

AVALIAÇÃO DA PRECIPITAÇÃO, USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA AMAZONIA BRASILEIRA, ATRAVÉS DO MAPBIOMAS E FERRAMENTA SIG

EVALUATION OF PRECIPITATION, LAND USE AND LAND COVER IN THE BRAZILIAN AMAZON, USING MAPBIOMAS AND SIG TOOL

Danielle Grey Machado Pantoja¹
Moisés Gonçalves Pizon²
Pedro Henrique Pereira Carneiro³
Thaís Silva de Oliveira⁴
Lindemberg Lima Fernandes⁵
Giovanni Max Costa Ribamar⁶

Área Temática 5: Meio ambiente, Mudanças Climáticas e Sustentabilidade
Modalidade: Artigo Científico

Resumo

Com a intensificação de atividades de pecuária e agricultura, o município de Paragominas, no Pará, sofreu alterações significativas em sua cobertura vegetal. O objetivo deste trabalho é analisar a mudança do uso e ocupação do município, no período de 1993 a 2023, verificar a influência do desmatamento na dinâmica de precipitação da região. Para análise da mudança de cobertura florestal, utilizando o Mappbiomas e Qgis. Para o estudo estatístico de precipitação, com uso do software R e com dados obtidos pelo HidroWeb, foram utilizados os testes de Mann-Kendall e Sen's Slope. Analisando as informações coletadas e associando ao histórico de atividades comerciais ligadas ao uso da Terra, foi constatado que a partir de 1960, com a inserção de atividades de agricultura e pecuária no município, os índices de degradação se tornaram expressivos. Foi observado que, durante o período estudado, aproximadamente 18,5% da área de floresta nativa foi suprimida, o que tem como consequência problemas ambientais relacionados ao efeito estufa e interferência em ecossistemas locais, ciclos hidrológicos e desconforto térmico. Ao relacionar a retirada da cobertura vegetal com a mudança na dinâmica de precipitação, embora o teste de Mann-Kendall não tenha indicado a presença de tendências significativas, foi observado um aumento anual na precipitação da ordem de 9,61 mm.

Palavras-Chave: urbanização; desmatamento; uso da terra; precipitação.

Abstract

With the intensification of livestock and agricultural activities, the municipality of Paragominas, in the state of Pará, has undergone significant changes in its vegetation cover. The aim of this study is to analyze changes in the use and occupation of the municipality, from 1993 to 2023, and to verify the influence of deforestation on the region's precipitation dynamics. The change in forest cover was analyzed using Mappbiomas and Qgis. The Mann-Kendall and Sen's Slope tests were used for the statistical study of precipitation, using the R program and data obtained from HidroWeb. Analyzing the information collected and associating it with the history of commercial activities linked to land use, it was found that since 1960, with the introduction of agriculture and livestock activities in the municipality, degradation rates have become significant. It was observed

¹Universidade Federal do Pará; danielle.pantoja@itec.ufpa.br

²Universidade Federal do Pará; moisespizon20@gmail.com

³Universidade Federal do Pará; p.henrique6603@gmail.com

⁴Universidade Federal do Pará; thais.oliveira.eas@gmail.com

⁵Universidade Federal do Pará; linlimfer@gmail.com

⁶Universidade Federal do Pará; lgilcosta002@gmail.com

that, during the period studied, approximately 18.5% of the native forest area was suppressed, which has resulted in environmental problems related to the greenhouse effect and interference in local ecosystems, hydrological cycles and thermal discomfort. When relating the removal of vegetation cover to the change in precipitation dynamics, although the Mann-Kendall test did not indicate the presence of significant trends, an annual increase in precipitation of around 9.61 mm was observed.

Key words: urbanization; deforestation; land use; precipitation.

1. Introdução

O estudo dos usos do solo é uma ferramenta fundamental para tomadas de decisão e gestão ambiental, pois influenciam diretamente no desenvolvimento socioeconômico e na sustentabilidade ambiental. O solo amazônico representa a maior parte da extensão de florestas tropicais do planeta, exercendo uma parte significativa na influência no clima local e global devido aos fluxos de energia e água na atmosfera (Cohen et al., 2007). É presumido que as alterações ocorridas nos ciclos da água, carbono e nutrientes, resultantes da mudança no uso da terra na Amazônia, possam provocar consequências climáticas e ambientais em escalas local, regional e global.

