



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E INOVAÇÕES
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

**Distribuição espacial de áreas desmatadas no Território Indígena Andirá-
Marau e entorno.**

Laynara Oliveira de Sá

Monografia apresentada ao curso de
Introdução ao Geoprocessamento – SER
300, como requisito parcial à aprovação no
curso, sob orientação da Dr. Silvana Amaral
e Dr. Marcos Adami.

INPE
São José dos Campos
2024

RESUMO

O Território Indígena Andirá-Marau encontra-se em uma região sujeita a intensa especulação fundiária e exploração madeireira, resultando em pressão significativa **sobre seus limites por parte dos municípios vizinhos**. Para monitorar **o impacto ambiental** e alertar sobre as áreas desmatadas em todo o Brasil, o PRODES desempenha um papel fundamental como o principal indicador de desmatamento do país. Com o objetivo de quantificar áreas desmatadas no **território indígena** e áreas circundantes, incluindo unidades de conservação, municípios vizinhos e zonas de amortecimento, utilizamos dados de monitoramento do PRODES Amazônia no período de 2008 a 2023. A análise dos dados foi realizada de maneira simples, porém eficaz, por meio de ferramentas de geoprocessamento, como a interseção e a criação de mapas de calor utilizando o estimador Kernel, para examinar a distribuição espacial das áreas desmatadas na região de interesse. Observou-se um padrão espacial no desmatamento ao longo do período analisado. Entre 2020 e 2023, houve uma intensificação significativa das áreas desmatadas, especialmente na região do município de Itaituba, adjacente ao Parque Nacional da Amazônia. Este parque desempenha um papel crucial na proteção dos limites do Território Indígena, demonstrando sua importância como uma barreira contra a expansão do desmatamento.

Palavras-chave: desmatamento; distribuição espacial; mapas de calor; interseção, terras indígenas

LISTA DE SIGLAS

- FUNAI - Fundação Nacional dos Povos Índigenas
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- SIG - Sistema de Informação Geográfica
- UCs - Unidades de Conservação
- TI - Território Indígena
- PRODES - Projeto de Monitoramento do Desmatamento na
Amazônia Legal por Satélite

1. INTRODUÇÃO

De acordo com dados do Censo 2022 disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Estatística (IBGE) o Brasil tem 1.693.535 (Um milhão, seiscentos e noventa e três mil, quinhentos e trinta e cinco) pessoas indígenas, o que representa cerca de 0,83 % do total da população brasileira. Sendo mais de 50% delas concentradas na Amazônia Legal, região formada pelos estados do Norte, Mato Grosso e parte do Maranhão (Governo do Brasil, 2023). O IBGE (2023) publicou dados sobre a população indígena, dentre as mais populadas está a Terra Indígena Andirá-Marau, como a quinta mais povoada do país.

De acordo com Norato (2021), as Terras Indígenas Amazônicas são o lar da maior concentração de povos indígenas do mundo e atualmente representam um caso preocupante de um sistema humano-ambiental vulnerável devido às ameaças ambientais que têm sofrido. Essas ameaças ambientais são definidas como os processos ou atividades degradantes que contribuem para a degradação ambiental e reduzem a integridade ambiental de uma região específica.

Os territórios indígenas abrigam uma riqueza cultural e ambiental incomparável, sendo considerados verdadeiros patrimônios da humanidade. Essas áreas são muitas vezes as últimas fronteiras de conservação em regiões de alta pressão ambiental, como a Amazônia, desempenhando um papel crucial na preservação da biodiversidade e na regulação do clima global.

As comunidades indígenas dependem diretamente dos recursos naturais presentes em seus territórios para sua subsistência e práticas culturais. Portanto, qualquer atividade que ameace a integridade dessas áreas coloca em risco não apenas o meio ambiente, mas também a própria sobrevivência física, cultural e espiritual dessas populações.

O monitoramento territorial das terras indígenas visa a sua proteção, com ênfase na garantia do usufruto exclusivo que o artigo 231 da Constituição Federal concede aos povos indígenas. As ações de monitoramento territorial podem ser de controle, tais como fiscalização; ou de prevenção, tais como capacitação, monitoramento de focos de calor e planos de proteção. Essas ações são subsidiadas por informações obtidas por meio de diagnósticos in loco e de técnicas de sensoriamento remoto (FUNAI, 2020).

Hoje no Brasil, podemos contar com dados do PRODES (Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite), que visa um monitoramento contínuo do desmatamento raso com base em dados precisos e confiáveis (ASSIS et al., 2019).

Com robustas ferramentas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, a análise espacial se torna uma peça fundamental para o monitoramento de áreas vulneráveis e sensíveis a externalidades negativas. Essa abordagem permite uma compreensão mais profunda dos padrões de desmatamento, possibilitando a tomada de medidas eficazes de conservação, proteção ambiental e análises de comportamento do entorno das áreas mais sensibilizadas.

1.1 Objetivo

Analisar a proporção das áreas desmatadas utilizando geotecnologias no território da Terra Indígena Andirá-Marau e em suas adjacências.

