

Análise de Uso e Cobertura da Terra e Índices de Diferença Normalizada de Vegetação e Água em Terras Indígenas e Entorno na Região Hidrográfica da Amazônia

Analysis of the Land Use and Land Cover and the Normalized Difference Indexes of Vegetation and Water within Indigenous Lands and Surrounding Areas in the Brazilian Amazon Basin

Letícia Longanezi Bento¹ 

Hugo José Ribeiro² 

Kátia Alcione Kopp³ 

Palavras-chave

Floresta Amazônica
Territórios Indígenas
NDVI e NDWI
LST

Resumo

As terras indígenas brasileiras, concentradas em mais de 98% na região amazônica, representam uma barreira significativa contra o avanço do desmatamento nessa área. A Amazônia, com sua vasta biodiversidade, tem sido impactada pela expansão da agricultura e por ocupações, tanto legais quanto ilegais, que negligenciam as características ambientais regionais. O presente estudo analisou as alterações na vegetação no período de 1985 a 2020, tanto no interior quanto no entorno de terras indígenas na Bacia Amazônica brasileira. Para tanto, foram utilizados a classificação de uso e cobertura da terra, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), o Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI) e a Temperatura da Superfície Terrestre (LST). Os resultados demonstraram que as terras indígenas e suas áreas circundantes, localizadas distanteamente de propriedades agrícolas e próximas a outras terras indígenas ou Unidades de Conservação (UCs) federais, mantiveram a conservação da vegetação, da temperatura e da umidade do solo em suas áreas internas e adjacentes. Por outro lado, as terras indígenas contíguas a áreas de expansão agrícola, embora ainda preservassem sua vegetação, apresentaram modificações em seu entorno. A substituição da floresta por plantações de soja e áreas de pastagem resultou no aumento da LST nas vizinhanças dessas terras. Evidencia-se, assim, a resiliência e a relevância das terras indígenas na proteção e preservação do bioma amazônico e de sua extensa biodiversidade.

Keywords

Amazon Rainforest
Indigenous Territories
NDVI and NDWI
LST

Abstract

The majority of Brazilian Indigenous lands, more than 98%, are found in the Amazon region. They are a major barrier to the advance of deforestation in this region. The Amazon region and its vast biodiversity have suffered from the advance of agriculture and illegal and legal occupations that do not consider regional environmental characteristics. This study analyzed changes in vegetation between 1985 and 2020, within and around Indigenous lands in the Brazilian Amazon Basin. The analysis was conducted using the land use and land cover classification, the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), the Normalized Difference Water Index (NDWI), and the Land Surface Temperature (LST). Results showed that Indigenous lands and their surroundings, located far from agricultural properties and close to other Indigenous lands or federal Conservation Units (UCs), maintained the conservation of vegetation, temperature, and soil moisture in their internal and surrounding areas. Indigenous lands adjacent to areas of agricultural expansion, while still conserving their vegetation, experienced changes in their surroundings. Soybean fields and pasture areas have replaced the forest, which increased LST. This study showed the resilience and importance of Indigenous lands in protecting and preserving the Amazon biome and its vast biodiversity.

INTRODUÇÃO

A cultura e o conhecimento dos povos originários ajudam a ampliar e conservar a biodiversidade. Lima e Mendes (2015) explicam que mais de 98% do número de terras indígenas se encontram na Amazônia e funcionam como uma das principais barreiras ao avanço do desmatamento na região. Segundo Souza e Garcia (2021), as maiores taxas de diversidade biológica da Amazônia estão em terras indígenas.

O desmatamento da Amazônia se intensificou a partir da década de 70 com objetivo de desenvolvimento econômico da região (Folhes *et al.*, 2012). Atualmente, a remoção da cobertura vegetal amazônica está em descontrole agravante. Embora a floresta amazônica seja desmatada por inúmeras razões, Fearnside (2022) explica que a agropecuária ainda é a causa predominante.

A Amazônia abriga a maior biodiversidade de espécies de fauna e flora do planeta, entre elas espécies exclusivas amazônicas e outras ainda não descobertas (Prado, 2021). O desmatamento causa uma gigantesca perda. Prado (2021) aponta que somada às perdas na biodiversidade, pode-se mencionar a degradação das terras e da água.

A evapotranspiração das árvores do bioma amazônico se transforma em chuva, que é distribuída pelo país (Fisch *et al.*, 1998). O desmatamento diminui a taxa de precipitação e causa maior vulnerabilidade do solo, tornando-o suscetível a processos erosivos e assoreamento de rios. O rio ao perder profundidade devido ao acúmulo de sedimentos, tem sua largura expandida ocasionando inundações e, devido à maior irradiação do sol por área, aumenta a temperatura da água e a taxa de evaporação (Spracklen; Garcia-Carreras, 2015). A biodiversidade do rio é afetada pela mudança climática e pelos sedimentos ali presentes.

As contínuas e crescentes alterações no uso e cobertura do solo da região amazônica podem torná-la gradativamente mais quente e seca, e assim atingir patamares de não conseguir manter uma vegetação de grande porte (Webler *et al.*, 2013; Nascimento *et al.*, 2020).

As Terras Indígenas e Unidades de Conservação, que auxiliam na conservação da floresta, estão constantemente ameaçadas por invasões (Celentano *et al.*, 2018). O avanço da degradação na Floresta Amazônica é a principal causa de risco às comunidades indígenas, seja por conflitos violentos ou pela indisponibilidade de recursos naturais (de Oliveira Dias, Dias, 2020).

Desde a chegada dos portugueses ao Brasil, os povos indígenas vivenciam perdas e conflitos (de Oliveira Dias; Dias, 2020). A não demarcação de uma área indígena torna-a mais vulnerável às ocupações ilegais. Segundo Basta (2023), as terras indígenas Kayapó e Mundukuru, no Pará, e a Yanomami, em Roraima, são as mais afetadas pelo garimpo ilegal e consequentemente pela contaminação por mercúrio resultante da exploração dos minérios.

Os povos originários lutam para que seus territórios continuem preservados e que as terras ainda não demarcadas sejam demarcadas. Todos são beneficiados pela natureza que os indígenas preservam, mas poucos têm consciência disso. Existem muitas outras formas sustentáveis para o desenvolvimento do Estado, e que todos podem ser beneficiados (Lima; Mendes, 2015).

O desmatamento, o uso e a cobertura da terra, os impactos ambientais e outros temas relacionados são analisados e identificados por meio de aplicações de sensoriamento remoto e sistema de informação geográfica. As informações resultantes dessas ferramentas são fundamentais nos estudos de monitoramento ambiental, pois podem ser disponibilizadas em forma de gráficos, tabelas e mapas para o acompanhamento da utilização das terras e para a análise espacial ao longo do tempo (Pacheco, 2016). A produção de informações geograficamente referenciadas fez parte do desenvolvimento deste trabalho que, em suma, é relevante por mostrar a importância das terras indígenas da região hidrográfica amazônica na conservação do ecossistema amazônico.

O presente trabalho tem como objetivo avaliar espacialmente as alterações de uso e cobertura da terra e os índices de vegetação NDVI e de água NDWI e da temperatura de superfície LST entre 1985 e 2020, dentro e no entorno das terras indígenas na região hidrográfica da Amazônia.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de Estudo

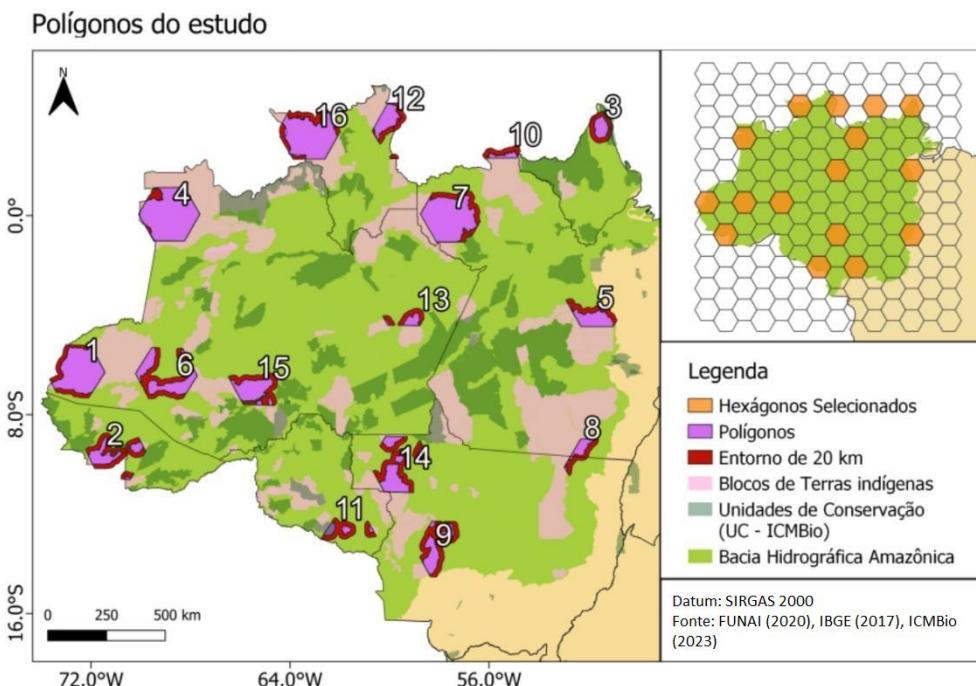
A Bacia Amazônica brasileira está localizada na região norte do país (Figura 1). É presente em todo o território dos estados do Acre, Amapá, Amazonas, Rondônia e Roraima, e no caso do Mato Grosso e do Pará, ocupa um pouco mais que a metade.