Grandes campanhas globais, como os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) 2030, têm sido implementadas com o intuito de promover a preservação dos biomas e a sustentabilidade ambiental. Essas iniciativas já demonstram impactos positivos, conforme evidenciado por estudos da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO, 2022). Por meio de técnicas de sensoriamento remoto, a FAO identificou uma redução de aproximadamente 30% na taxa de desmatamento global entre 2010 e 2018, em comparação com os níveis registrados na primeira década do século XXI, indicando avanços nas políticas de conservação e gestão do uso do solo. No entanto nas últimas três décadas, a Amazônia vem passando por um processo acelerado de ocupação, que levou a um desmatamento de 14% de sua área (Cohen et al, 2007).

Além da influência sobre as modificações na paisagem, a retirada de cobertura vegetal também pode estar associada a mudança no regime pluviométrico. No ciclo hidrológico, as florestas tropicais desempenham um papel importante e podem influenciar na precipitação regional (Smith; Baker; Spracklen, 2023). Em regiões tropicais, a mudança do uso do solo e, interfere na evapotranspiração e, conseqüentemente, no ciclo hidrológico, tornando o clima mais seco e quente (Araújo; Pontes, 2016).

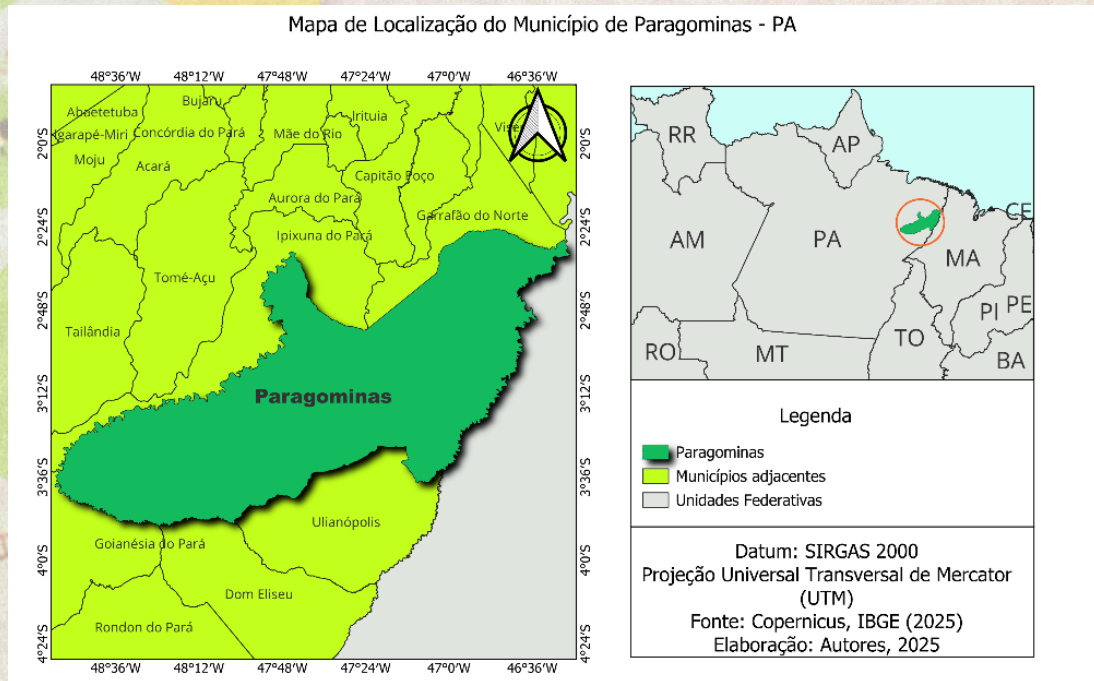
Com isso, o presente trabalho busca como objetivo compreender o uso e ocupação do solo para uma análise ambiental precisa e eficiente utilizando as ferramentas de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) aliada ao geoprocessamento, permitindo o levantamento e a

interpretação de dados espaciais de forma integrada, facilitando a observação dos impactos ambientais numa determinada região contribuindo para a preservação ambiental e um desenvolvimento sustentável.

2. Metodologia

O município de Paragominas-PA está localizado na mesorregião sudeste do estado, com aproximadamente 112.843 habitantes e uma área total de 19.342,565 km² (IBGE, 2023), conforme Figura 1.