1.1.1 Objetivos específicos

- **Quantificar o desmatamento**, tanto em número de polígonos quanto em área total em hectares, dentro da Terra Indígena e no entorno da sua delimitação oficial, abrangendo a zona de amortecimento, os limites municipais e as unidades de conservação adjacentes;
- **Elaborar mapas de calor para avaliar a intensidade dos polígonos de áreas desmatadas.**
- **Estabelecer um buffer de 10 km** para **representar** a zona de amortecimento na Terra Indígena.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

A definição da área de estudo foi realizada com base na escolha da Terra Indígena Andirá-Marau, que se encontra na fronteira entre dois grandes estados da Amazônia Legal: Pará e Amazonas. De acordo com dados oficiais da FUNAI, a Terra Indígena Andirá-Marau está regularizada e tradicionalmente ocupada, possuindo registro em cartório em nome da União e no Serviço de Patrimônio da União. A área total é de aproximadamente 789 mil

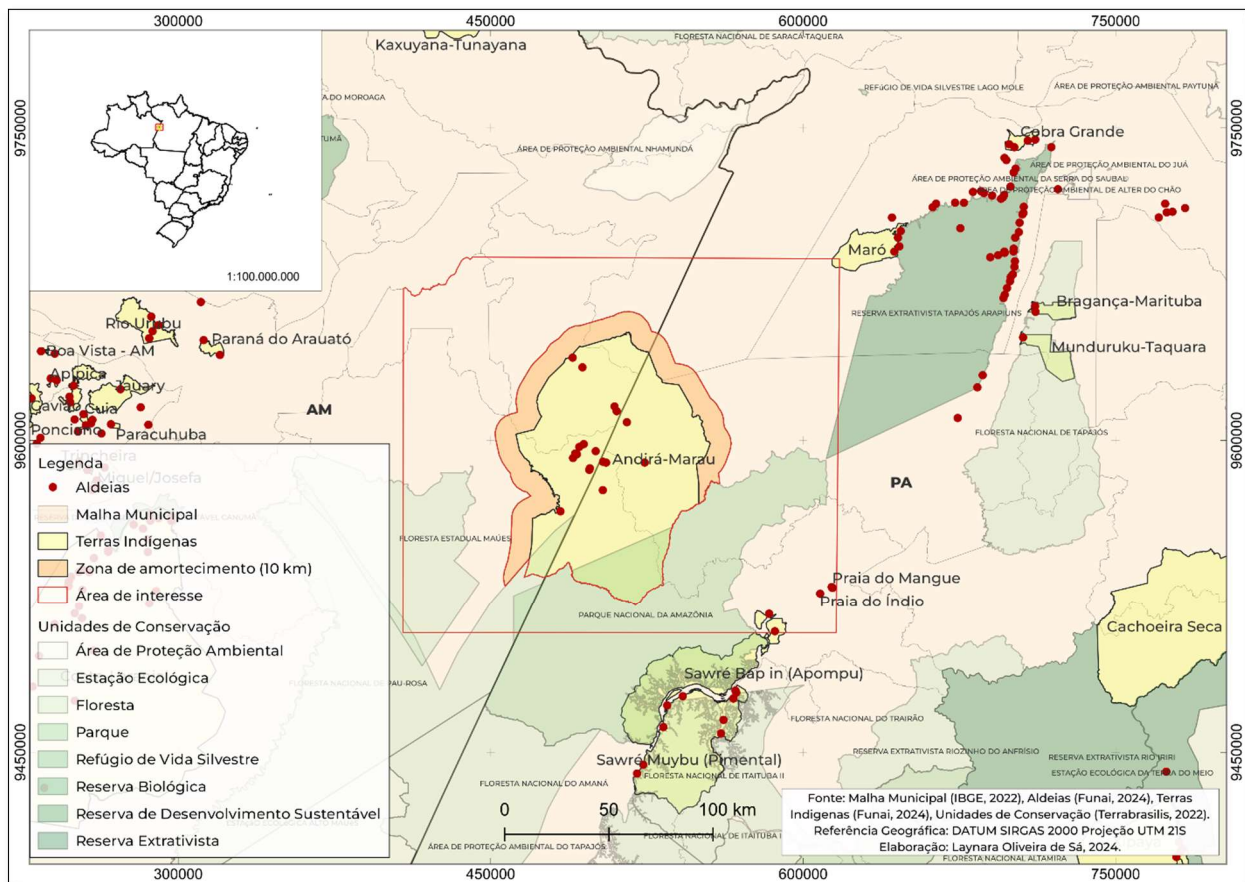
hectares, abrangendo territórios fronteiriços aos municípios de Barreirinha (AM), Maués (AM), Parintins (AM), Aveiro (PA) e Itaituba (PA).

Segundo o IBGE (2022), a população de Andirá-Marau é estimada em 14.455 habitantes, pertencentes à etnia Sataré-Maué. O território abriga dezenove aldeias: Campo do Miriti, Guaranatuba, Livramento 1, Livramento 2, Molongotuba, Nossa Senhora de Nazaré, Nova Aldeia, Novo Remanso, Novo Unido, Novo União, Ponta Alegre, Santa Maria, Santo Anjo, Santo Antônio, Simão, São Bonifácio, Torrado, Vila Nova, Vista Alegre.