A Amazônia concentra a maior quantidade e as maiores terras indígenas do país, que em alguns casos formam verdadeiros blocos. Nesse

estudo, as fronteiras entre as terras indígenas vizinhas foram desconsideradas, tornando assim um bloco de terras indígenas. Como a área de estudo é extensa, apenas alguns blocos foram selecionados para a análise. No software QGIS, a bacia amazônica foi dividida por vários hexágonos e, utilizando amostragem aleatória sistemática, 16 hexágonos foram escolhidos. Apenas os blocos presentes dentro dos 16 hexágonos designados foram os estudados e denominados de polígonos (Figura 1). As

unidades de conservação representadas não foram incluídas junto aos blocos. Os dados de uso e cobertura da terra, entre 1985 e 2020, foram analisados e classificados no interior dos polígonos e no entorno de 20 km a partir da margem deles, o mesmo foi feito para os índices NDVI, NDWI e LST. Segundo Rodriguez *et al.* (2013), estudos semelhantes adotam *buffer* de 10 km, como a área de cada polígono é extensa, a largura escolhida do *buffer* foi o dobro do convencional, 20 km.

Figura 1 - Metodologia utilizada e apresentação dos polígonos estudados no presente trabalho



Fonte: Os autores (2024).

Uso e Cobertura da Terra

O MapBiomas é uma rede colaborativa de pesquisas geoambientais, que tem o propósito de mapear anualmente a cobertura e uso da terra do Brasil e monitorar as mudanças do território (MapBiomas, 2019). É devido a disponibilização de dados geográficos pelo MapBiomas que é possível realizar diversos estudos sobre o uso e cobertura da terra em qualquer região do país.

O histórico do uso e cobertura da terra nos polígonos e seu entorno na bacia amazônica brasileira foi desenvolvido no software RStudio. Por meio do software, foi elaborado um *script* que utilizou como entrada os dados de uso e cobertura da terra, extraídos do MapBiomas, e o dado geográfico dos territórios indígenas (polígonos). Como resultado final, foram obtidos gráficos estatísticos com a classificação estabelecida pelo MapBiomas (Coleção 7) para cada polígono, no período de 1985 a 2020. Além disso, foi gerado um *buffer* de 20 km a partir do

limite da área de cada polígono, onde também foi realizada a extração da classificação do uso e cobertura do solo para fins de comparação com a área interna.

Índices Espectrais (NDVI, NDWI) e Temperatura de Superfície (LST)

Os índices espectrais (NDVI e NDWI) e o produto da temperatura de superfície (LST) foram os escolhidos para auxiliar na análise da qualidade da vegetação na área de estudo.

Segundo Lopes e Moura (2013), a utilização de imagens de NDVI (Índice de Vegetação da Diferença Normalizada) permite monitorar o desenvolvimento fenológico da vegetação em escala temporal e espacial. Brenner e Gusselli (2015) explicam que a metodologia de aplicação do NDWI (*Normalized Difference Water Index* - Índice de Água de Diferença Normalizada) permite ressaltar feições de água e minimizar o restante dos alvos, este índice segue o mesmo

raciocínio que o NDVI. A associação de NDWI com a temperatura de superfície (*Land Surface Temperature* - LST) é possível delimitar áreas em processos de seca, auxiliando no entendimento da modificação dos ecossistemas (Lopes; Moura, 2013).

A aplicação desses índices foi executada por meio de um *script* no *Google Earth Engine*. O vetor dos polígonos e o vetor dos *buffers* foram processados por meio do script juntamente com as imagens da série Landsat com as devidas correções atmosféricas e desta forma foi gerada uma planilha para cada índice e para cada polígono (16 polígonos) e seu determinado *buffer* (16 *buffers*), no período de 1985 a 2020.

Cada polígono e *buffer* correspondentes foram colocados numa mesma planilha (exemplo: polígono 9 de NDVI e *buffer* 9 de NDVI), na qual o polígono representa o lado interno das terras indígenas e o *buffer* o lado externo a elas numa distância de 20 km. Ao todo foram elaboradas 48 planilhas, sendo 16 de NDVI, 16 de NDWI e 16 de LST. Os dados foram organizados de forma que as datas mensais e anuais ficassem mais próximas possíveis e compatíveis com o lado de dentro e o de fora (exemplo: DENTRO 14/01/1999 e FORA 16/01/1999). Após o tratamento, os dados foram submetidos ao teste estatístico não paramétrico de Mann-Whitney, por meio de um *script* no software RStudio, para verificar quais teriam significância estatística e seriam posteriormente escolhidos para as análises.

Índices de vegetação da diferença normalizada – NDVI

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI – *Normalized Difference Vegetation Index*) é o mais conhecido e utilizado. O NDVI é obtido por imagens de satélite ou *drone* e é calculado pela diferença entre as bandas do Infravermelho Próximo e do Vermelho, normalizada pela soma das mesmas bandas (Zanzarini *et al.*, 2013), conforme a equação 1. Neste estudo foram selecionadas as bandas do vermelho (b3, missões Landsat 4 e 5 e b4 missão Landsat 8) e, infravermelho próximo (b4, missões Landsat 4 e 5 e b5 missão Landsat 8).

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad \text{Eq. [1]}$$

Em que:

RED = refletância na região espectral do vermelho

NIR = refletância na região espectral do infravermelho próximo

O NDVI indica a quantidade e a condição da vegetação, variando os valores entre -1 e 1 (Boratto *et al.*, 2013).

Índices de água de diferença normalizada – NDWI

O Índice de Água de Diferença Normalizada (NDWI - *Normalized Difference Water Index*), proposto por McFretts (1996), é calculado pela razão de dados espetrais do canal do Infravermelho Próximo (b4, missões Landsat 4 e 5 e b5 missão Landsat 8) e da luz verde (b2, missões Landsat 4 e 5 e b3 missão Landsat 8), conforme equação 2 (Pereira *et al.*, 2018).

$$NDWI = \frac{VIR - NIR}{VIR + NIR} \quad \text{Eq. [2]}$$

Em que:

NIR = infravermelho próximo

VIR = verde – visível

Os valores de NDWI>0 se comportam como corpos úmidos (água) e, NDWI<0 para alvos menos úmidos (Rebouças *et al.*, 2019).

Temperatura de Superfície – LST

A estimativa da temperatura da superfície terrestre (LST) é um parâmetro crucial em diversas áreas da pesquisa ambiental. A LST, calculada por meio da equação 3 de Bastiaanssen e Bakker (2000), encontra aplicação em estudos como a caracterização de ilhas de calor, a detecção de áreas degradadas e até mesmo em pesquisas entomológicas (de Paiva *et al.*, 2024). Para obter a LST, foram utilizadas as bandas termais b6 das missões Landsat 4/5 e b10 da missão Landsat 8. A emissividade foi calculada com base nas imagens de NDVI obtidas anteriormente no item 3.2.1, utilizando a equação 4 (Lopes *et al.*, 2010).

$$LST = \frac{1260}{\ln(\frac{61.6}{L_{TM}} + 1)} / \epsilon^{0.25} \quad \text{Eq. [3]}$$

Em que:

L_{TM} = radiância na banda termal

ϵ = emissividade

$$\epsilon = 1,009 + 0,04 \ln(NDVI) \quad \text{Eq. [4]}$$

Teste estatístico não paramétrico de Mann-Whitney

O teste de Mann-Whitney é utilizado quando se tem duas amostras independentes de dados que não seguem uma distribuição normal (Silva; Grácio, 2017). O teste verifica se há evidências para crer que valores médios de um grupo A (dentro) são superiores aos valores médios do grupo B (fora) (Silva, 2007). Os valores calculados pelo teste avaliam o grau de entrelaçamento dos dados dos dois grupos após a ordenação (Silva, 2007; Silva; Grácio, 2017). A estatística do teste (equação 5) é dada por:

$$W = U_m - m \cdot n \quad \text{Eq. [5]}$$

Em que:

W = estatística do teste;
 m = tamanho da amostra relacionada ao primeiro grupo;
 n = tamanho da amostra relacionada ao segundo grupo;
 S_m = soma dos postos relacionados ao primeiro grupo.

