

Monitoramento da cobertura da terra e precipitação na Bacia do Rio Gurupi utilizando MapBiomias

Land Cover and Precipitation Monitoring in the Gurupi River Basin Using MapBiomias

¹Juan Franc's Lima de Moura, ²Carlos Daniel de Souza Vizentin, ³Yuri Antonio da Silva Rocha, ⁴Aline Maria Meiguins de Lima

¹Mestrando pelo Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais –Universidade Federal do Pará (juan.moura@ig.ufpa.br)

²Mestrando pelo Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais –Universidade Federal do Pará (carlosdanielvizentin@gmail.com)

³Doutorando pelo Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais –Universidade Federal do Pará (yuri.rocha@ig.ufpa.br)

⁴ Professora do Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais –Universidade Federal do Pará (ameiguins@ufpa.br)

RESUMO: O crescimento populacional e a expansão desordenada das atividades antrópicas têm intensificado as pressões sobre os sistemas ambientais, comprometendo a segurança hídrica em bacias hidrográficas da Amazônia. Este trabalho teve como objetivo identificar as principais mudanças no uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do rio Gurupi e sua relação com o comportamento da precipitação no período de 2014 a 2024. Para isso, foram utilizados dados da Coleção 10 do Projeto MapBiomias, com resolução espacial de 30 metros, derivados de imagens Landsat, além de dados de precipitação obtidos pela integração das bases ERA5-Land, GPCC, GPM e CAMS. Os dados foram processados em ambiente de Sistema de Informações Geográficas, permitindo a elaboração de mapas temáticos, quantificação das classes de uso da terra e análise comparativa da precipitação. Os resultados evidenciaram a expansão de atividades agropecuárias, silvicultura e mineração, acompanhada da redução da cobertura florestal. Também foi observada diferença no regime pluviométrico entre o alto e o baixo Gurupi, com maiores índices de precipitação associados às áreas de maior cobertura florestal. Os resultados demonstram a importância das tecnologias geoespaciais para o monitoramento hidroambiental, subsidiando ações de planejamento territorial, conservação ambiental e gestão sustentável dos recursos hídricos na Amazônia.

Palavras Chave: MapBiomias, Recursos Hídricos, Mudanças climáticas.

ABSTRACT: Rapid population growth and the expansion of human activities have intensified pressures on environmental systems, compromising water security in Amazonian river basins. This study aimed to identify changes in land use and land cover in the Gurupi River Basin and their relationship with precipitation patterns between 2014 and 2024. Land use and land cover data were obtained from MapBiomias Collection 10, based on Landsat imagery with a spatial resolution of 30 m, while precipitation data were derived from the integration of ERA5-Land, GPCC, GPM, and CAMS datasets. The data were processed in a Geographic Information System environment to produce thematic maps, quantify land cover classes, and perform a comparative analysis of precipitation. The results revealed the expansion of agricultural activities, forestry, and mining, accompanied by a reduction in forest cover. Differences in rainfall distribution were also identified between the Upper and Lower Gurupi regions, with higher precipitation levels associated with areas of greater forest cover. The findings demonstrate the potential of geospatial technologies for hydroenvironmental monitoring, providing valuable information to support territorial planning, environmental conservation, and the sustainable management of water resources in the Amazon.

Keywords: MapBiomias; Water Resources; Climate Change.

Recebido em:
01/07/2026
Revisado em:
14/09/2026
Publicado em:
28/09/2026

1. INTRODUÇÃO

O bioma Amazônia detém a maior floresta tropical contínua do planeta e comporta grandes sistemas e reservas de água doce superficiais e subterrâneas. É um importante regulador da interface terra-atmosfera, equilibrando o comportamento climático global e realizando a manutenção da biodiversidade e da ciclagem hídrica. A região exerce influência direta sobre a circulação atmosférica da América do Sul por meio da reciclagem de umidade e da manutenção dos regimes pluviométricos, sustentando atividades econômicas por meio de serviços ecossistêmicos essenciais (Fernandes, 2026). Entretanto, a intensificação das mudanças climáticas e as transformações antrópicas na paisagem têm ampliado os desafios de possibilitar e garantir o desenvolvimento sustentável da Amazônia, exigindo abordagens que integrem conservação ambiental, planejamento territorial e inovação tecnológica (Costa *et al.*, 2023).

Nesse contexto, o uso de geotecnologias baseadas em sensoriamento remoto, Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e plataformas de processamento em nuvem, tem possibilitado melhor monitoramento ambiental em diferentes escalas espaciais. Essas ferramentas permitem monitorar as mudanças no uso e cobertura da terra, a dinâmica hidrológica e os impactos decorrentes das alterações climáticas, fornecendo informações para o planejamento ambiental e a gestão sustentável dos recursos naturais. O Projeto MapBiomias é um exemplo de ferramenta que disponibiliza séries temporais anuais de uso e cobertura da terra e produtos ambientais derivados de imagens orbitais processados em ambiente de computação em nuvem (MapBiomias, 2025; Souza *et al.*, 2020).

A região Norte do Brasil abriga parte significativa do Arco do Desmatamento, na Amazônia Legal. Essa região consiste em uma faixa caracterizada pelo inadequado planejamento territorial, o que favoreceu ocupações de áreas ambientalmente sensíveis, degradação dos ecossistemas e comprometimento da disponibilidade hídrica, o que exige novos mecanismos de gestão capazes de garantir a segurança hídrica em cenários de crescente instabilidade climática (Ciência Júnior, 2024; Dias *et al.*, 2023).