O bioma correspondente é a Amazônia, com a Bacia do Madeira abrangendo 100% do território, e a fitofisionomia predominante é a Floresta Ombrófila Densa. Em seu entorno, encontram-se três unidades de conservação: a Floresta Nacional Pau-Rosa (federal), o Parque Nacional da Amazônia (federal) e a Floresta Estadual de Maués (estadual).

Na Figura 1 temos a identificação do território com a delimitação da área de estudo, assim como **das as áreas** do entorno.

Figura 1 - Área de estudo.



Fonte: **Autoria própria.**

A área de interesse está destacada com um contorno em vermelho, incluindo em laranja claro que representa a zona de amortecimento de 10 km. Além disso, o mapa mostra a distribuição das aldeias indígenas (~~marcadas com~~ pontos vermelhos), a malha municipal, e Unidades de Conservação (UCs), incluindo florestas, parques, reservas biológicas e áreas de proteção ambiental.

O mapa ilustra também a sobreposição entre as áreas de proteção ambiental e as terras indígenas, destacando a complexidade e a importância da gestão territorial nesta região.

2.2 Materiais

Na Tabela 1 são apresentadas as informações sobre a base de dados utilizada para a produção dos resultados.

Tabela 1- Base de dados utilizada.

Dados	Fonte	Ano	Tipo
Aldeias	FUNAI	2024	Vetorial (pontos)
Área desmatada	PRODES/INPE	2023	Vetorial (polígonos)
Buffer 10 km	Própria	2024	Vetorial (polígono)
Hidrografia (Máscara para o Bioma Amazônia)	Terrabrasilis	2022	Vetorial (polígonos)
Limites - Terras Indígenas	FUNAI	2024	Vetorial (polígonos)
Limites Unidades de Conservação	Terrabrasilis	2022	Vetorial (polígonos)
Malha Municipal e Estadual	IBGE	2022	Vetorial (polígonos)

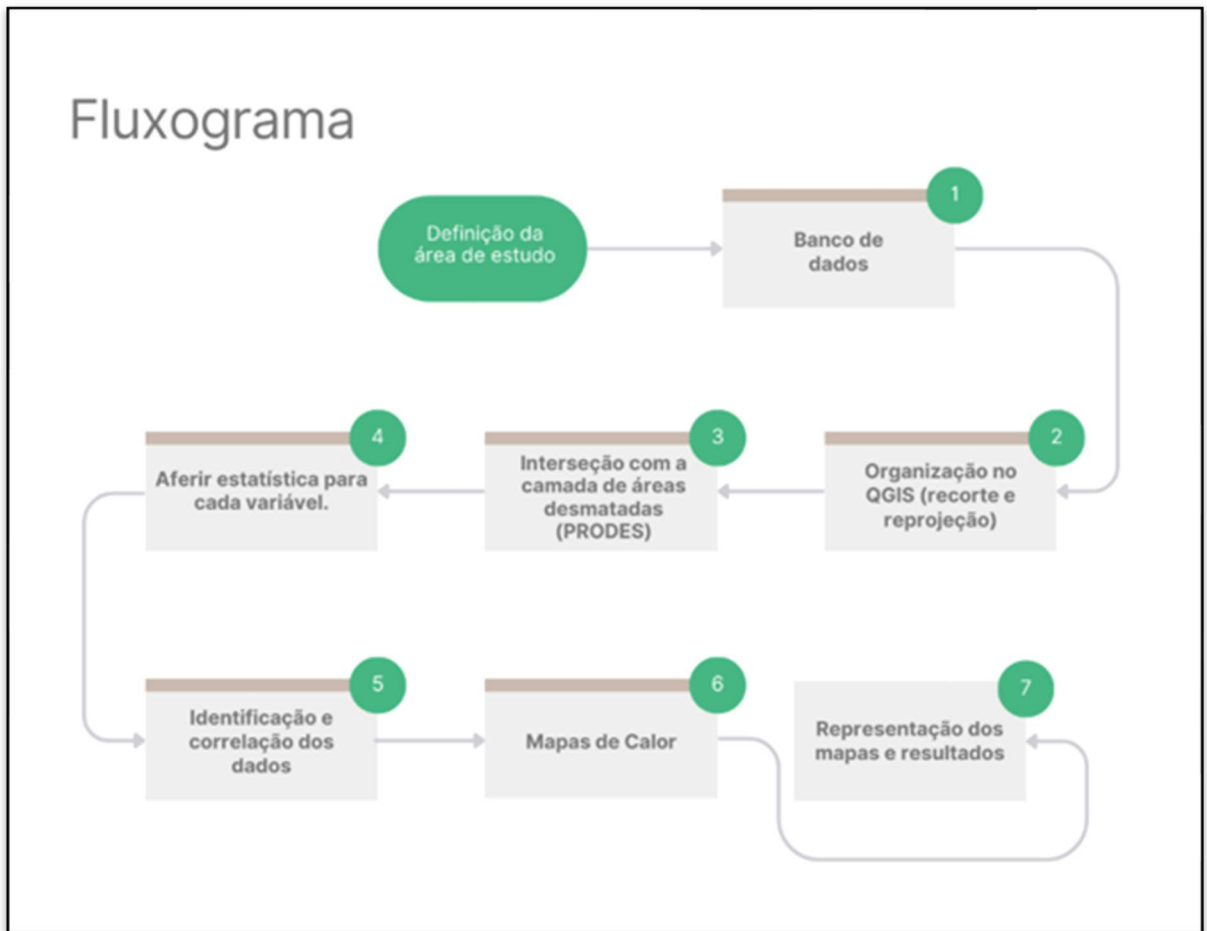
Fonte: Autoria própria.