Figura 1: Mapa de localização do município de Paragominas-PA.



Fonte: Autores, 2025.

A partir da obtenção de dados raster e tratamento no QGIS, versão 3.28, foram utilizados dados da plataforma MapBiomas, Coleção 8, que disponibiliza mapas anuais de cobertura e uso da terra para todo o território brasileiro, com base em imagens de satélite Landsat processadas por algoritmos de classificação automática, como o Random Forest, por meio da plataforma Google Earth Engine.

Os dados foram baixados no formato raster (.tif) e processados no software QGIS (versão 3.28). Inicialmente, realizou-se o recorte da base de dados com o limite geográfico oficial do município, utilizando a ferramenta de máscara vetorial. Em seguida, foram selecionadas as classes de interesse: floresta, vegetação não florestal, área urbana, corpos d'água, pastagem e agricultura.

A quantificação das áreas por classe e por ano foi feita com a ferramenta “estatísticas zonais” (Zonal Statistics), permitindo calcular a variação espacial e temporal do uso da terra entre 1993 e 2023. A partir desses dados, foram estimadas as taxas de conversão entre classes, o percentual de perda de cobertura florestal e o crescimento das áreas antrópicas (agrícolas e urbanas). As informações obtidas foram organizadas em tabelas e gráficos, permitindo identificar períodos de maior alteração na paisagem. Os dados do MapBiomass apresentam alta confiabilidade, foram considerados os limites de resolução espacial (30 metros).

Para identificar tendências na precipitação na região foi empregado o teste de Mann-Kendall e Sen's Slope, com nível de significância de $\alpha = 5\%$ e o valor de Z crítico da tabela normal padrão igual a $(\pm)1,96$, sendo que para o resultado do teste maior que este valor em termos absolutos confirma-se a hipótese alternativa, com tendência positiva ou negativa, segundo os trabalhos de (Menezes, 2016) para o estado do Pará e (Ishihara, 2014) para a Amazônia Legal, uma abordagem estatística não paramétrica amplamente utilizada na análise de dados com séries temporais. Para aplicação do teste foi utilizado o software “R”.

Os dados de precipitação foram obtidos pelo HidroWeb (ANA, 2025) da estação pluviométrica do INMET 347000, em uma série histórica de 31 anos (1992-2023).

3. Resultados/Discussões

O crescimento populacional no município marca as mudanças acentuadas e observadas nos tipos de uso de solo. A partir das instalações de produções capitalistas na Amazônia, que se inseriram no município a partir dos anos 1960 com atividades principais como agricultura, pecuária e madeira (Soares, 2016). De acordo (Dutra et al,1990), em que apresentaram as propriedades rurais do município e verificou que, naquela época, em média, 40% das áreas totais das propriedades já haviam sido abertas para pastagens, com índices de degradação de 36%.

Os dados apresentados na Tabela 1 evidenciam uma variação expressiva na área destinada à pastagem, acompanhada de um crescimento acentuado no desmatamento, impulsionado sobretudo pelas atividades agropecuárias, com menor contribuição da expansão urbana. Estima-se que, entre 1993 e 2023, aproximadamente 18,5% da área de floresta nativa tenha sido suprimida, o que corresponde a uma perda de 2.907,67 km² de cobertura florestal. Esse aumento foi visto também nos trabalhos de Silva 2011, em que foi analisado a dinâmica do uso nos anos de 1991 e 2008 em que observaram a diminuição da floresta de 77% para 45% da área total do município.

Essa perda representa um problema ambiental crítico, com consequências diretas sobre a biodiversidade, o equilíbrio climático e os serviços ecossistêmicos. A remoção da vegetação nativa contribui para o aumento das emissões de gases de efeito estufa (GEE), intensificando os efeitos das mudanças climáticas e afetando ecossistemas locais, regionais e globais (Souza, 2019; Santos, 2023).

Tabela 1: Dados de cobertura e uso da terra no município de Paragominas (PA) entre os anos de 1993 e 2023. (km²)

Ano	Floresta	Vegetação não florestal	Área urbana	Corpo d'agua	Pastagem	Agricultura
1993	15747,08	40,26	18,26	53,49	3660,89	5,17
1998	15073,72	48,75	19,53	73,19	4303,49	6,48
2003	14365,71	24,99	21,66	78,25	4920,11	114,42
2008	13360,09	22,99	35,89	80,25	5626,11	399,83
2013	13533,14	26,12	64,09	73,60	5053,34	774,85
2018	13266,70	28,71	77,59	72,11	4363,69	1716,34
2023	12839,41	15,67	96,15	81,43	4670,49	1821,99

Fonte: Autores, 2025.