Nesse âmbito, as geotecnologias podem ter respostas mais assertivas sobre onde há rápida expansão de atividades agropecuárias, silvicultura e mineração (Amaral *et al.*, 2022). De forma geral, estudos demonstram que as mudanças no uso e cobertura da terra em diferentes bacias amazônicas alteram a estrutura da paisagem a partir da supressão de áreas florestais, com implicações no regime hidrológico, enfatizando a necessidade de monitoramento espaço-temporal contínuo (Garofolo; Rodriguez, 2022; De Paula; Escada; Ortiz, 2022).

Um exemplo de área sob essas pressões é o alto da Bacia Hidrográfica do Rio Gurupi (BHRG). Estudos recentes apontam que, entre 1985 e 2021, as transformações antrópicas na paisagem da bacia do Gurupi resultaram em perdas estimadas em 1.961 milhões de dólares em serviços ecossistêmicos, com danos à segurança hídrica e alimentar da população local (Pereira *et al.*, 2024). O avanço do agronegócio, como o cultivo de soja e a expansão da silvicultura de eucalipto, intensifica pressões sobre os mananciais, agravando a escassez de água e o risco de desastres naturais. A partir disso, infere-se que as alterações na paisagem amazônica extrapolam a perda de cobertura florestal, prejudicando, também, o ciclo hidrológico das bacias hidrográficas.

Além disso, a substituição da vegetação nativa por áreas agrícolas, pastagens e cultivos florestais modifica processos como infiltração, evapotranspiração, escoamento superficial e recarga de aquíferos, implicando na disponibilidade hídrica e a estabilidade dos ecossistemas. Em bacias hidrográficas tropicais, essas mudanças afetam a quantidade e qualidade de água disponível, bem como a suscetibilidade a danos decorrentes de eventos hidrológicos extremos, evidenciando a relação entre ocupação da terra e funcionamento hidrológico (Garofolo; Rodriguez, 2022).

Amaral *et al.* (2022) demonstram que as trajetórias recentes do desflorestamento apresentam elevada heterogeneidade espacial, com diferenças regionais na expansão da fronteira agrícola, na infraestrutura de transporte e nas políticas públicas de controle ambiental. Essas transformações tornam imprescindível o desenvolvimento de metodologias que permitam acompanhar continuamente a dinâmica da paisagem por meio de informações consistentes para subsidiar ações de planejamento territorial.

À exemplo desse cenário, menciona-se a região denominada Mosaico Gurupi, considerada uma das áreas mais ameaçadas da Amazônia brasileira por concentrar os últimos remanescentes florestais da Área de Endemismo de Belém. Além das pressões ambientais, como desmatamento, queimadas e extração ilegal de madeira, a região enfrenta conflitos fundiários e violações de direitos socioambientais que fragilizam a governança e a justiça territorial (Celentano *et al.*, 2018).

Nesse contexto, a BHRG representa um cenário relevante para a análise integrada das relações entre uso e cobertura da terra, precipitação e dinâmica hidroambiental, por reunir elevada diversidade ambiental e pressão antrópica. Localizada em uma das regiões mais vulneráveis do Arco do Desmatamento, a bacia vem apresentando alterações significativas em sua dinâmica hidroambiental, influenciadas tanto pela expansão das atividades econômicas quanto pela variabilidade climática regional. Nesse contexto, o monitoramento contínuo da paisagem por meio de tecnologias geoespaciais torna-se ferramenta essencial para compreender os processos de transformação ambiental e subsidiar estratégias de gestão territorial sustentável (Gomes; Beltrão; De Lima, 2023).

Na BHRG, observa-se redução da precipitação em determinadas áreas e aumento da concentração das chuvas em outras, produzindo instabilidade hidroclimática que amplia a vulnerabilidade das populações rurais e urbanas. Esse comportamento é mais evidente durante eventos associados ao El Niño–Oscilação Sul (ENOS), quando tendências de alteração da precipitação foram identificadas no setor sudoeste da bacia, evidenciando variações tanto na escala anual quanto mensal (Gomes; Beltrão, 2024).

Os efeitos das mudanças climáticas sobre os recursos hídricos amazônicos têm sido observados em diferentes escalas espaciais (Fernandes, 2026). Estudos realizados na Amazônia Legal indicam alterações nas vazões mínimas de referência, aumento da frequência de eventos hidrológicos extremos e maior variabilidade dos regimes pluviométricos em bacias inseridas no Arco do Desmatamento (Costa *et al.*, 2023).

A complexidade hidrogeomorfológica da bacia do Gurupi, marcada por elevada variabilidade de relevo, solos frágeis e ocupação desordenada, reforça a exposição aos riscos ambientais. Kubota *et al.* (2019) identificaram oito unidades de terreno com diferentes suscetibilidades à erosão hídrica, destacando que as sub-bacias da região apresentam elevados riscos de instabilidade de margens fluviais, perda de solo, contaminação de águas superficiais e diminuição da recarga hídrica.

Municípios inseridos no contexto da bacia refletem essas dinâmicas pela combinação entre expansão urbana, atividades industriais e práticas agropecuárias, que promovem intensa supressão da vegetação nativa e degradação de áreas ambientalmente sensíveis, resultando em desigualdades na distribuição dos riscos ambientais (Almeida Júnior *et al.*, 2024).

Essa vulnerabilidade, entretanto, não pode ser compreendida apenas como resultado de processos naturais. Os riscos ambientais são historicamente produzidos por modelos de urbanização pouco sustentáveis, pela ausência de planejamento territorial e pela fragilidade das infraestruturas de drenagem, saneamento e abastecimento (Lampis *et al.*, 2020). Como consequência, populações de menor renda tendem a ocupar áreas mais suscetíveis a eventos hidrológicos e ambientais, reforçando ciclos de vulnerabilidade socioambiental.