2.3 Métodos

A primeira etapa envolve a delimitação da área de interesse nos territórios circundantes ao Território Indígena (TI) Andirá-Marau, utilizando dados obtidos de fontes oficiais. A partir da demarcação do limite do território indígena e do uso da ferramenta de buffer disponível no ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG), foi elaborada uma Zona de Amortecimento com uma distância de 10 km.

A Figura 2 ilustra um fluxograma geral das etapas ~~a serem~~ realizadas.

Figura 2- Fluxograma dos procedimentos metodológicos.



Fonte: Autoria própria.

Após a aquisição dos dados primários, procedeu-se ao recorte dos vetores para a área de interesse, levando em consideração cada variável em estudo. Devido à maioria dos dados estar em grande escala territorial e **apresentar projeções cartográficas**, foi necessário realizar a reprojeção desses dados para o DATUM SIRGAS 2000 e a Projeção Geográfica **21S**, adequadas à área de interesse.

Os dados primários foram selecionados para caracterizar a região e fornecer informações provenientes do monitoramento de áreas desmatadas. Na Tabela 2, são detalhadas as necessidades correspondentes a cada dado coletado e elaborado.

Tabela 2 -Motivação da utilização dos dados para a caracterização das áreas desmatadas.

Base de dados	Justificativa da utilização
Aldeias	Pontuação das localidades de aldeias ontem a população indígena se concentra. Podendo aferir se o desmatamento ocorre próximo a essas áreas.
Área desmatada	Dados oficiais de desmatamento no Brasil são provenientes de dados PRODES, adquiridos de forma Incremento anual no desmatamento (2008 – 2023). Os polígonos são vetorizados quando ocorre a supressão da vegetal (corte raso).
Buffer 10 km	O buffer caracteriza a área de amortecimento. Importante para aferir a dinâmica de áreas desmatadas no entorno e sinalizar proximidade em áreas que devem ser protegidas.
Limites TI Andirá-Marau, Malha Municipal e Limite de Unidades de Conservação	Dados para caracterização da área de interesse e interseção com áreas desmatadas.

Fonte: Autoria própria.

2.3.1 Interseção de áreas desmatadas

Será utilizado a ferramenta de interseção em software de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), sendo fundamental para análises espaciais simplificadas ou detalhadas. A interseção permitirá identificar e extrair a sobreposição entre diferentes camadas de dados espaciais. A ferramenta pode extrair apenas as partes das camadas que se sobrepõem, eliminando as áreas que não têm interseção. Nesse estudo sendo útil para focar apenas na região de interesse.

Após o recorte para a área de interesse e aquisição dos dados PRODES para representar o conjunto de áreas será utilizado a ferramenta de interseção para extrair as informações, cruzando com os dados de:

1. Limite do Território Indígena Andirá-Marau;
2. Limite de Unidades de Conservação (área de interesse);
3. Limites Malha Municipal (área de interesse, desconsiderando as sobreposições com os demais vetores adjacentes);
4. Limite com a Zona de amortecimento (buffer de 10 km);

Com o cruzamento desses dados será possível aferir a distribuição e quantificação das áreas desmatadas. Será utilizado ferramentas de estatística básica do SIG para obter os seguintes dados:

- Somatória por hectares de cada variável;
- Somatória dos polígonos divididas para cada variável;
- Média, máxima e mínima do tamanho dos polígonos para cada variável; e
- Porcentagem de áreas desmatadas em relação ao total das áreas compreendida.

Com a disponibilização desses dados, será elaborado um mapa para representar espacialmente a localização dos polígonos intersectados, além de permitir uma comparação visual com todas as variáveis envolvidas.

Os dados estatísticos serão organizados em planilhas, facilitando a análise e discussão de seus resultados posteriormente.

2.3.1.1 Distribuição espacial das áreas desmatadas - Estimador de densidade de “Kernel” (Mapa de calor)

Para melhor compreensão das espacialidades dos dados, após a realização das interseções, **será realizado** o processamento de obtenção de centroides para cada polígono de área desmatada. Este algoritmo cria uma nova camada de ponto, com pontos que representam o centroide das geometrias em uma camada de entrada.

Os atributos associados a cada ponto na camada de saída são os mesmos **associadas as** feições de origem. Essa etapa é necessária para a utilização da ferramenta de Mapa de calor (também conhecida como Estimador de Kernel ou Estimador de densidade).

