2006. Disponível em: </https://biblioteca.clacso.edu.ar/clacso/gt/20101019090853/6Goncalves.pdf/>. Acesso em: 17 set. 2025.
- ROSS, J. L. S. Análise empírica da fragilidade dos ambientes naturais e antropizados. **Revista do Departamento de Geografia**, n. 8, p. 63-74, 1994.
- SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE – SEMAS. **Relatório de fiscalização ambiental e dados agropecuários do Pará**. Belém: SEMAS, 2024.
- SPÖRL, C.; ROSS, J. L. S. (2004). Análise empírica da fragilidade ambiental do município de São Sebastião (SP). **Revista do Departamento de Geografia**, n. 16, p. 107–119. São Paulo: FFLCH/USP.
- TRICART, J. **Ecodinâmica**. Rio de Janeiro: IBGE/SUPREN, 1977.
- TURNER, M. G. (1989). **Landscape ecology: the effect of pattern on process**. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 20, 171–197.