Diante desse cenário, a governança ambiental é indispensável para a construção de estratégias voltadas ao uso sustentável dos recursos hídricos amazônicos. A integração entre

Os limites da bacia foram obtidos a partir das bases cartográficas oficiais disponibilizadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2024), adotando-se o Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas (SIRGAS 2000, ESPG 4674), garantindo compatibilidade entre todas as bases geoespaciais utilizadas ao longo do processamento.

A BHRG tem área total de 34.860,69 km² (Codevasf/IBGE, 2020), sendo que ocupa 13,9% do bioma amazônico maranhense, abrangendo uma área de 15.953,91 km² no estado do Maranhão. Segundo o Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos (IMESC, 2019), a BHRG possui 1.846 trechos de drenagem, totalizando 7.019,9 km de extensão de cursos de água no estado. A bacia faz parte da porção nordeste a sudoeste, configurando-se como alongada e estreita, com os pontos mais altos nos municípios de São Francisco do Brejão e Açailândia, no Maranhão. A bacia está enquadrada em uma das bacias federais, e compreende à margem direita do rio principal o território maranhense, enquanto na margem esquerda insere-se no estado do Pará.

A escolha da bacia do rio Gurupi deve-se à sua relevância ambiental, por estar inserida em uma das áreas mais vulneráveis do Arco do Desmatamento, apresentando intensa dinâmica de transformação da paisagem e elevada importância para a manutenção dos recursos hídricos da Amazônia Oriental, características que a tornam uma unidade adequada para estudos de monitoramento hidroambiental (Gomes; Beltrão; De Lima, 2023).

2.2. Base de dados

A dinâmica espaço-temporal do uso e cobertura da terra foi analisada a partir da Coleção 10 do Projeto MapBiomias (MapBiomias, 2025; Souza *et al.*, 2020), a qual foi desenvolvida a partir do processamento de imagens da série Landsat, com resolução espacial de 30 m e classificação temporal anual. A aquisição ocorreu por meio da plataforma *Google Earth Engine*. Os produtos disponibilizados passam por procedimentos de validação temática e controle de qualidade (MapBiomias, 2025; Souza *et al.*, 2020).

Na plataforma, foi utilizado o campo de busca, com “Gurupi” sendo a chave de pesquisa, na aba de bacias hidrográficas nível 2, selecionando os dados de cobertura para os anos de 2014 a 2024. O recorte temporal foi definido por compreender uma década recente de transformações ambientais na bacia, permitindo avaliar a evolução espaço-temporal das classes de uso e cobertura da terra em associação ao comportamento da precipitação e às mudanças observadas na dinâmica hidroambiental regional.

O geoprocessamento foi realizado no software QGIS, versão 3.34. Inicialmente, efetuou-se a padronização das projeções cartográficas, seguida da conferência da consistência espacial dos arquivos, delimitação da área de estudo, recorte dos rasters, elaboração dos mapas temáticos e organização das informações espaciais. Para representação cartográfica foi utilizada a paleta oficial disponibilizada pelo Projeto MapBiomias para a Coleção 10, garantindo padronização visual das classes temáticas.

Para calcular a área das diferentes classes, foi realizada a quantificação das áreas ocupadas por cada uma por meio do complemento *r.report*, pertencente ao conjunto de ferramentas GRASS GIS integrado ao QGIS, permitindo calcular automaticamente a área correspondente a cada categoria de uso e cobertura da terra em hectares. Posteriormente, os dados de cada ano foram mesclados e plotados no Excel para a produção de gráficos e observação das mudanças ao longo dos dez anos de estudo, indicando as classes que sofreram alteração.

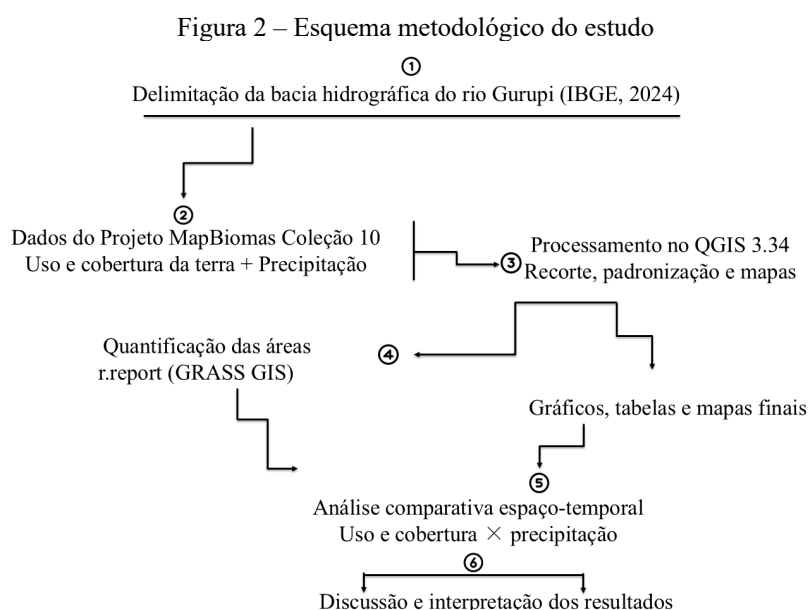
Os dados de precipitação foram obtidos por meio da Coleção 10 do Projeto MapBiomias, utilizando os produtos derivados da integração entre os conjuntos ERA5-Land, *Global Precipitation Climatology Centre* (GPCC), *Global Precipitation Measurement* (GPM) e

Copernicus Atmosphere Monitoring Service (CAMS), disponibilizados em resolução espacial compatível com as análises realizadas. Essa integração busca reduzir incertezas inerentes às diferentes bases de dados, aumentando a confiabilidade das estimativas de precipitação para aplicações ambientais (MapBiomias, 2025). O processamento foi executado na versão 3.34 do software QGIS, onde ocorreu a reclassificação e produção do compilado de mapas para análise comparativa.