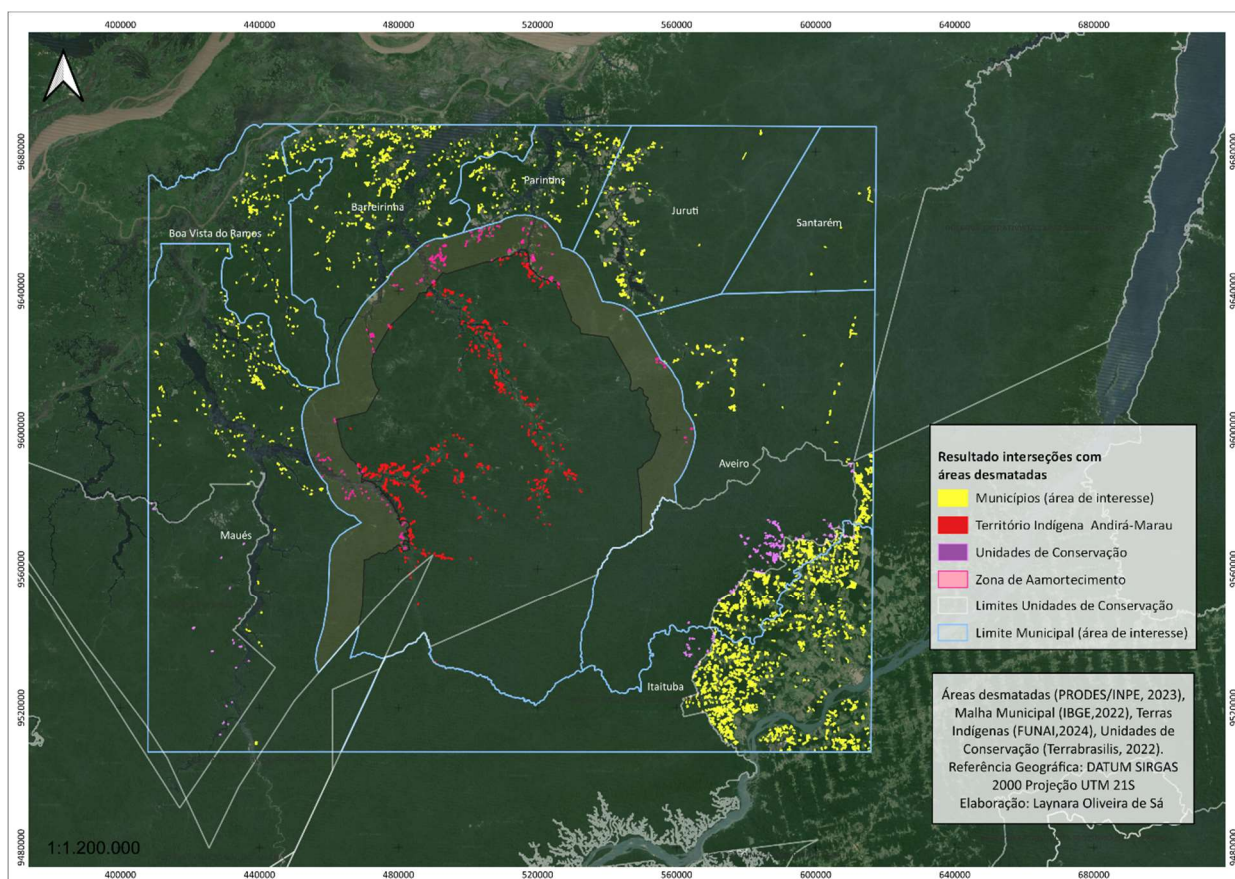
Uma alternativa simples para analisar o comportamento de padrões de pontos **é a** estimar a intensidade pontual do processo em toda a região de estudo. Esta função realiza uma contagem de todos os pontos dentro de uma região de influência, ponderando-os pela distância de cada um à localização de interesse (CÂMARA et. al, 2004). No caso deste estudo **será aplicada** para toda a região de interesse que contemple áreas desmatadas provenientes dos dados do PRODES.

3. RESULTADOS

3.1 Interseção dos dados de áreas desmatadas com as variáveis escolhidas

Na Figura 3, está o produto cartográfico gerado a partir da interseção dos polígonos de área desmatada com os limites estabelecidos para a área de estudo. Após o processamento das interseções com áreas desmatadas realizado para cada limite individualmente, foi gerado um mapa para ilustrar de modo especializado os resultados obtidos.

Figura 3 - Mapa com resultado das interseções com áreas desmatadas.



Fonte: Elaboração própria.

É possível notar que os municípios apresentam maior ocorrência de áreas desmatadas, com destaque para o município de Itaituba, localizado no estado do Pará.

Em menor escala, o desmatamento ocorre nas Unidades de Conservação, que demonstram funcionar como uma barreira protetiva para o território indígena.

As alterações observadas dentro da TI destacam um comportamento de desmatamento próximo aos cursos d'água da região.

A Tabela 3 apresenta os dados estatísticos obtidos a partir das interseções realizadas.

Tabela 3 - Descrição de áreas desmatadas por localidade.