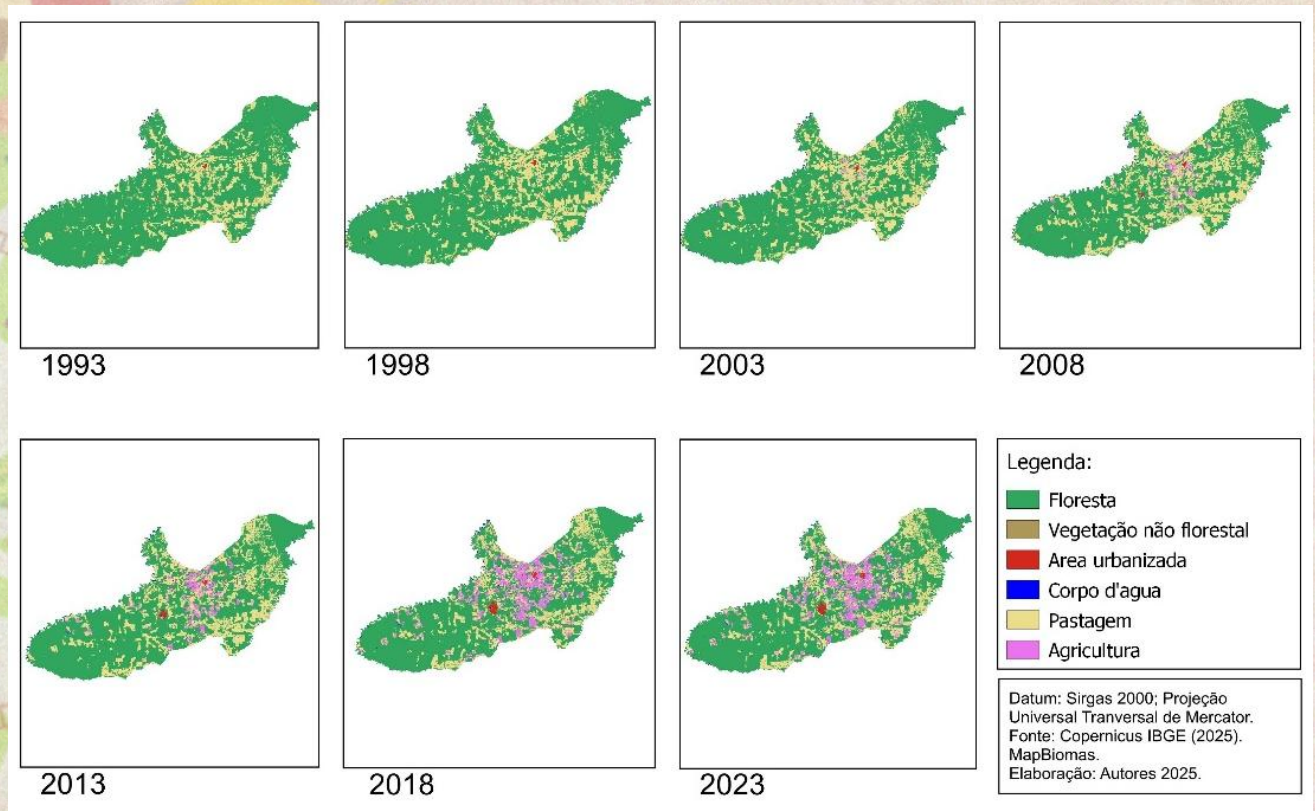
Além da significativa perda de cobertura florestal, observa-se um crescimento expressivo da área agrícola, que passou de apenas 5,17 km² em 1993 para 1.821,99 km² em 2023. Esse aumento significativo, revela uma intensa expansão da fronteira agrícola no município, possivelmente impulsionada por políticas de incentivo à produção rural, avanço tecnológico no setor agropecuário e pela valorização econômica das commodities agrícolas. Tal processo de conversão do solo é típico de regiões amazônicas onde a lógica de ocupação territorial segue modelos de uso intensivo e extensivo da terra, frequentemente em detrimento de áreas naturais e sem planejamento ambiental adequado.