Por fim, os resultados obtidos foram analisados de forma integrada, considerando a evolução temporal das classes de uso e cobertura da terra e sua relação com a distribuição espacial da precipitação ao longo do período analisado. A interpretação dos padrões observados foi realizada mediante análise comparativa entre os mapas temáticos, estatísticas de área, gráficos temporais e informações disponíveis na literatura científica, buscando identificar possíveis relações entre as transformações da paisagem, a variabilidade climática e a dinâmica hidroambiental da bacia do rio Gurupi.

A relação entre a precipitação e o uso e cobertura da terra foi estabelecida por meio da comparação espaço-temporal dos mapas produzidos para os anos de estudo, confrontando apenas a distribuição das classes de cobertura vegetal, áreas antropizadas e atividades produtivas com os padrões espaciais da precipitação anual. Embora essa abordagem não atribua uma correlação estatística das variáveis, permite visualizar regiões onde a redução da cobertura florestal coincidiu com menores volumes pluviométricos, bem como áreas com maior conservação da vegetação nativa associadas aos maiores índices de precipitação, fornecendo subsídios para a interpretação da dinâmica hidroambiental e das possíveis implicações para a segurança hídrica da bacia.

O esquema metodológico adotado neste estudo é apresentado na Figura 2, sintetizando as principais etapas de aquisição, processamento e análise dos dados.



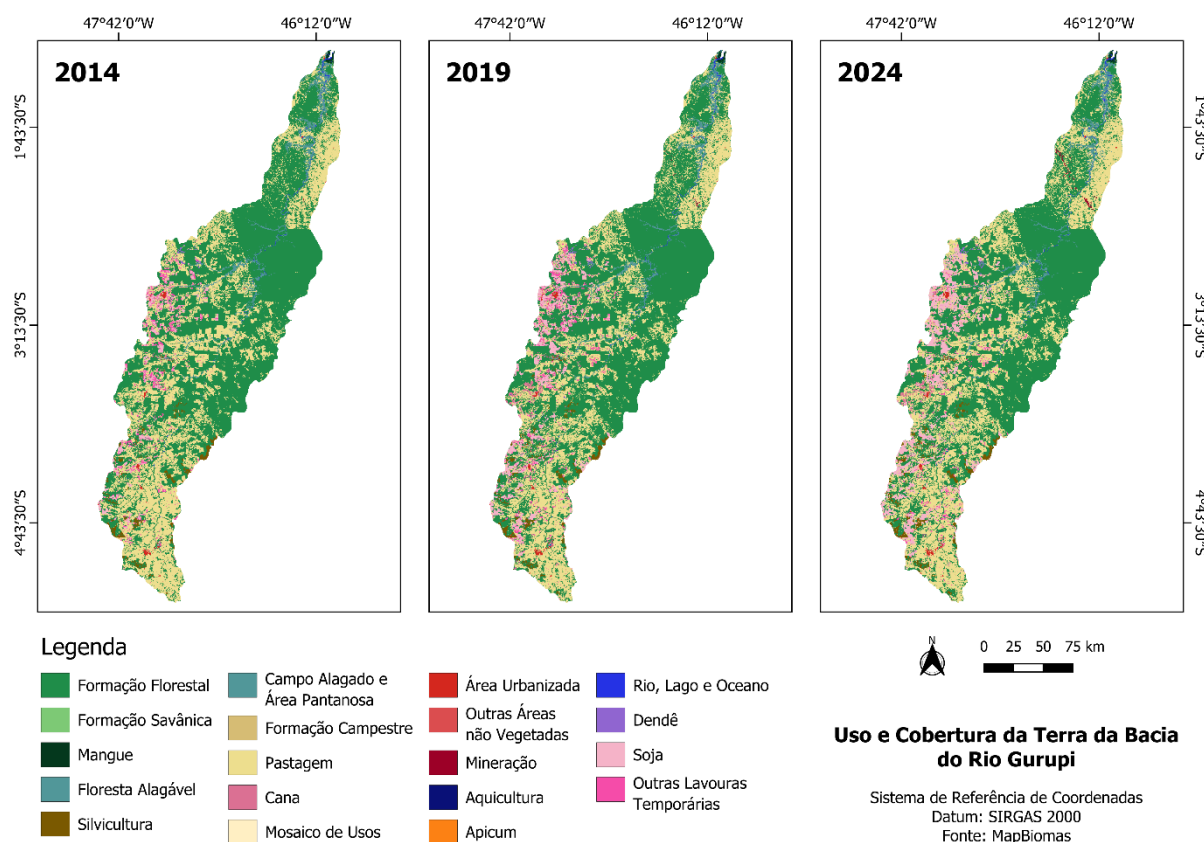
3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Foram constatadas transformações da paisagem e o surgimento de novas classes de uso na extensão territorial na BHRG ao longo do tempo. Os anos de 2014, 2019 e 2024 mostram as mudanças a cada 5 anos dentro do período de estudo (Figura 3), sendo possível avaliar o surgimento do cultivo da cana em 2016 e da aquicultura em 2015, classe que some novamente em 2024, totalizando 19 classes de cobertura dentro do período de 10 anos. Destaca-se o

aumento da soja no alto do Gurupi e o surgimento da exploração mineral do ouro iniciado no município de Cachoeira do Piriá, no estado do Pará, estendendo até o estado do Maranhão.