Antes de calcular a equação 5, é necessário obter o valor de U_m que é calculado pela equação 6.

$$U_m = S_m - \frac{1}{2}m(m+1) \quad \text{Eq. [6]}$$

O cálculo foi realizado de forma automática, utilizando valores de média para cada amostra no espaço-tempo, por meio de um script, no software RStudio, gerando gráficos estatísticos e os valores de w e $p\text{-value}$ para cada uma das 48 planilhas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste tópico são apresentados os valores encontrados diante do teste estatístico não paramétrico de Mann-Whitney. O teste é realizado para verificar se há diferenças significativas estatisticamente entre os conjuntos de dados, ele foi aplicado em todas as 48 planilhas. A significância estatística foi considerada para aqueles que apresentaram $p\text{-value} < 0,05$. Baseado nos valores significativos em comum entre os 3 índices, 6 dos 16 polígonos (destacados na Tabela 1) foram selecionados para a análise.

Tabela 1 - Aplicação do teste estatístico não paramétrico de Mann-Whitney

POLÍGONO	NDWI		NDVI		LST	
	W	P-VALUE	W	P-VALUE	W	P- VALUE
P1	17193	0.02306	65284	4,41E-04	22568	0.04215
P2	24293	0.1049	46385	0.9352	54509	0.0757
P3	882986	0.5029	855765	0.4306	42414	0.915
P4	1981	0.001324	541.5	0.1234	797	3,07E-05
P5	1861.5	< 2.2e-16	41146	< 2.2e-16	1453	3,28E-02
P6	15312	< 2.2e-16	665	< 2.2e-16	6098	2,41E-04
P7	272	3,22E-10	1401	7,53E-06	466	6,62E-05
P8	1538148	0.06556	1650400	0.07171	38827	0.4869
P9	155228	7,49E-06	442188	0.009446	13938	0.0003471
P10	2523595	2,84E-11	3412400	< 2.2e-16	41437	0.8993
P11	125966	< 2.2e-16	507566	< 2.2e-16	69554	< 2.2e-16
P12	125966	< 2.2e-16	703547	0.01624	26806	0.2453
P13	999868	2,71E-03	1245860	7,34E-06	39374	0.8122
P14	580941	0.000273	696582	0.0001304	55545	0.4704
P15	1804196	0.1287	2096666	3,68E-09	38798	0.2881
P16	242726	< 2.2e-16	1186914	< 2.2e-16	10916	0.08005

Fonte: Os autores (2024).

Para a análise dos índices NDVI e NDWI nos polígonos foi utilizada a tabela interpretativa encontrada em (Melo *et al.*, 2011; Rebouças *et al.*, 2019).

Polígonos 1, 6 e 7

Os polígonos 1, 6 e 7 obtiveram resultados semelhantes em consequência da localização de cada um e do seu entorno. Domingues e Bermann (2012) explicam que as áreas amazônicas distantes da fronteira entre o bioma amazônico e o do cerrado, como é o caso dos polígonos em questão, são mais bem

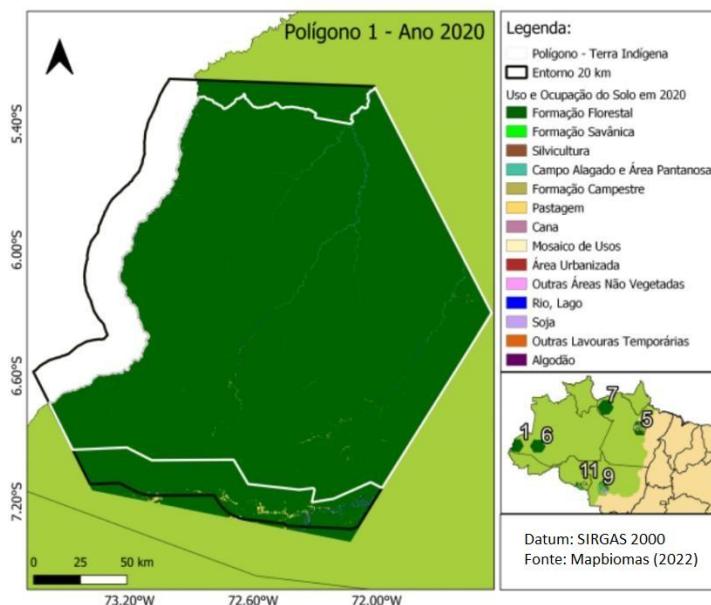
conservadas, pois a expansão do agronegócio não as alcançou.

Uso e cobertura da terra dos polígonos 1, 6 e 7

Os polígonos 1 e 6 estão localizados ao oeste do estado Amazonas (Figura 2) e o polígono 7 no noroeste do Pará. Ao redor da área dos hexágonos 1, 6 e 7 há continuação de blocos de terras indígenas e algumas unidades de conservação (UCs) próximas (Figura 2).

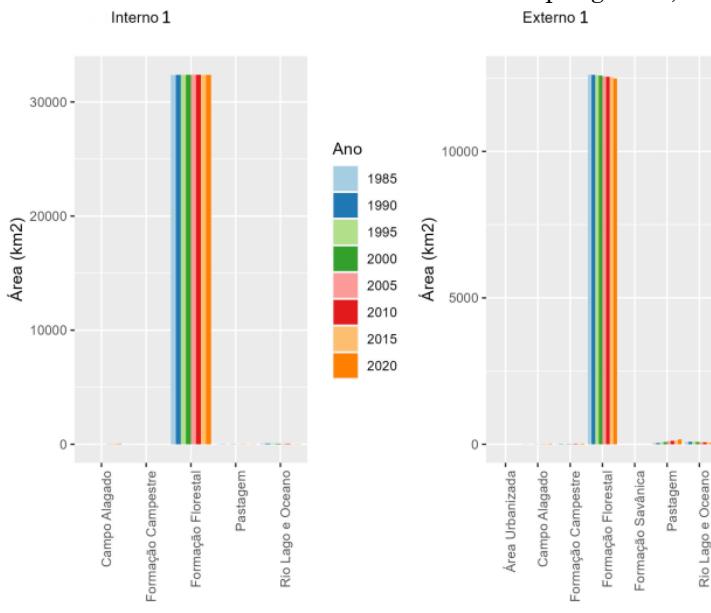
Segundo Montagna *et al.* (2012), as unidades de conservação são importantes instrumentos para a conservação ambiental em todo o mundo. Apesar dos polígonos em estudo não estarem fazendo divisa com as UCs, elas possuem uma zona de amortecimento (ZA) ao seu redor, o que mantém a preservação da UC e da ZA em si, isso explica os resultados apresentados nas Figuras 2, 3, 4, 5, 6 e 7. Ao decorrer dos anos de 1985 a 2020 a preservação da formação florestal se manteve tanto dentro dos polígonos nas terras indígenas, quanto fora.

Figura 2- Uso e cobertura da terra na área interna e externa do polígono 1



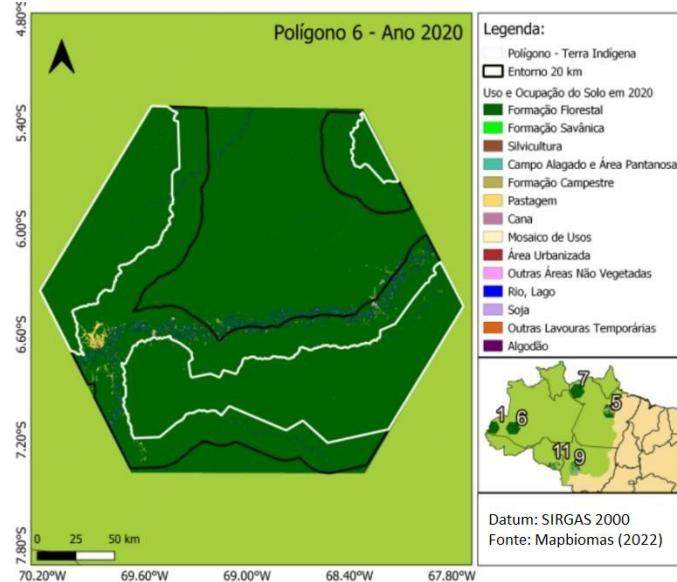
Fonte: Os autores (2024).

Figura 3 - Uso e cobertura da terra na área interna e externa do polígono 1, em km², de 1985 a 2020

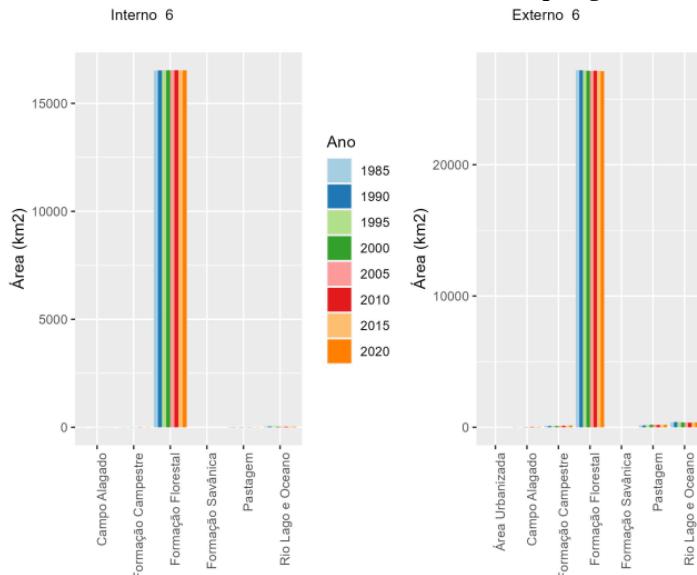


Fonte: Os autores (2024).