Localidade	Área em ha desmatada (PRODES 2023)	Número total de polígonos	Média da área em ha dos polígonos	Área mínimo em ha dos polígonos	Área máximos dos polígonos
TI Andirá-Marau	5.217,76	865	6,7	1,072	28,08
Zona de Amortecimento	1.672,88	261	6,4	0,0016	42,83
Unidades de Conservação	1.602,43	206	7,77	0,0017	28,79
Municípios (área de interesse)	33.057,01	3.417	7,68	0,345	200.49

Fonte: Própria

A **tabela fornecida** apresenta dados de desmatamento para os anos de 2008 até 2023 em diferentes tipos de localidades, incluindo TI de interesse, Zona de Amortecimento, Unidades de Conservação e Municípios adjacentes com dados adquiridos apenas para a interesse de interesse.

A soma das áreas desmatadas de todas as localidades é de 41.550,08 hectares. A porcentagem de área desmatada na TI Andirá-Marau é de aproximadamente 12, 56% em relação a área de interesse total. O Território Indígena apresenta uma média de desmatamento por polígono relativamente uniforme, com uma **área mínima e máxima mais estreita**, provenientes de um total de 865 polígonos.

Já a **Zona de amortecimento** mostra uma grande variação na área dos polígonos de desmatamento, indicando desmatamentos muito pequenos e alguns significativamente maiores, apesar de possuir apenas 261 polígonos para o período de estudo (2008 até 2023).

Para as localidade de Municípios e as Unidades de Conservação foram obtidas duas tabelas distintas para caracterizar com maior particularidade seus atributos. A Tabela 4 mostra a distribuição geográfica das informações obtidas por município.

Tabela 4 - Áreas desmatadas por município.

UF	Área (ha) desmatada	Municípios	Área (ha) desmatada	Número total de polígonos	Média da área em ha dos polígonos	Área mínimo em ha dos polígonos	Área em ha máximo dos polígonos
AM	8.459,91	Barreirinhas	4.296,98	523	8,2	0,00074	54,38
		Boa Vista do Ramos	1.206,08	196	6,18	0,0003	29,89
		Maués	1.853,27	242	6,98	0,0021	34,04
		Parintins	1.260,02	185	6,88	0,0019	29,68
PA	23.002,08	Aveiro	6.869,83	684	10,02	0,0043	200,48
		Itaituba	14.225,87	1.397	10,19	0,001	176,01
		Juruti	1.696,83	163	10,89	0,0001	150,57
		Santarém	130,88	28	4,67	0,0016	19,12

Fonte: Autoria própria.

No estado do Amazonas, observa-se uma distribuição das áreas desmatadas em todos os municípios, com uma variação significativa evidenciada principalmente em Barreirinhas, localizado no norte do estado e adjacente a Boa Vista do Ramos, onde foi registrado um menor **impacto** de áreas desmatadas em hectares.

Tratando-se de polígonos, Barreirinhas **também possui maior impacto** e maior área máxima de polígono. Com **menor comportamento** está o município de Parintins, apesar de ser de acordo com o IBGE (2022), o **quarto município mais populoso do estado do Amazonas**, o comportamento pode ser explicado devido ao recorte para a área de interesse, englobando uma área menor sobre a área total do município.

O **estado do Pará contempla** o maior índice de área desmatada entre os **dois presentes**, comportamento que pode ser explicado devido ao recorte da área de interesse. O município que apresentou maior área desmatada foi Itaituba com 61,88% do total de área desmatada dentre os municípios observados do estado Pará. Porém, em maior área de polígono, se destaca o município Aveiro, com máxima de 200, 48 ha em uma única feição.

O município de Santarém não demonstrou taxas significativas, **vista** que o recorte da área de interesse contemplou uma porção menor da área total .

Na Tabela 5 constam as Unidades de Conservação observadas e suas áreas em hectares descritas.

Tabela 5 - Áreas desmatadas por Unidade de Conservação da área de interesse.

Nome	UF	Esfera	Área (ha) desmatada	Número total de polígonos	Média da área em ha dos polígonos	Área em ha mínima dos polígonos	Área em ha máxima dos polígonos
Floresta Estadual Maúes	AM	Estadual	121,70	20	7,44	1,85	18,43
Parque Nacional da Amazônia	PA	Federal	1.446	186	7,77	0,0017	28,79

Fonte: Autoria própria.