Padrões semelhantes foram observados em outras bacias hidrográficas da Amazônia Legal, onde a expansão das atividades agropecuárias e a intensificação da mineração vêm promovendo rápidas transformações na paisagem. De Paula, Escada e Ortiz (2022) identificaram expansão contínua das áreas agrícolas sobre antigas formações florestais na Bacia Hidrográfica do Rio Curuá-Una. Amaral *et al.* (2022) destacam que a dinâmica recente do desflorestamento na Amazônia apresenta forte associação com a expansão das fronteiras produtivas, principalmente em áreas inseridas no Arco do Desmatamento, reforçando que os padrões observados na bacia do rio Gurupi não constituem um fenômeno isolado, mas refletem um processo regional de reorganização da paisagem.

Figura 3 – Variação espaço-temporal do uso e cobertura da terra da Bacia Hidrográfica do Rio Gurupi (BHRG).

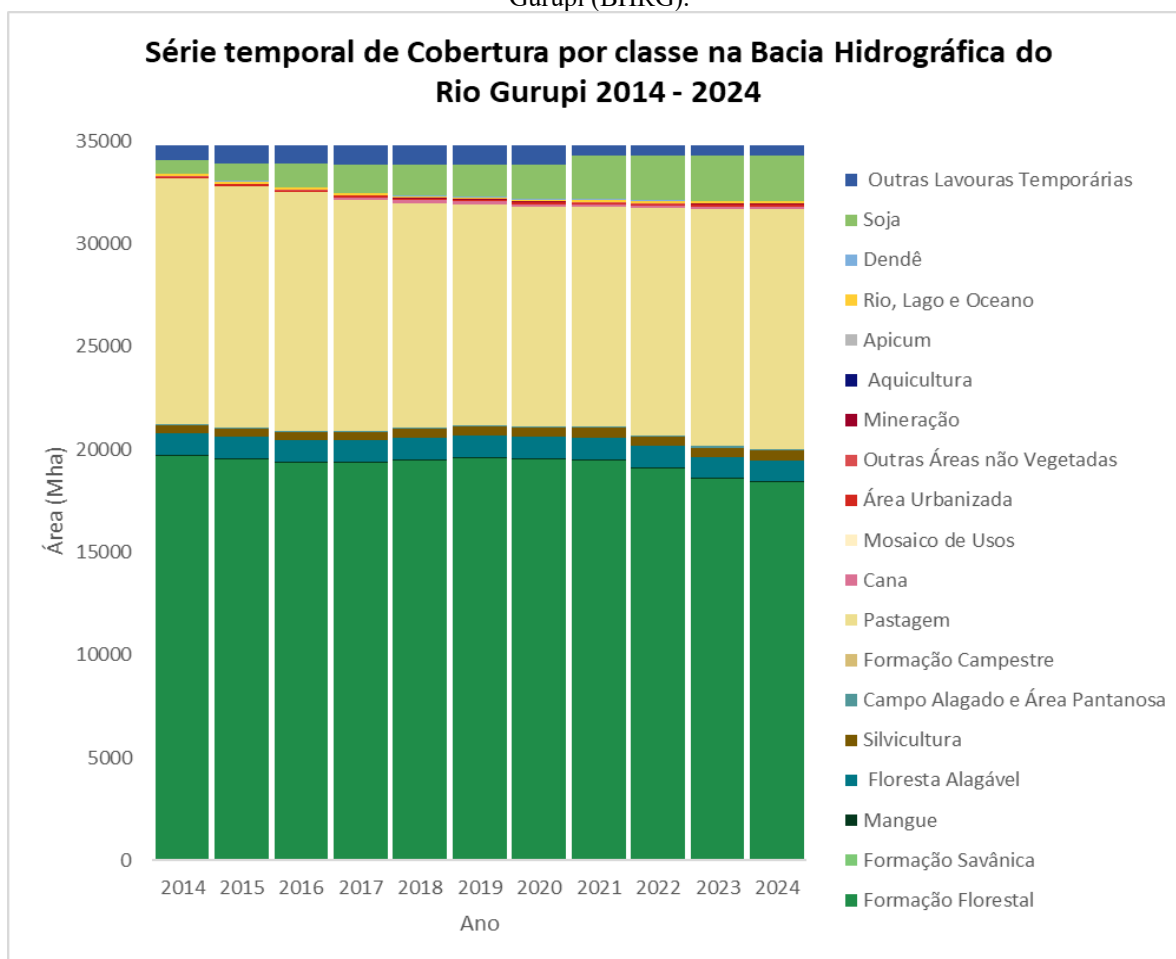


No total, foram perdidos aproximadamente 6,44% de Formação Florestal. De 2014 para 2024, houve uma queda em 2023 que refletiu nos valores em 2024, apresentando perda expressiva da classe Apicum de 60,97% sendo 2016 o período de maior baixa (Figura 4). A mineração aumentou 92,4%, sendo 2019 o ano de expansão da atividade, com o maior ganho nos anos de 2020 e 2022, estabilizando o aumento constante até 2024. Outras classes que apresentaram aumento no período de 10 anos foram a soja com 69,5%, formação Savânica com 65,17% e a silvicultura com um ganho de 18,8%.