A área urbana também apresentou crescimento contínuo ao longo do período analisado, refletindo a expansão da malha urbana em função do crescimento populacional e da intensificação de atividades econômicas no município. Embora em menor escala quando comparado à agricultura, esse crescimento representa um fator relevante para a degradação ambiental local, uma vez que implica na impermeabilização do solo, redução de áreas verdes e pressão sobre os recursos hídricos.

A categoria de vegetação não florestal, por sua vez, apresentou flutuações ao longo do período, o que pode indicar a presença de áreas em regeneração secundária ou ambientes de transição entre diferentes tipos de uso do solo. Essa classe é relevante para compreender dinâmicas de ocupação e abandono de terras, bem como potenciais áreas de restauração ecológica.

O aumento observado na classe 'corpos d'água' em Paragominas entre 1993 e 2023 pode ser atribuído a múltiplos fatores antrópicos como a construção de 106 barragens na bacia do Rio Uraim, identificadas por Ferreira et al. (2022). Tais intervenções afetam diretamente os ciclos hidrológicos e a disponibilidade de água para as comunidades locais e para os ecossistemas, assim na Figura 2 observa-se o comportamento de cobertura e uso da terra na região de Paragominas.

Figura 2: Mudança no uso e ocupação do solo Paragominas-PA



Fonte: Autores, 2025.

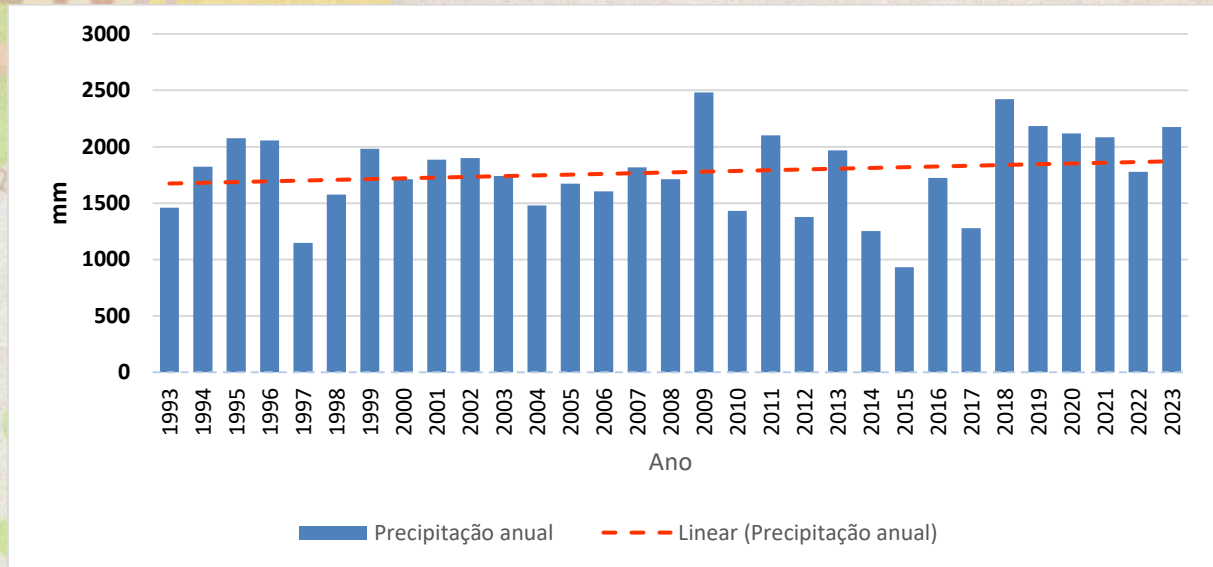
O uso e a ocupação do solo exercem influência significativa sobre a dinâmica da precipitação, podendo alterar os padrões climáticos locais (Teramoto, 2024). O desmatamento tende a reduzir a infiltração e a evapotranspiração, enquanto aumenta o escoamento superficial e provoca variações nas vazões das bacias hidrográficas, afetando o regime hidrológico (Teramoto, 2024; Viana et al., 2023). Em contraste, a urbanização pode intensificar a precipitação, especialmente à noite, em função do efeito ilha de calor urbano, que favorece a formação de nuvens (Falga; Wang, 2023). Esses impactos variam conforme a extensão e o tipo de alteração no uso do solo, podendo tanto aumentar quanto reduzir os índices de chuva (Chu; Yu; Hastens, 1994).