Figura 4- Uso e cobertura da terra na área interna e externa do polígono 6

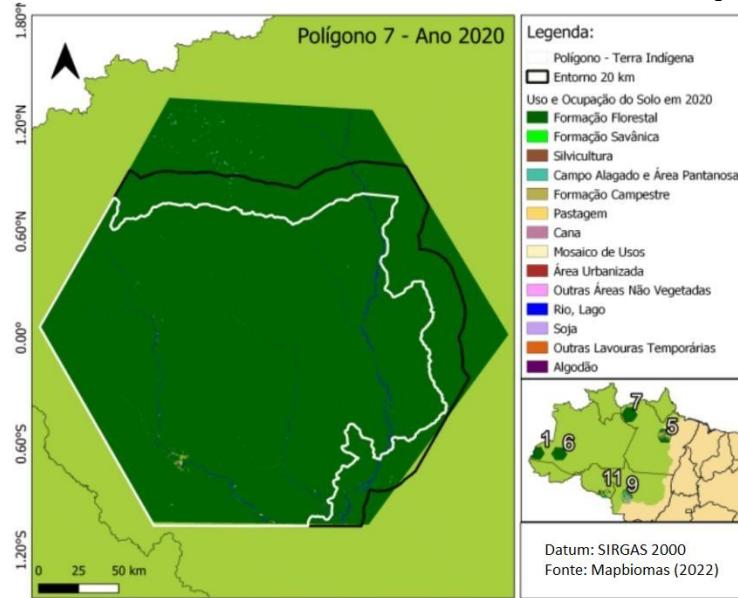


Fonte: Os autores (2024).

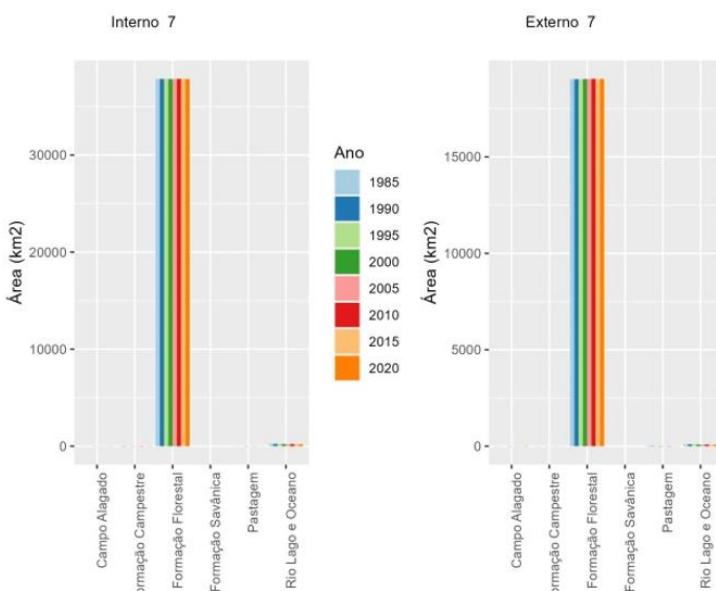
Figura 5 - Uso e cobertura da terra na área interna e externa do polígono 6, em km², de 1985 a 2020

Fonte: Os autores (2024).

Figura 6- Uso e cobertura da terra na área interna e externa do polígono 7



Fonte: Os autores (2024).

Figura 7 - Uso e cobertura da terra na área interna e externa do polígono 7, em km², de 1985 a 2020

Fonte: Os autores (2024).

NDVI e NDWI dos polígonos 1, 6 e 7

A preservação da vegetação natural influencia nos resultados dos índices NDVI e NDWI. Áreas de vegetação preservada apresentam vegetação saudável e moderadamente sadia, como aponta os resultados da Figura 8 interpretados pela Tabela 2. No polígono 1, o lado interno varia de 0,3 a 0,8, e o externo de 0,3 a 0,7 aproximadamente, indicando a presença e a preservação da vegetação de porte e disponibilidade hídrica, segundo Xavier e Fortes (2023). No polígono 6, a parte interna varia de 0,1 a 0,5, e a externa de 0,4 a 0,7, ambas apresentam vegetação sadia, mas a interna

registrou NDVI menor que a externa, pelo fato de que no entorno de 20 km passa um rio (Figura 4), enquanto na terra indígena não há cursos hídricos, e a água é essencial para o desenvolvimento da vegetação. No polígono 7, dentro varia de 0,6 a 0,8 e fora de 0,4 a 0,6, indicando vegetação muito sadia e moderadamente sadia, respectivamente. O polígono 7 e seu entorno apresentam menores oscilações nos índices ao longo dos anos, pois há menor quantidade de áreas de pastagem (Figuras 6 e 7), em relação aos outros polígonos e seus respectivos entornos, mantendo a devida saúde da vegetação e umidade do solo. Apesar de

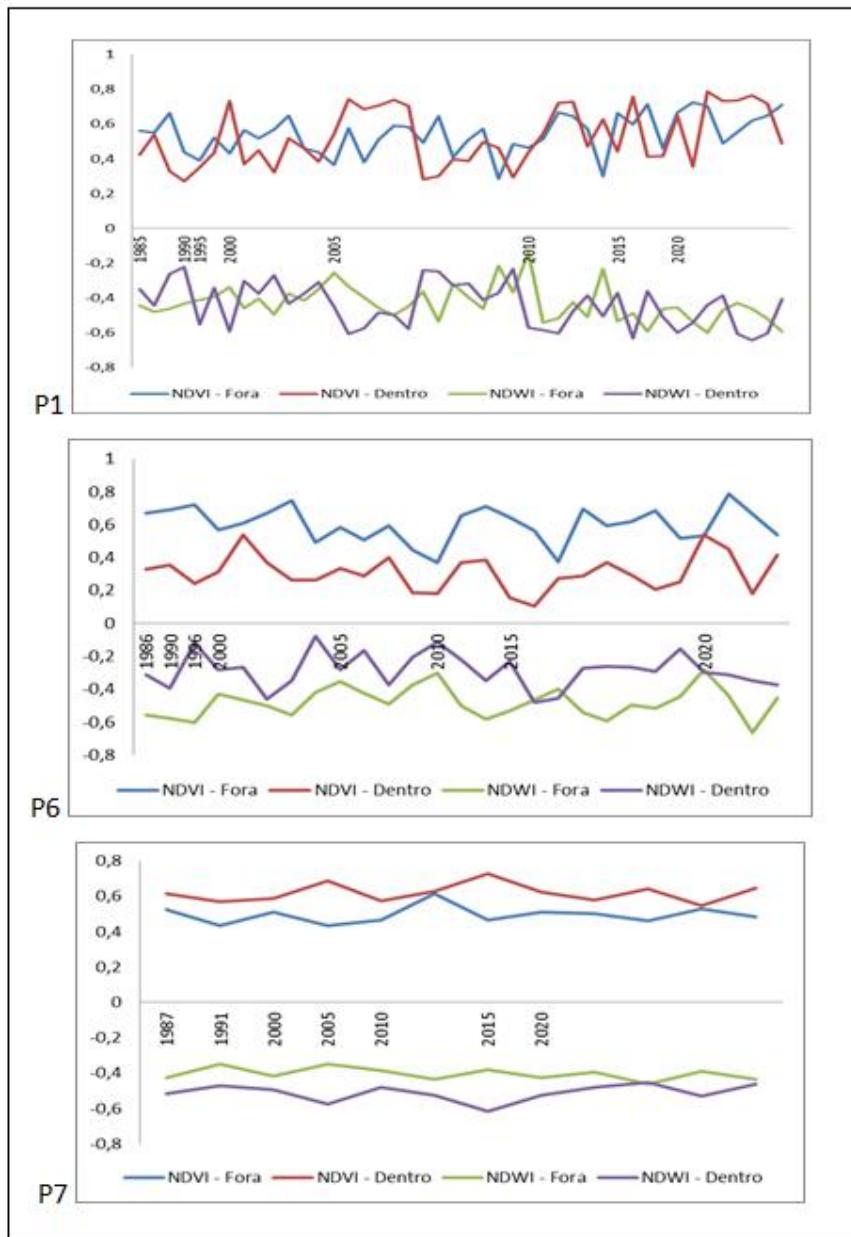
uma pequena diferença, todos os polígonos e devidos entornos permaneceram conservados.