A redução da formação florestal observada durante o período analisado representa um dos principais indicadores de alteração dos serviços ecossistêmicos da bacia. A substituição gradual da vegetação nativa por áreas agrícolas e atividades minerárias modifica processos fundamentais do ciclo hidrológico, como interceptação da chuva, infiltração da água no solo, evapotranspiração e recarga dos aquíferos. Segundo Garofolo e Rodriguez (2022), mudanças

no uso e cobertura da terra em bacias tropicais alteram o balanço hídrico, aumentando o escoamento superficial e reduzindo a capacidade natural de regulação das vazões.

Figura 4 – Variação da área de diferentes classes de uso e cobertura da terra na Bacia Hidrográfica do Rio Gurupi (BHRG).



As alterações no uso e cobertura da terra podem produzir, portanto, respostas diferenciadas no funcionamento hidrológico das bacias, uma vez que modificações na superfície terrestre interferem na dinâmica da água e podem ocorrer simultaneamente com variações nos padrões pluviométricos. Amaral *et al.* (2021) demonstraram, em estudo realizado na sub-bacia hidrográfica do rio Corrente, que a análise conjunta de dados de uso e cobertura da terra, superfície d'água e precipitação permite identificar diferentes comportamentos entre essas variáveis, evidenciando que suas interações devem ser consideradas na interpretação das transformações hidroambientais.

Ainda, Sousa *et al.* (2019), ao analisarem a bacia hidrográfica do rio São João, em Minas Gerais, observaram que a redução da cobertura florestal associada à expansão de áreas de infraestrutura esteve relacionada ao aumento das vazões máximas, interpretado pelos autores como consequência da redução do tempo de residência da água na bacia e da menor infiltração. Embora o presente estudo não tenha aplicado testes estatísticos de correlação entre precipitação e cobertura da terra, a comparação espacial realizada para a bacia do Gurupi permite reconhecer padrões coincidentes que justificam a necessidade de análises integradas em estudos futuros, reforçando que modificações na estrutura da paisagem podem alterar os processos de armazenamento, infiltração e escoamento da água.

Além dos impactos hidrológicos, a expansão das atividades econômicas observada na bacia do Gurupi evidencia o desafio de compatibilizar desenvolvimento regional e conservação

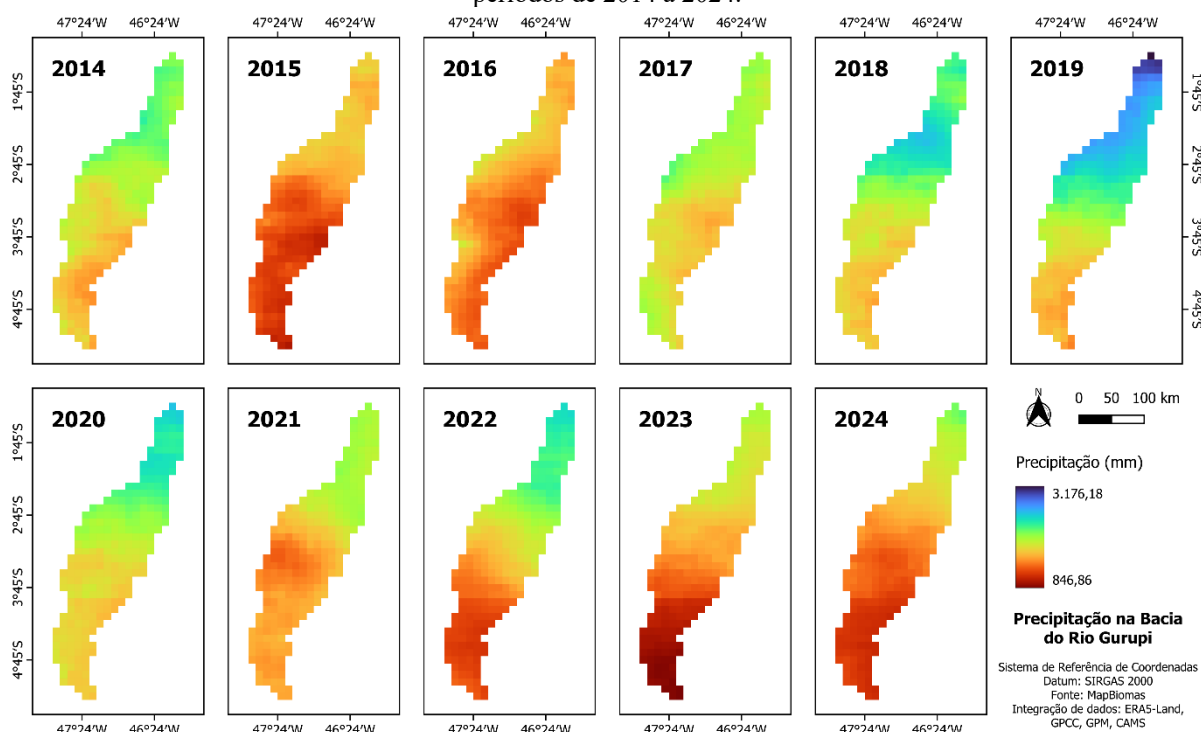
ambiental. O crescimento das áreas destinadas à agricultura mecanizada, silvicultura e mineração acompanha a tendência observada para diferentes setores da Amazônia Legal, onde a ocupação territorial ocorre de forma acelerada e frequentemente dissociada do planejamento ambiental (Amaral *et al.*, 2022).