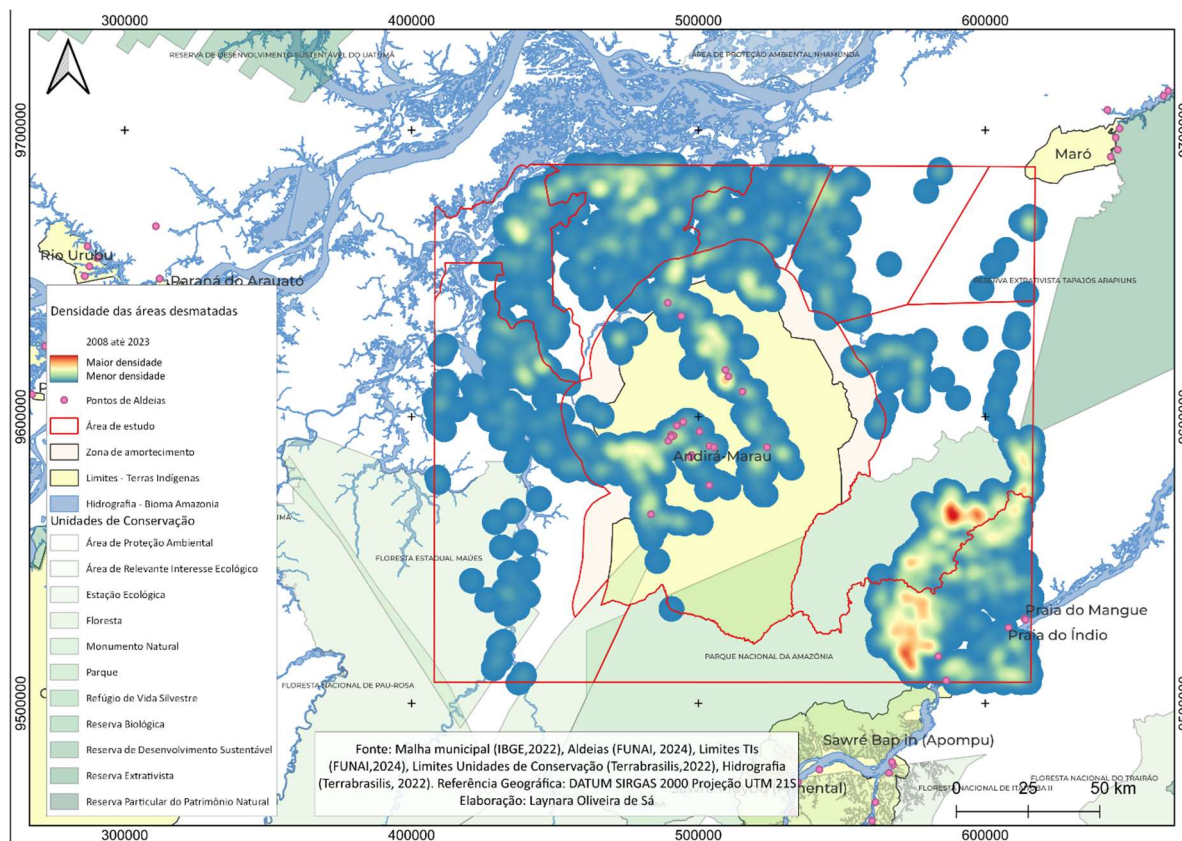
Os valores encontrados na tabela representam diferentes aspectos do desmatamento em duas importantes áreas de conservação na região amazônica, a Floresta Estadual Maúes no Amazonas e o Parque Nacional da Amazônia no Pará. Floresta Estadual Maúes tenha uma área desmatada menor, enquanto que o Parque Nacional da Amazônia, por sua vez, enfrenta uma situação mais aceita, com uma área desmatada considerável e uma distribuição fragmentada do desmatamento.

3.2 Mapas de calor para distribuição de densidade das áreas desmatadas

Nesta seção, apresentamos os resultados obtidos a partir do processamento de dados para a criação de mapas de calor, que ilustram a densidade das áreas desmatadas ao longo de um período de quinze anos na área de estudo.

Na Figura 4 é possível observar que o comportamento de maior densidade se encontra no estado do Pará e com concentração no município de Itaituba, como também demonstrado na Tabela 4 em seu comportamento de área desmatada por hectares.

Figura 4 - Mapa de densidade de áreas desmatadas para o período de 2008 até 2023.



Fonte: Autoria própria.