Para uma vegetação ser e permanecer saudável é necessário ter quantidade adequada de água e de sol. O índice NDWI (Figura 8) mostrou que a variação entre os polígonos e seus

entornos é semelhante. O polígono 1 varia de -0,6 a -0,2, o polígono 6 entre -0,6 a -0,1, e o polígono 7 de -0,6 a -0,3.

O fato dos índices não mudarem é um indicativo de que a floresta se manteve com boa qualidade ao longo do tempo.

Figura 8 - Índices NDVI e NDWI na área interna e externa dos polígonos 1, 6 e 7



Fonte: Os autores (2024).

LST dos polígonos 1, 6 e 7

Segundo Webler *et al.* (2013), a temperatura da superfície em áreas de floresta é amena se comparada às pastagens, pois o solo não é exposto e tem a proteção das raízes profundas. A Tabela 3 apresenta a temperatura média da superfície nas áreas de estudos (polígonos 1, 6 e 7), que já foi discutido que são de florestas conservadas. A média foi calculada no ano de

2000 e 2020 para cada polígono e seu respectivo entorno. Foi escolhido o ano de 2000 como início para o cálculo das médias, pois em alguns polígonos não tinham dados registrados nos anos anteriores.

O polígono 1 manteve a média de temperatura, tanto dentro quanto fora, no intervalo de 2000 a 2020. O polígono 6 registrou três graus Celsius a mais que seu entorno, isso explica a vegetação com deficiência mostrada no

NDVI, a temperatura mais elevada em comparação ao entorno de 20 km, resseca parte da vegetação, e neste polígono há ausência de cursos d'água (Figura 4), que amenizariam a

temperatura do solo. O polígono 7 apontou dois graus Celsius a menos que o entorno, em 2020, onde a concentração de corpos hídricos é maior.

Tabela 3 - Temperatura Média da Superfície Terrestre (°C)

Polígono	Exterior Terra Indígena		Interior Terra Indígena	
	2000	2020	2000	2020
P1	19,47	19,09	22,22	22,19
P6	18,63	18,1	21,98	25,8
P7	22,25	22,22	22	18,04

Fonte: Os autores (2024).

Polígonos 5, 9 e 11

Os polígonos 5, 9 e 11 estão próximos à faixa de transição entre o bioma amazônico e o do cerrado (Figura 1). Domingues e Bermann (2012) explicam que o avanço agropecuário no Brasil veio do sul do país até o cerrado, expandindo-se gradativamente à região norte e devastando a floresta Amazônica. Este fato do nosso país aparece nos resultados dos polígonos citados.

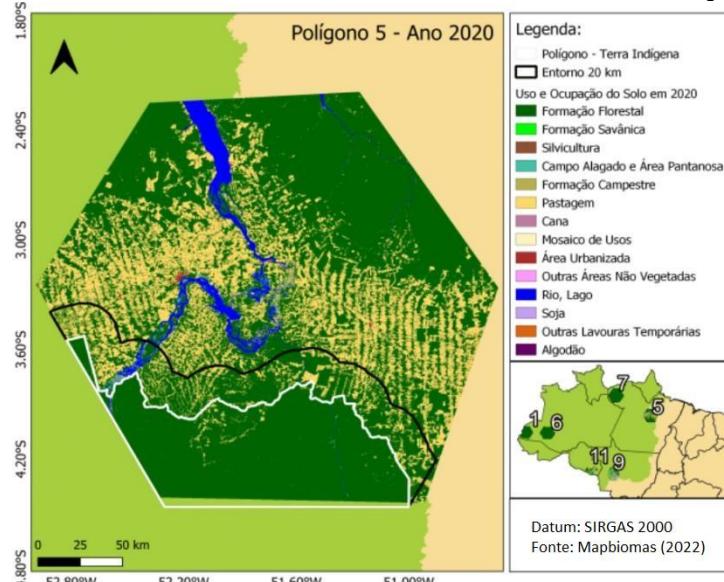
Uso e cobertura da terra dos polígonos 5, 9 e 11

O polígono 5 está localizado no centro do território do estado do Pará e o polígono 11 ao sul de Rondônia (Figura 1). Ao redor dos hexágonos 5 e 11 há um bloco de terras indígenas e algumas unidades de conservação. Mesmo estes polígonos estando numa área que pode ser afetada pela agropecuária, se mantiveram preservados no decorrer dos anos, conforme as Figuras 9, 10, 11, 12, 13 e 14. A formação florestal interna de ambos os polígonos pouco mudou, a externa teve uma parte da floresta substituída pela pastagem. Já no polígono 9, localizado no sudeste do Pará e nordeste do Mato Grosso (Figura 1), a floresta cedeu um espaço maior para a agropecuária. Dentro das terras indígenas do polígono 9, foi

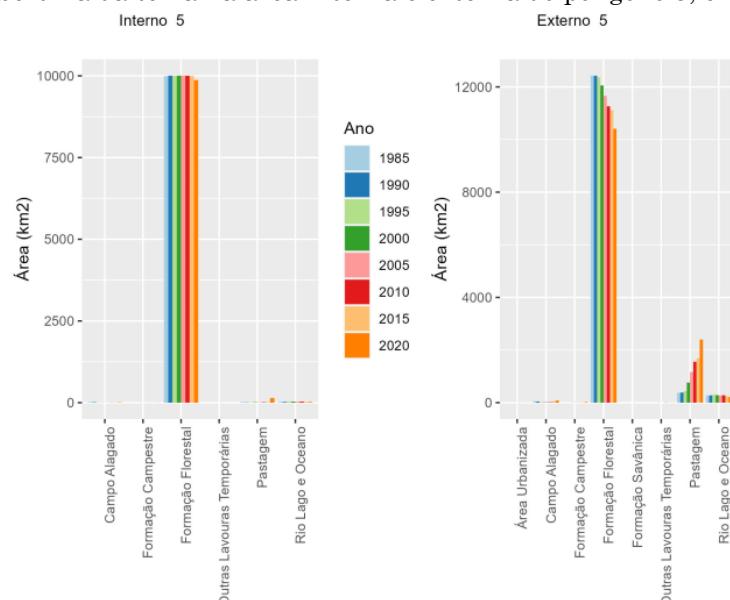
possível manter relativamente a preservação vegetal com formação florestal, savânica e campestre, no entanto, o lado externo se transformou em pastagem, lavouras temporárias e, principalmente, soja (Figuras 11 e 12).

Lima e Mendes (2015) explicam que os territórios indígenas se tornaram ilhas de resiliência expostas aos efeitos negativos dos modelos de ocupação do entorno. Isso porque o lado interno dos polígonos, as terras indígenas, conseguiu manter a conservação, enquanto o externo foi dando espaço à agropecuária. As terras indígenas que possuem unidades de conservação próximas a seus territórios conseguem manter ainda mais a conservação natural de suas terras, como no caso do polígono 5 e 11 (Figuras 1, 9, 10, 13 e 14). Segundo Walker *et al.* (2020), durante décadas, os povos indígenas, comunidades tradicionais e unidades de conservação impediram a derrubada da floresta e as emissões de gases de efeito estufa, mas essas áreas estão cada vez mais vulneráveis aos processos de degradação e perturbação florestal. Ainda afirmam que eliminar essa ameaça é fundamental para o futuro da floresta amazônica que protege o equilíbrio do planeta e a imensa biodiversidade que a abriga.

Figura 9- Uso e cobertura da terra na área interna e externa do polígono 5

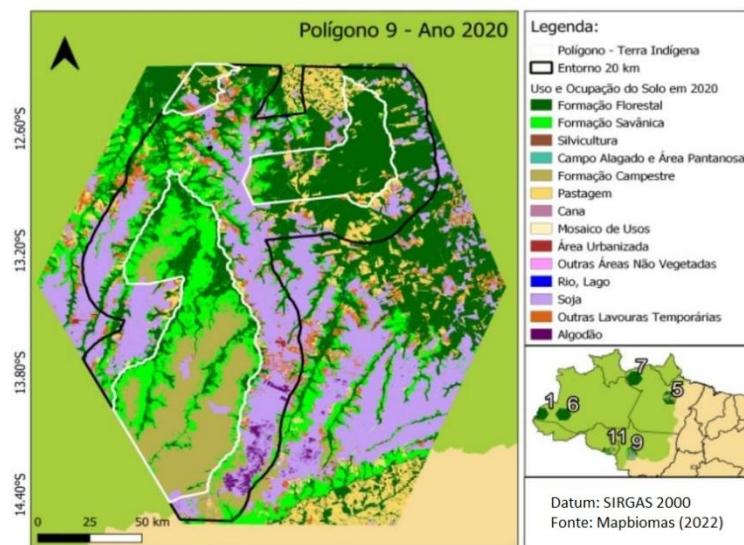


Fonte: Os autores (2024).