Como aponta Assis *et al.* (2025), os efeitos dessas mudanças resultam em fatores econômicos e sociais ao longo do tempo, bem como alertam sobre a importância da sustentabilidade no processo de ocupação e utilização da terra, a conservação da biodiversidade e a resiliência dos ecossistemas, pois é notável que as formações naturais ao longo dos anos estão em processo de transição entre pastagens, áreas de uso agrícolas e mineração.

Ao analisar a dinâmica da precipitação na área de estudo, constatou-se uma diferença importante na divisão pluviométrica na Bacia do Gurupi (Figura 5). O alto do Gurupi apresenta menores volumes de chuva comparados ao baixo Gurupi. Essa disparidade pode influenciar diretamente a disponibilidade hídrica onde há tendências de declínio da precipitação ou o aumento excessivo dela.

Cessa *et al.* (2022) associou que a distribuição espacial da precipitação apresenta comportamento heterogêneo dentro das bacias hidrográficas, podendo estar associado a características fisiográficas e à atuação dos sistemas meteorológicos. Os autores observaram diferenças na ocupação da terra entre as regiões submetidas a distintos níveis pluviométricos. Ainda, destacaram que fatores como altitude e posição em relação ao relevo podem influenciar a distribuição das chuvas. Dessa forma, a diferença pluviométrica identificada entre o alto e o baixo Gurupi pode ser interpretada considerando também as características espaciais e fisiográficas da bacia, evitando atribuir exclusivamente às mudanças na cobertura da terra os padrões observados.

Figura 5 – Dinâmica interanual espacial da precipitação na Bacia Hidrográfica do Rio Gurupi (BHRG) nos períodos de 2014 a 2024.



Quando as regiões do alto e baixo Gurupi são observadas quanto a cobertura da terra, visualiza-se que a região de maior precipitação anual tem também a maior cobertura florestal, tendo em vista a presença de Terras Indígenas bem conservadas, como a do Turiaçu, enquanto

a região com menor cobertura florestal é ocupada majoritariamente por campos de soja e pastagem, possuindo os menores valores de precipitação.

Embora a precipitação seja controlada por processos atmosféricos de micro, meso e macroescala, estudos demonstram que alterações na cobertura vegetal influenciam significativamente o balanço energético da superfície e a reciclagem de umidade. A manutenção de extensas áreas florestais favorece a evapotranspiração, contribuindo para o transporte de vapor d'água e para a formação das chuvas. Dessa forma, áreas que preservam maior cobertura florestal tendem a apresentar maior estabilidade dos regimes hidrológicos quando comparadas às regiões submetidas à intensa conversão da paisagem (Costa *et al.*, 2023; Fernandes, 2026). Os resultados encontrados na BHRG corroboram essa tendência, uma vez que os maiores volumes pluviométricos coincidem espacialmente com áreas de maior conservação florestal, especialmente nas regiões onde predominam Terras Indígenas e remanescentes de vegetação nativa.

A interpretação da relação entre precipitação e cobertura da terra considera a complexidade dos processos ambientais envolvidos, uma vez que a resposta da paisagem à ocorrência de chuvas não depende exclusivamente da quantidade precipitada. Stefanuto e Lupinacci (2023), investigaram a evolução de uma voçoroca em área submetida a pastagem e observaram que determinados períodos de maior evolução erosiva apresentaram correspondência com os dados pluviométricos, enquanto em outros momentos a dinâmica esteve mais associada às características dos solos e à cobertura arbustiva e arbórea. Os resultados demonstram que diferentes componentes ambientais podem atuar conjuntamente na resposta da paisagem aos eventos de precipitação.

A resposta da vegetação às variações da precipitação também pode ocorrer em diferentes escalas temporais, não sendo necessariamente simultânea à ocorrência dos eventos de chuva. Nicácio *et al.* (2011), identificaram respostas diferenciadas da vegetação aos aumentos e reduções dos totais pluviométricos, com maior associação entre o índice de vegetação e a precipitação acumulada em períodos de quatro a cinco meses. Os autores também observaram diferenças na resposta em áreas com predominância agrícola, associadas às características dos ciclos das culturas e à resolução espacial dos dados.

Para o período analisado nesse estudo, o ano de maior precipitação foi 2019, enquanto o menor foi 2015. Como abordam Gomes e Beltrão (2024), muitos fatores climáticos podem ser responsáveis pela intensificação desses eventos. Um dos mais conhecidos é o El Niño Oscilação Sul (ENOS), composto pelas fases El Niño e La Niña, que ocorrem na porção tropical do oceano Pacífico, em que os mecanismos climáticos recebem influência da interação oceano-atmosfera, podendo favorecer o aumento da precipitação na ocorrência de La Niña e redução pelo El Niño para a região de interesse.

Além disso, verificou-se tendência de redução nos valores de precipitação anual em séries históricas da Bacia do Gurupi (Figura 6), onde apenas 2018 e 2019 (ano de maior precipitação) superam 2.000 mm. Por outro lado, 2015 foi o ano em que a precipitação alcançou mínima significativa, sendo o menor valor da série, o que pode estar relacionado com a intensificação das mudanças climáticas sobre os efeitos extremos de eventos naturais como o do El Niño, que teve ocorrência histórica nesse mesmo ano.