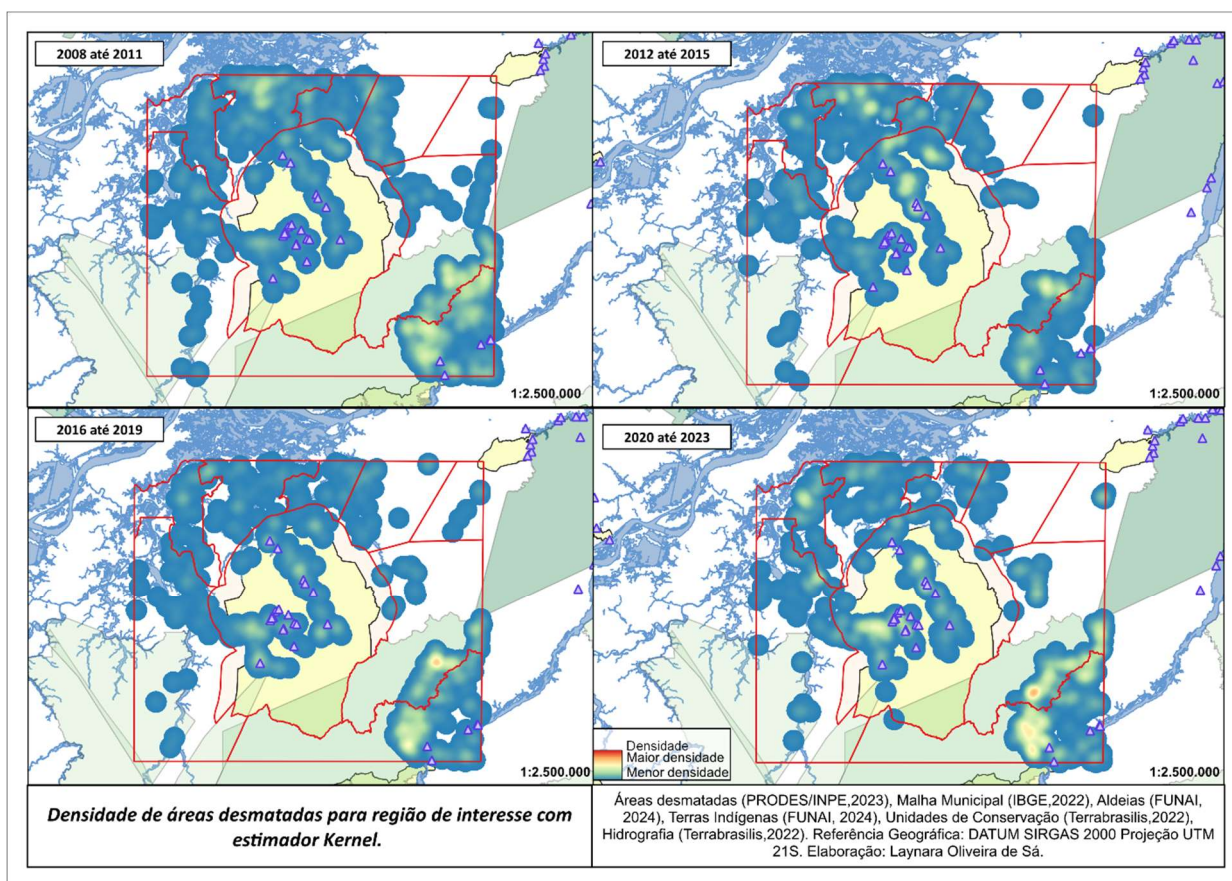
As áreas com maior densidade de desmatamento são representadas em cores mais quentes (vermelho e amarelo), enquanto áreas de menor densidade são representadas em cores frias (verde e azul). A região ao sudeste da área representa maior densidade de polígonos de área desmatada. Nesse mapa temos a densidade para todo o período amostrado (2008 até 2023).

Na área da TI Andirá-Marau o comportamento é adjacente aos corpos hídricos presentes em seus limites, muito se deve ao fato da predominância do transporte hidroviário na região. Observa-se que onde há maior densidade das áreas desmatadas são próximas aos pontos de aldeias, sugerindo que os próprios habitantes possam estar envolvidos nessas alterações.

3.2.1 Mapa de calor por subgrupos

Para outra alternativa de visualização a Figura 5 mostra a densidade de forma agrupada, para nova dinâmica de distribuição. Os quatro mapas cobrem intervalos de quatro anos cada, mostrando a evolução do desmatamento na região ao longo de 15 anos.

Figura 5 - Densidade de Kernel para anos agrupados.



Fonte: Autoria própria.

Esse conjunto de mapas apresenta a densidade das áreas desmatadas em uma região de interesse ao longo de quatro períodos distintos: 2008-2011, 2012-2015, 2016-2019 e 2020-2023. Cada mapa utiliza o estimador de densidade Kernel para representar visualmente a concentração de desmatamento em diferentes intervalos de tempo.

Diante dos quatro agrupamentos podemos observar que as áreas desmatadas demonstraram comportamentos semelhantes em questão de localidade das intensidades, onde muda-se pouco os “pontos quentes” de lugar, sugerindo que o desmatamento é de forma incremental, ele evolui nas mesmas áreas que iniciou. Em todos os períodos, observa-se uma concentração significativa de desmatamento em várias áreas, indicando regiões críticas de perda florestal, principalmente na região do município de Itaituba.

O padrão espacial do desmatamento parece se manter relativamente constante, mas com variações na intensidade ao longo dos períodos. Fato interessante é que os mapas mostram claramente as regiões de maior intensidade, ou seja, as zonas de maior impacto ao desmatamento.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a base de dados construída foi possível obter uma breve análise sobre o comportamento espacial de áreas desmatadas em relativa escala de tempo e área estudada. O método de kernel demonstrou ser uma boa alternativa para análise de geográfica do comportamento de padrões, a visualização dos dados se torna mais acessível e didática.

Por meio da análise da distribuição espacial é notório a qualidade dos dados PRODES e da facilidade em disponibilização informações valiosas para compreender e alertar a supressão de vegetação. Importante compreender que para melhor entender o comportamento de áreas desmatadas em Territórios Indígenas é de suma importância que ocorram visitas a campo ou que sejam apuradas informações mais específicas para melhor compreender a situação.

É importante destacar que existem outros métodos para aferir a distribuição do desmatamento local, principalmente com o uso de diversos métodos de inferência geográfica.

Por fim, gostaria de agradecer pela oportunidade de cursar a disciplina, que foi de grande valia para minha evolução profissional e pessoal. O conteúdo foi muito relevante, assim como a convivência com os professores e colegas de classes. Muito obrigada!