As transformações no uso do solo, somadas às mudanças climáticas, comprometem a gestão dos recursos hídricos, afetam a qualidade da água e ampliam os riscos de desastres como

enchentes e assoreamento (Santos et al., 2024; Teramoto, 2024; Viana et al., 2023). Nesse contexto, o monitoramento da precipitação torna-se essencial para mitigar esses impactos.

Na Figura 3 observa-se o comportamento da precipitação anual na região de Paragominas, conforme série histórica de 30 anos (1993-2023). Verificou-se através do teste de Mann-kendall, com $ZM=1,22$ para o nível de confiança de 95% e significância de $\alpha=5\%$, a inexistência de tendências no comportamento das precipitações, apesar disso, observou-se o aumento anual da precipitação na ordem de 9,65 mm, de acordo com o teste de Sen's Slope,

Figura 3: Precipitação anual na região de Paragominas

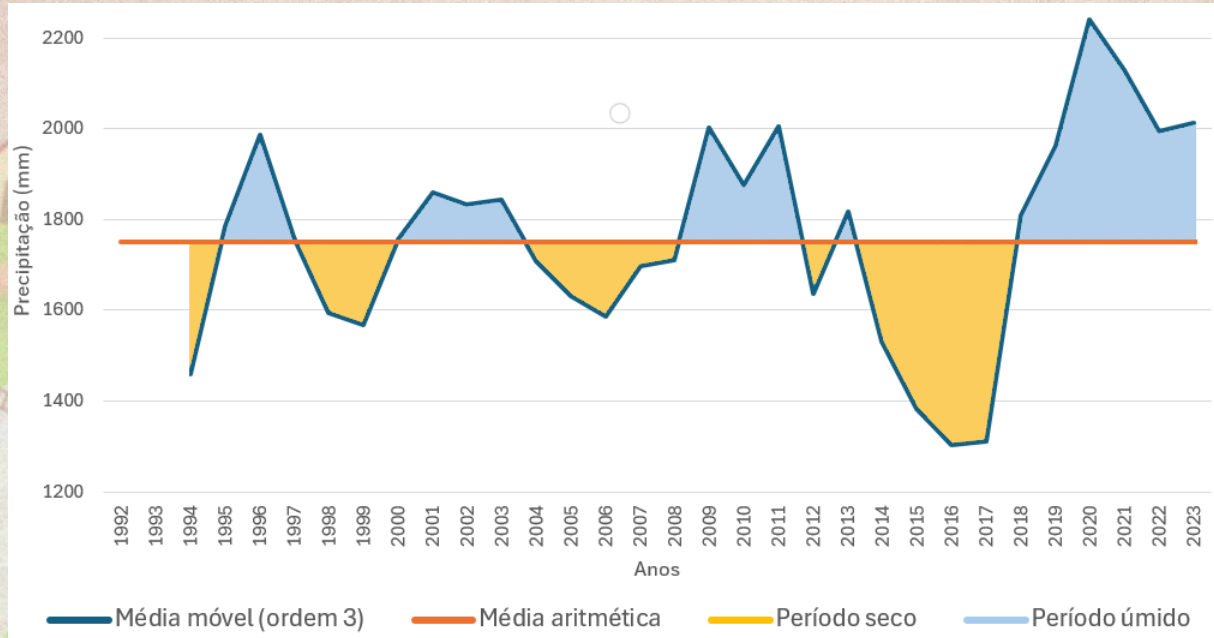


Fonte: Autores, 2025.

Através do teste de Mann-Kendall foi observado a inexistência de tendências, apesar disso, observou-se o aumento anual da precipitação na ordem de 9,61 mm. Observando que as precipitações podem não estar relacionadas as variáveis estudadas, cabendo pesquisas futuras para entender como o desmatamento ocasionados ao longo dos anos que pode ter influência em outras variáveis como umidade relativas ou temperaturas naquela região.