Figura 10 - Uso e cobertura da terra na área interna e externa do polígono 5, em km², de 1985 a 2020

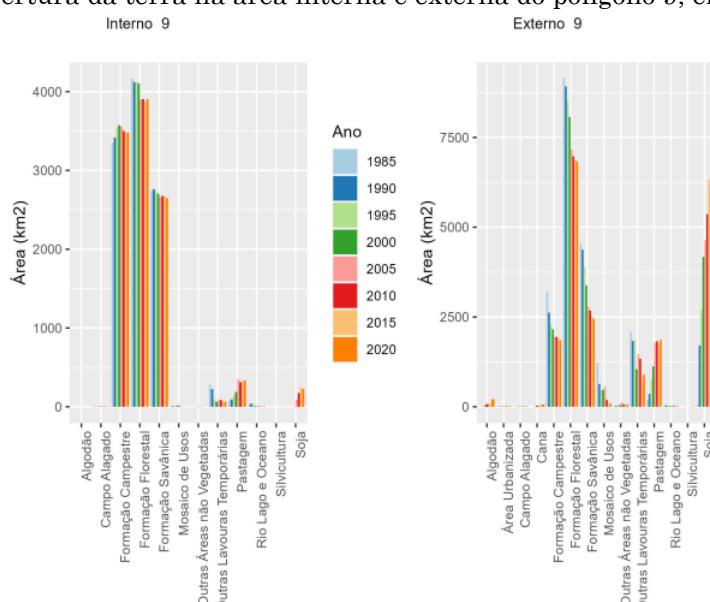
Fonte: Os autores (2024).

Figura 11- Uso e cobertura da terra na área interna e externa do polígono 9



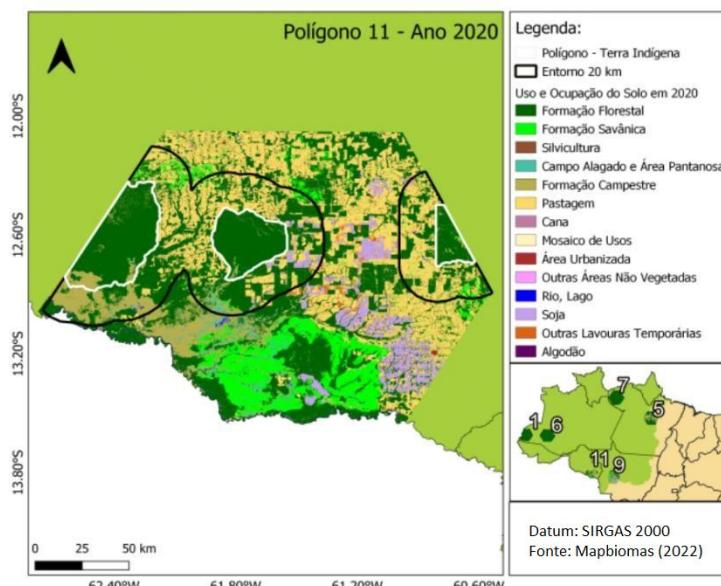
Fonte: Os autores (2024).

Figura 12 - Uso e cobertura da terra na área interna e externa do polígono 9, em km², de 1985 a 2020

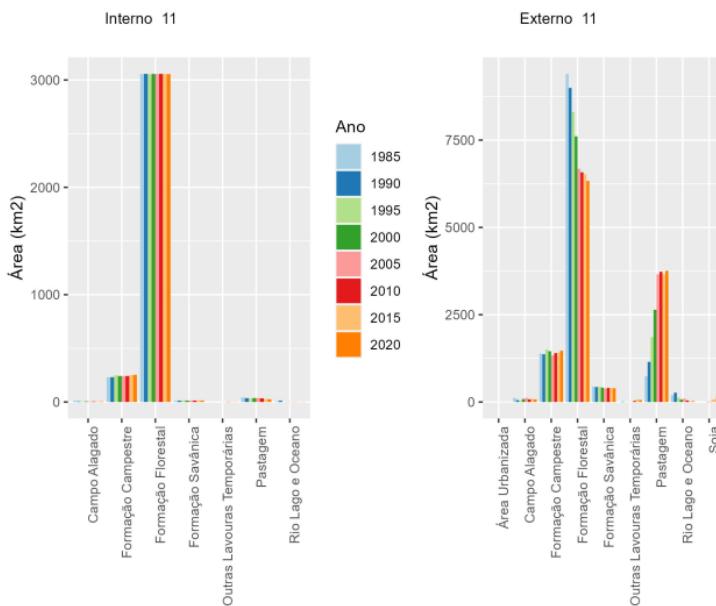


Fonte: Os autores (2024).

Figura 13- Uso e cobertura da terra na área interna e externa do polígono 11



Fonte: Os autores (2024).

Figura 14 - Uso e cobertura da terra na área interna e externa do polígono 11, em km², de 1985 a 2020

Fonte: Os autores (2024).

NDVI e NDWI dos polígonos 5, 9 e 11

O NDVI interno, no polígono 5, resultou em vegetação sadia (0,4 a 0,8) e o externo em vegetação com deficiência sua em maioria (0,1 a 0,4), visto que dentro das terras indígenas a floresta foi preservada e no entorno deu lugar a pastagem (Figuras 9 e 10, 15 e Tabela 2). No polígono 9, onde ocorreu a maior mudança no uso e cobertura da terra, o NDVI interno e externo variou bastante e em 2005 o lado interno registrou um valor de -0,2 e em 2015 foi registrado -0,3 no lado externo, esses valores indicam áreas sem vegetação (Figura 15 e

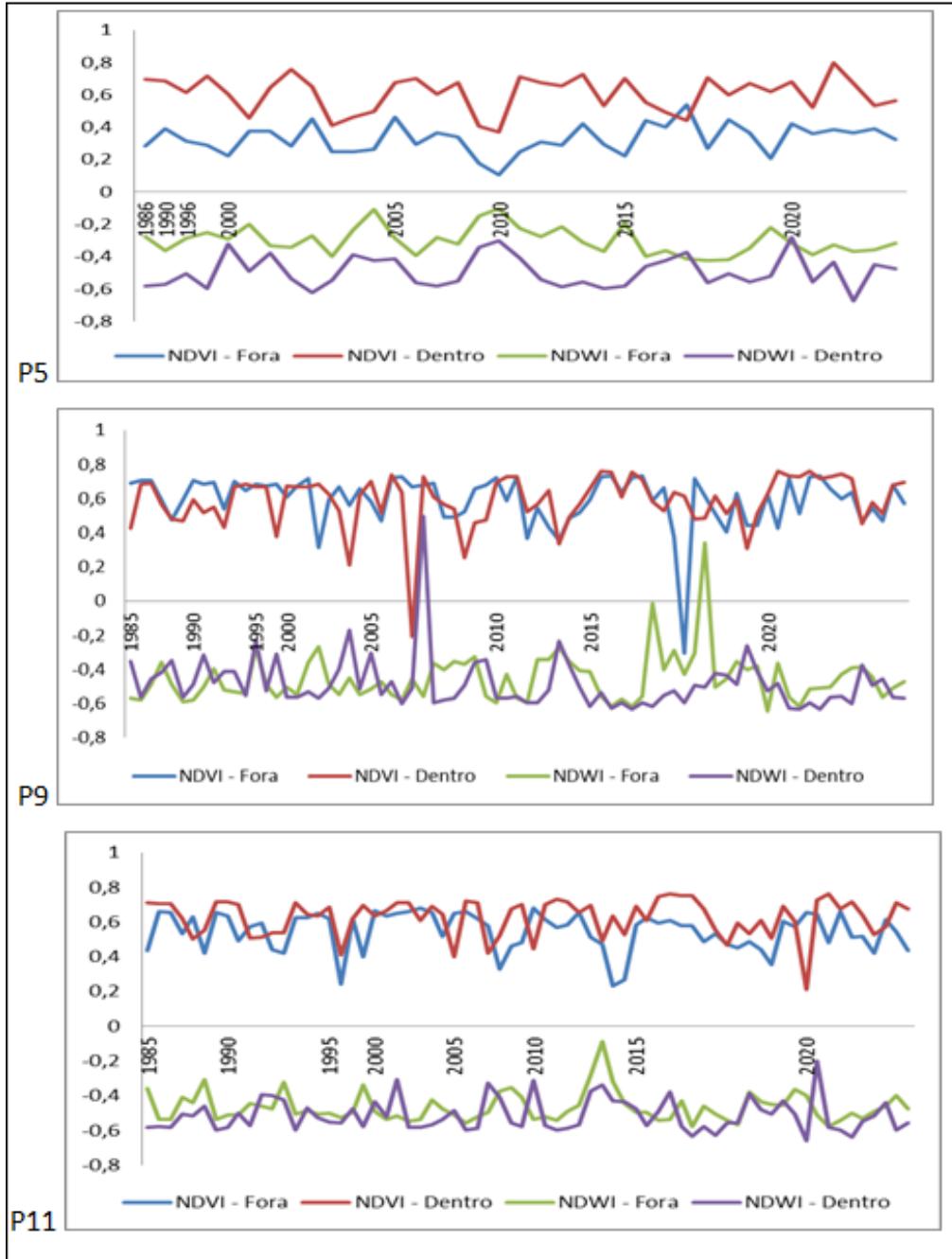
Tabela 2). No polígono 11, o NDVI variou entre 0,3 a 0,7 no lado de dentro e de fora, indicando vegetação sadia (Figura 15 e Tabela 2). O lado interno permaneceu com a preservação florestal e embora não tenha ocorrido o mesmo na área externa do polígono 11 (Figuras 13 e 14) o NDVI teve altos resultados. Fatores relacionados com o manejo das pastagens e a heterogeneidade espaço-temporal da precipitação ao longo do ano, podem ter influenciado nesses resultados, segundo Andrade *et al.* (2014).

O NDWI, nos polígonos 5, 9 e 11, mostrou que as áreas vegetadas possuem solo pouco úmido (Figura 15 e Tabela 2). No entanto, o polígono 9

foi o único que registrou área alagada (superfície de água). Ocorreram dois registros: um em 2005 no lado interno do polígono e outro em 2015 no lado externo. Nesses mesmos anos e nos consecutivos lados foi quando o NDVI indicou áreas sem vegetação. A cobertura vegetal regula

o fluxo de água em uma bacia hidrográfica ([Harris *et al.*, 2006](#)), a falta da vegetação impede a absorção da água da chuva, causando alagamentos e processos erosivos no solo.

Figura 15 - Índices NDVI e NDWI na área interna e externa dos polígonos 5, 9 e 11



Fonte: Os autores (2024).

LST dos polígonos 5, 9 e 11

Ribeiro (1993) diz que o fluxo de radiação e os balanços de água na região Amazônica são influenciados pelo desmatamento. Ele comenta sobre o estudo de Nobre *et al.* (1989) que afirmaram que uma área desmatada na Amazônia teve a temperatura de sua superfície

elevada de 1 a 3°C. Em comparação com os polígonos anteriores 1, 6 e 7 e seus entornos, que preservaram a floresta tanto dentro quanto fora, mantiveram a temperatura média da superfície ao longo dos anos. Já os polígonos 5, 9 e 11, que seus entornos foram modificados para abrir espaço para a agropecuária, registraram aumento na temperatura do entorno (Tabela 4).

Tabela 4 Temperatura Média da Superfície Terrestre (°C)

Polígono	Exterior Terra Indígena		Interior Terra Indígena	
	2000	2020	2000	2020
P5	20,74	26,96	18,45	18,07
P9	19,09	Sem registro	20,53	Sem registro
P11	20,12	26,18	19,95	20,66

Fonte: Os autores (2024).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As terras indígenas desempenham um papel fundamental na conservação da Amazônia. Ao analisar polígonos próximos a unidades de conservação e a áreas de agropecuária, este estudo demonstrou que a presença de unidades de conservação contribui significativamente para a preservação da vegetação, temperatura e umidade do solo dentro dos territórios indígenas. Por outro lado, a expansão da agropecuária nas proximidades das terras indígenas resultou em alterações significativas nessas mesmas variáveis ambientais.

A análise dos índices de vegetação (NDVI), temperatura da superfície (LST) e umidade do solo (NDWI) revelou que os polígonos localizados próximos a unidades de conservação apresentaram maior estabilidade ambiental em comparação aos polígonos adjacentes a áreas de agropecuária. Essa diferença evidencia a importância das unidades de conservação como barreiras naturais à expansão da atividade agropecuária e à degradação ambiental.

Apesar da clara contribuição das terras indígenas para a conservação da Amazônia, a importância desses territórios e dos povos originários ainda é subestimada. Futuras pesquisas poderão aprofundar a análise dos impactos do desmatamento nas terras indígenas, utilizando outros índices como o índice de seca por diferença normalizada (NDDI) e o índice acumulado de diferença normalizada (NDBI). A aplicação desses índices em todos os blocos de terras indígenas permitirá uma compreensão mais abrangente das dinâmicas ambientais e dos desafios enfrentados por esses territórios.

REFERÊNCIAS

- ANDRADE, R. G.; TEIXEIRA, A.; SANO, E.; LEIVAS, J.; VICTORIA, D.; NOGUEIRA, S. Evapotranspiração em pastagens com indicativos de degradação na bacia hidrográfica do Alto Tocantins. In: **Inovagri International Meeting**. 2014. p. 3052-3059. <http://dx.doi.org/10.12702/ii.inovagri.2014-410>
- BASTA, P. C. Garimpo de ouro na Amazônia: a origem da crise sanitária Yanomami. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 39, p. e00111823, 2023. <https://doi.org/10.1590/0102-311XPT111823>
- BASTIAANSSEN, W.; BAKKER, M. **Use of satellite data in agricultural water management**. Embrapa Semiárido. Petrolina: 2000. 81p.
- BENDA, F.; ALVES, M. G.; CORRÊA, F. Estudo do risco de degradação por assoreamento dos corpos d'água superficiais utilizando SIG. **Informática Pública**, v. 9, n. 2, p. 55-69, 2007.
- BORATTO, I. M. P.; GOMILDE, R. L. Aplicação dos índices de vegetação NDVI, SAVI e IAF na caracterização da cobertura vegetativa da região Norte de Minas Gerais. In: **Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto**, 16., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais** [...]. Foz do Iguaçu: [s.n.], 2013.
- BRENNER, V. C.; GUASSELLI, Laurindo Antônio. Índice de diferença normalizada da água (NDWI) para identificação de meandros ativos no leito do canal do rio Gravataí/RS–Brasil. In: **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto-SBSR**, 25., 2015. **Anais** [...]. João Pessoa: 2015.
- CELENTANO, D.; MIRANDA, M. V. C.; MENDONÇA, E. N.; ROUSSEAU, G. X.; MUNIZ, F. H.; LOH, V. do C.; VARGA, I. van D.; FREITAS, L.; ARAÚJO, P. Desmatamento, degradação e violência no "Mosaico Gurupi" - A região mais ameaçada da Amazônia. **Estudos Avançados**, v. 32, p. 315-339, 2018. <https://doi.org/10.5935/0103-4014.20180021>
- DE OLIVEIRA DIAS, M. A.; DIAS, A. A. S. Violação aos Direitos Indígenas. **Revista do CEJUR/TJSC**:

- Prestação Jurisdicional**, v. 8, n. 1, p. e359-e359, 2020. <https://doi.org/10.37497/revistacejur.v8i1.359>
- DE PAIVA, S. L. P.; KREITLOW, J. P.; DE ARRUDA LIMA, L. P.; DE PAULO, S. R.; DA SILVA NEVES, S. M. A.; GAIÓ, D. C. Variação da temperatura superficial na Bacia Hidrográfica do Córrego Piraputanga/MT, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, [S.I.], v. 17, n. 2, p. 914–930, 2024. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v17.2.p914-930>.
- DEMARCHI, J. C.; PIROLI, E. L.; ZIMBACK, C. R. L. Análise temporal do uso do solo e comparação entre os índices de vegetação NDVI e SAVI no município de Santa Cruz do Rio Pardo—SP usando imagens LANDSAT-5. **Raega - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 21, 2011. <https://doi.org/10.5380/raega.v21i0.17416>
- DOMINGUES, M. S.; BERMANN, C. O arco de desflorestamento na Amazônia: da pecuária à soja. **Ambiente & sociedade**, v. 15, p. 1-22, 2012. <https://doi.org/10.1590/S1414-753X2012000200002>
- FEARNSIDE, P. M. Destrução e conservação da floresta amazônica. **Revista de Economia Contemporânea**, [S.I.], 2022. <https://doi.org/10.1590/0103-6351/2665>.
- FISCH, G.; MARENCO, J. A.; NOBRE, C. A. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. **Acta amazônica**, v. 28, n. 2, p. 101-101, 1998. <https://doi.org/10.1590/1809-43921998282126>
- FOLHES, R.; AGUIAR, A. P. D.; JUNIOR, R. A. O. S. Cenários participativos de mudanças no uso da terra na Amazônia: o caso de Vila Brasil no Projeto de Assentamento Agroextrativista do Lago Grande, PA. **CAMPO-TERRITÓRIO: Revista de geografia agrária**, v. 7, n. 14, p. 1-34, 2012. <https://doi.org/10.14393/RCT71414987>
- FUNAI. **Terras Indígenas: Dados Geoespaciais e Mapas**. Ministério dos Povos Indígenas, FUNAI, 2020. Disponível em: <https://www.gov.br/funai/pt-br/atuacao/terras-indigenas/geoprocessamento-e-mapas> Acesso em: 23 abr. 2023.
- HARRIS, M. B.; ARCÂNGELO, C.; PINTO, E. C. T.; CAMARGO, G.; RAMOS NETO, M. B.; SILVA, S. M. Estimativa da perda de cobertura vegetal original na Bacia do Alto Paraguai e Pantanal brasileiro: ameaças e perspectivas. **Natureza & Conservação**, v. 4, n. 2, p. 50-66, 2006.
- ICMBIO. **Dados geoespaciais de referência da Cartografia Nacional e dados temáticos produzidos no ICMBio**. Ministério do Meio Ambiente, ICMBio, 2023. Disponível em: https://www.gov.br/icmbio/pt-br/assuntos/dados_geoespaciais/mapa-tematico-e-dados-geoestatisticos-das-unidades-de-conservacao-federais Acesso em: 23 abr. 2023.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. **Downloads – Organização do território – Divisão regional**. IBGE, 2017. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/downloads-geociencias.html> Acesso em: 23 abr. 2023.
- LIMA, A.; MENDES, M. Mudanças climáticas e a percepção indígena. Cuiabá, MT: **Operação Amazônia Nativa - OPAN**, 2015.
- LOPES, H. L.; ACCIOLY, L. J. de O.; SILVA, F. H. B. B.; SOBRAL, M. C. M.; ARAÚJO FILHO, J. C.; CANDEIAS, A. L. B. Espacialização da umidade do solo por meio da temperatura da superfície e índice de vegetação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, p. 973-980, 2011. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662011000900014>
- LOPES, H.; CANDEIAS, A.; ACCIOLY, L.; SOBRAL, M.; PACHECO, A. Parâmetros biofísicos na detecção de mudanças na cobertura e uso do solo em bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p. 1210-1219, 2010. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662010001100011>
- LOPES, P. M. O.; MOURA, G. S. S. Estudo de caso: índice de umidade do solo utilizando imagens do sensor MODIS para o município de Belém do São Francisco, PE. In: **Workshop Internacional Sobre Água no Semiárido Brasileiro**, 1., 2013, Campina Grande, PB. **Anais** [...] Campina Grande: [s.n.], 2013.
- MAPBIOMAS. **Códigos de Legenda, Coleção 7**. Mapbiomas, 2022. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/codigos-de-legenda/>. Acesso em: 23 abr. 2023.
- MAPBIOMAS. **O que é MapBiomas?** Mapbiomas, 2019. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/perguntas-frequentes>. Acesso em: 08 jun., 2023.
- MCFEETERS, S. K. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. **International Journal of Remote Sensing**, [S.I.], v. 17, p. 1425–1432, 1996. <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>.
- MELO, E. T.; SALES, M. C. L.; OLIVEIRA, J. G. B. de. Aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para análise da degradação ambiental da microbacia hidrográfica do Riacho dos Cavalos, Crateús-CE. **Raega - O Espaço Geográfico em Análise**, v. 23, n. 1, p. 520-533, 2011. <https://doi.org/10.5380/raega.v23i0.24919>
- MONTAGNA, T.; FERREIRA, D. K.; STEINER, F.; SILVA, F. A. L. S.; BITTENCOURT, R.; SILVA, J. Z.; MONTOVANI, A.; REIS, M. S. A importância das unidades de conservação na manutenção da diversidade genética de araucária (*Araucaria angustifolia*) no Estado de Santa Catarina. **Biodiversidade Brasileira**, v. 2, n. 2, p. 18-25, 2012. <https://doi.org/10.37002/biodiversadebrasileira.v2i2.270>
- NASCIMENTO, J. S. M.; AGUIAR, R. G.; FISCHER, G. R.; ANDRADE, N. L. R.; AGUIAR, L. J. G.; WEBLER, A. D. Mudanças no Uso da Terra na Amazônia Ocidental e a Resposta do Microclima à Ocorrência de Eventos Extremos. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, p. 135-145, 2020. <https://doi.org/10.1590/0102-7786351009>
- NOBRE, C. A.; SHUKLA, J.; SELLERS, P. Impactos climáticos do desmatamento da Amazônia. **Climanálise**, [S.I.], v. 3, n. 9, p. 44–55, 1989.
- PACHECO, M. N. O uso do SIG-Sistema de Informações Geográficas na gestão de dados de monitoramento ambiental. UNESC, 2016.
- PEREIRA, L. E.; AMORIM, G.; GRIGIO, A. M.; PARANHOS FILHO, A. C. Análise comparativa entre métodos de Índice de Água por Diferença Normalizada (NDWI) em área úmida continental. **Anuário do Instituto de**

- Geociências**, v. 41, n. 2, p. 654-662, 2018. https://doi.org/10.11137/2018_2_654_662
- PRADO, R. B. Serviços ecosistêmicos: estado atual e desafios para a pesquisa na Amazônia. **Terceira Margem Amazônica**, v. 6, n. 16, p. 11-22, 2021. <https://doi.org/10.36882/2525-4812.2021v6i16.ed.esp.p11-22>
- REBOUÇAS, Iago Silva; DUARTE, Cynthia Romariz; SILVA NETO, Cláudio Ângelo; MIRANDA, Mateus de Paula. Aplicação do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (NDVI) e Água (NDWI) para análise de depósitos argilosos e arenosos no baixo curso do Rio Jaguaribe/CE. In: **Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 19., 2019, Santos. **Anais** [...] São José dos Campos: INPE, 2019. p. 183-186, 2019.
- RIBEIRO, João Batista Miranda. **Análise comparativa das características microclimáticas entre áreas de floresta e de pastagem na Amazônia**. 1994. 67 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1994.
- RIVERO, S.; ALMEIDA, O.; ÁVILA, S.; OLIVEIRA, W. Pecuária e desmatamento: uma análise das principais causas diretas do desmatamento na Amazônia. **Nova economia**, v. 19, p. 41-66, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0103-63512009000100003>
- RODRÍGUEZ, N.; ARMENTERAS, D.; RETANA, J. Effectiveness of protected areas in the Colombian Andes: deforestation, fire and land-use changes. **Regional Environmental Change**, [S.l.], v. 13, p. 423-435, 2013. <https://doi.org/10.1007/s10113-012-0356-8>.
- SILVA, D. D.; GRÁCIO, M. C. C. Índice h de Hirsch: análise comparativa entre as bases de dados Scopus, Web of Science e Google Acadêmico. **Em questão**, v. 23, n. 5, p. 196-212, 2017. <https://doi.org/10.19132/1808-5245230.196-212>
- SILVA, J. M. T. **Testes não paramétricos**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2007.
- SOUZA, H. M.; GARCIA, E. Povos indígenas são essenciais para a conservação e bioeconomia da floresta. **Revista Galileu**, 2021.
- SPRACKLEN, D. V.; GARCIA-CARRERAS, LJGR. The impact of Amazonian deforestation on Amazon basin rainfall. **Geophysical Research Letters**, v. 42, n. 21, p. 9546-9552, 2015. <https://doi.org/10.1002/2015GL066063>.
- WALKER, W. S.; GORELIK, S. R.; BACCINI, A.; ARAGON-OSEJO, J. L.; JOSSE, C.; MEYER, C.; MACEDO, M. N.; AUGUSTO, C.; RIOS, S.; KATAN, T.; DE SOUZA, A. A.; CUELLAR, S.; LLANOS, A.; ZAGER, I.; MIRABAL, G. D.; SOLVIK, K. K.; FARINA, M. K.; MOUTINHO, P.; SCHWARTZMAN, S. The role of forest conversion, degradation, and disturbance in the carbon dynamics of Amazon indigenous territories and protected areas. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, Washington, v. 117, n. 6, p. 3015–3025, 2020. <https://doi.org/10.1073/pnas.1913321117>.
- WEBLER, A. D.; GOMES, J. B.; AGUIAR, R. G.; ANDRADE, N. L. R. de; AGUIAR, L. J. G. Mudanças no uso da terra e o particionamento de energia no sudoeste da Amazônia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 868-876, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000800011>
- XAVIER, P. A. A.; FORTES, M. Aplicação do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) na bacia hidrográfica dos educandos na cidade de Manaus–Amazonas. **Revista Verde Grande: Geografia e Interdisciplinaridade**, v. 5, n. 02, p. 174-192, 2023. <https://doi.org/10.46551/rvg2675239520232174192>
- ZANZARINI, F.; PISSARRA, T.; BRANDÃO, F.; TEIXEIRA, D. Correlação espacial do índice de vegetação (NDVI) de imagem Landsat/ETM+ com atributos do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, p. 608-614, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000600006>

CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Letícia Longanezi Bento: Conceituação, Curadoria de dados, Análise formal, Redação – rascunho original.

Hugo José Ribeiro: Curadoria de dados, Análise formal, Metodologia, Visualização, Redação – revisão e edição.

Katia Alcione Kopp: Conceituação, Metodologia, Redação – rascunho original, Redação – revisão e edição.



Este é um artigo de acesso aberto distribuído nos termos da Licença de Atribuição Creative Commons, que permite o uso irrestrito, distribuição e reprodução em qualquer meio, desde que o trabalho original seja devidamente citado.