Além das alterações no uso e ocupação do solo, eventos climáticos como El Niño e La Niña influenciam significativamente o regime pluviométrico. Esses fenômenos resultam de anomalias no sistema oceano-atmosfera do Pacífico, com repercussões globais na precipitação, podendo causar secas e enchentes em diferentes regiões (Ishihara, 2010). Na Amazônia, a La Niña está associada ao aumento das chuvas, especialmente nas porções norte e leste, enquanto o El Niño tende a provocar uma redução significativa na precipitação (Lucas, 2007; Ishihara, 2010; Lopes et al., 2021).

Figura 4: Período seco e úmido utilizando-se a média móvel de classe 3.



Fonte: Autores, 2025.

A aplicação da média móvel de ordem 3 à série histórica de precipitação anual possibilitou identificar os períodos úmidos e secos no intervalo analisado (Figura 4). Os anos associados a episódios de El Niño, como 1997–1998 e 2015–2016 (ambos classificados como fortes), apresentaram os menores volumes de precipitação de toda a série, caracterizando eventos de seca extrema, com valores bem abaixo da média climatológica. Eventos moderados, como os de 2002–2003 e 2006–2007, também indicaram redução nos totais pluviométricos, embora com menor intensidade.

Por outro lado, os anos sob influência da La Niña revelaram um aumento expressivo das chuvas, como nos períodos de 1999–2000, 2007–2008 e 2009–2010. Destaca-se o evento de 2017–2018, que marca o início de um ciclo de elevada pluviosidade, culminando entre 2019 e 2021, período com os maiores índices registrados. Esses resultados corroboram padrões já descritos na literatura, evidenciando que o El Niño tende a intensificar períodos secos, enquanto a La Niña favorece a recorrência de períodos úmidos, impactando diretamente a dinâmica hídrica regional.

4. Considerações Finais ou Conclusão

As transformações no uso e ocupação do solo observadas no município entre 1993 e 2023 revelam uma dinâmica territorial intensamente marcada por processos de degradação ambiental, sobretudo impulsionados pela expansão agropecuária e urbana. A redução das áreas florestais e o avanço das atividades produtivas, quando não acompanhados de planejamento e controle ambiental, podem resultar em desequilíbrios ecológicos, perda de biodiversidade e aumento da vulnerabilidade socioambiental.

Embora o teste de Mann-Kendall não tenha identificado tendência estatisticamente significativa nas séries de precipitação, a análise pelo teste de Sen's Slope indicou um aumento anual médio de 9,61 mm no período avaliado. Esse resultado sugere a necessidade de aprofundamento em estudos que considerem outras variáveis climáticas, como temperatura e umidade relativa, além de fenômenos como El Niño e La Niña, que também demonstraram influência sobre o regime hídrico da região.

Esses resultados reforçam a necessidade de políticas públicas integradas de ordenamento territorial, que considerem os limites ecológicos da paisagem e incorporem estratégias de conservação ambiental, como áreas de preservação permanente (APPs), reservas legais e incentivo à agroecologia. O uso de tecnologias de monitoramento, como o MapBiomas e plataformas pluviométricas, demonstram-se ferramentas essenciais para apoiar a gestão sustentável do território e subsidiar ações de mitigação e adaptação às mudanças climáticas.

5. Referências Bibliográficas

- ARAÚJO, R. D. C.; PONTE, M. X. **Uso e cobertura da terra e o clima: uma análise regional.** Revista Brasileira de Geografia Física, v. 9, n. 7, p. 2390–2404, 2016.
- CHU, P. S.; YU, Z. P.; HASTENRATH, S. **Detecting climate change concurrent with deforestation in the Amazon Basin: which way has it gone?** *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 75, n. 4, p. 579–583, 1994. DOI: 10.1175/1520-0477(1994)075<0579:DCCCWD>2.0.CO;2.
- DUTRA, S.; SERRÃO, E. A. S.; VEIGA, J. B. da; SILVA NETO, H.; VASCONCELOS, R. A. **Sistemas de produção pecuária na região de Paragominas, Pará, Brasil.** In: REUNIÓN DE LA RED INTERNACIONAL DE EVALUACIÓN DE PASTOS TROPICALES, 1., 1990, Lilia. *Primera Reunión de la Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales.* Cali: CIAT, 1990. v. 2, p. 1083-1089. (Documento de Trabajo, 75).
- COHEN, J. C. P et al. **Influência do desmatamento sobre o ciclo hidrológico na Amazônia.** 2007.

FRANCEZ, L. M. B.; CARVALHO, J. O. P.; JARDIM, F. C. S. **Mudanças ocorridas na composição florística em decorrência da exploração florestal em uma área de floresta de terra firme na região de Paragominas, PA.** *Acta Amazonica*, v. 37, p. 219-228, 2007.

FAO. 2022. **The State of the World's Forests 2022.** Forest pathways for green recovery and building inclusive, resilient and sustainable economies. Rome, FAO.
<https://doi.org/10.4060/cb9360en>. Acesso em 12/05/25.

FERREIRA, H. de S.; MORAES, B. C. de; SILVA, C. N. da. **Geotecnologias na identificação das barragens de usos múltiplos na Bacia Hidrográfica do Rio Uraim, Paragominas-Pará.** *Contribuciones a las Ciencias Sociales*, v. 17, n. 6, p. e7282, 2024. DOI: 10.55905/revconv.17n.6-039. Disponível em: <https://ojs.revistacontribuciones.com/ojs/index.php/clcs/article/view/7282>. Acesso em: 30 maio 2025.

ISHIHARA, J. H. **Avaliação quantitativa e espacial da precipitação na Amazônia brasileira (Amazônia Legal) no período de 30 anos, de 1978 a 2007.** 2008. 148 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2008.

LOPES, A. B.; VIEIRA, M. R. S.; LIMA FILHO, A. A. de; SILVESTREIM, E. G.; SILVESTREIM, F. G. **Anomalies in the precipitation of four municipalities of the Amazonas, Brazil.** *Research, Society and Development*, [S. l.], v. 10, n. 14, p. e196101421766, 2021. DOI: 10.33448/rsd-v10i14.21766. Acesso em: 23 maio 2025.

LUCAS, E. W. M. **Aplicação de modelos hidrológicos determinístico e estocástico mensais na bacia hidrográfica do Xingu – Pará.** 2007. 133 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2007.

SANTOS, A. et al. **Dinâmica do desmatamento na região Amacro com o Sistema de Alerta de Desmatamento (SAD).** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 20., 2023, Florianópolis. *Anais eletrônicos...* São José dos Campos: INPE, 2023.

SILVA, L. C. T. et al. **Mapeamento do uso e cobertura da terra em áreas desflorestadas no município de Paragominas-PA nos anos de 1991 e 2008.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. *Anais...* São José dos Campos: INPE, 2011. p. 6658-6665.

SILVEIRA, L. G. T. D.; CORREIA, F. W. S.; CHOU, S. C.; LYRA, A.; GOMES, W. B.; VERGASTA, L.; et al. **Reciclagem de precipitação e desflorestamento na Amazônia: um estudo de modelagem numérica.** *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 32, n. 3, p. 417–432, 2017. DOI: 10.1590/0102-77863230009.

SMITH, C.; BAKER, J.C.A. SPRACKLEN, D.V. **Tropical deforestation causes large reductions in observed precipitation.** *Nature* **615**, 270–275 (2023). DOI: 10.1038/s41586-022-05690-1.

SOARES, D. A. S. et al. **Usos do território em Paragominas (PA): espaço geográfico e classes sociais.** *Revista Tocantinense de Geografia*, v. 5, n. 8, p. 1-28, 2016.

SOUZA, I. et al. **Análise da dinâmica do desmatamento da Amazônia Legal com ênfase no estado do Pará.** In: **ENCONTRO ACADÊMICO DA ENGENHARIA AMBIENTAL**, 3., 2019, Lorena. *Anais...* Lorena: EEL-USP, 2019. p. 1-8.

TERAMOTO, A. S. **Efeitos das mudanças climáticas e alterações do uso e ocupação do solo sobre as vazões de bacias hidrográficas da Serra da Mantiqueira, UGRHI-1 (SP).** 2024. 141 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Engenharia, Bauru, 2024.

VIANA, J. F. d. S. et al. **Land use and land cover trends and their impact on streamflow and sediment yield in a humid basin of Brazil's Atlantic Forest biome.** *Diversity*, v. 15, n. 12, p. 1220, 2023. DOI: 10.3390/d15121220.

WATRIN, O. dos S.; ROCHA, A. M. A. da. **Levantamento da vegetação natural e do uso da terra no município de Paragominas (PA) utilizando imagens TM/LANDSAT.** Belém: EMBRAPA, 1992.