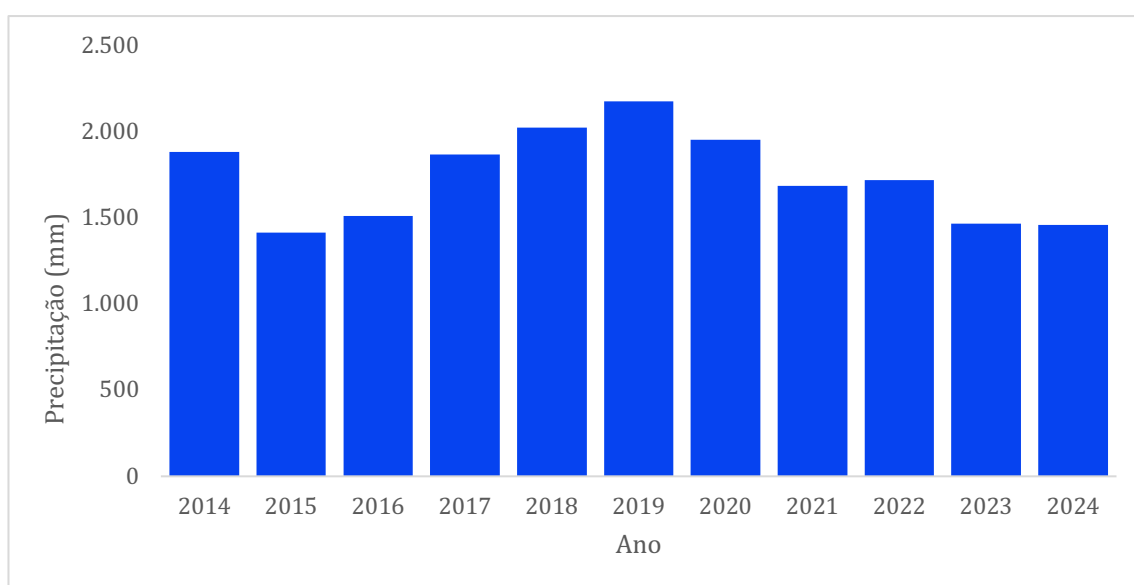
As modificações da superfície terrestre também podem interferir nos processos atmosféricos responsáveis pela formação e distribuição da precipitação, embora essa relação dependa das características climáticas e espaciais de cada região. Picolo, Freitas e Machado (2025) demonstraram que cenários futuros de alteração do uso e cobertura da terra e de aumento do fluxo de calor antropogênico podem intensificar a precipitação, ampliando tanto sua intensidade quanto sua área de ocorrência.

O comportamento observado ao longo da série histórica demonstra que os extremos pluviométricos recentes coincidem com eventos climáticos globais associados ao El Niño—

Oscilação Sul (ENOS). Durante episódios de El Niño ocorre redução do transporte de umidade sobre grande parte da Amazônia Oriental, favorecendo períodos prolongados de estiagem. Em contrapartida, episódios de La Niña tendem a intensificar a precipitação regional. Gomes e Beltrão (2024) demonstram que esses mecanismos oceano-atmosfera exercem influência direta sobre a variabilidade hidroclimática da BHRG, comportamento igualmente identificado nos resultados deste estudo.

Sendo assim, a variabilidade da precipitação deve considerar a atuação de mecanismos climáticos de diferentes escalas. Alves, Gonçalves e Nascimento (2022) analisaram cinco décadas de precipitação e identificaram predominância de tendências estatisticamente não significativas, mas também observaram períodos de extremos de seca e umidade associados às fases do ENOS, uma vez que a precipitação responde a múltiplos condicionantes climáticos e oceano-atmosféricos.

Figura 6 – Precipitação interanual da Bacia Hidrográfica do Rio Gurupi nos períodos de 2014 a 2024.



Apesar da variabilidade interanual característica dos regimes pluviométricos amazônicos, observa-se que os anos mais recentes apresentaram menor frequência de precipitações superiores a 2.000 mm, sugerindo possíveis implicações para a disponibilidade hídrica. Esse comportamento merece atenção, sobretudo em cenários futuros de intensificação das mudanças climáticas.

Para compreender os efeitos da precipitação na região é importante analisar que a bacia do Gurupi possui pouca susceptibilidade a inundações, baixa susceptibilidade a enchentes e baixo índice de densidade hidrológico tendo número inferior a um curso d'água por quilômetro quadrado, que somado ao índice de densidade de drenagem baixo e baixo coeficiente de capacidade resultam em um cenário de preocupação com a continuidade de suas sub-bacias (Araújo *et al.*, 2017). Isso é agravado principalmente no alto Gurupi onde a cobertura de floresta natural é reduzida e existem grandes indícios de degradação que, quando comparados aos índices de precipitação evidenciam o potencial risco para a segurança hídrica da região.

Sob a perspectiva da segurança hídrica, os resultados obtidos evidenciam que a redução da cobertura vegetal associada às alterações no regime de precipitação pode comprometer a disponibilidade de água em escala local e regional. Esse cenário tende a afetar tanto os ecossistemas quanto as atividades produtivas que dependem diretamente dos recursos hídricos, reforçando a necessidade de fortalecimento das políticas de gestão integrada das bacias hidrográficas.

A interação entre uso e cobertura da terra e precipitação possui implicações que ultrapassam a distribuição espacial dos volumes pluviométricos, podendo repercutir sobre diferentes componentes do funcionamento das bacias hidrográficas, como afirmam De Paula, Benedetti e Filho (2016), ao identificarem influência conjunta das alterações no uso e cobertura da terra e da ocorrência de precipitação sobre parâmetros relacionados à dinâmica da água, destacando a importância das áreas agrícolas e de solo exposto nesse processo. Essa evidência demonstra as alterações da paisagem e a variabilidade pluviométrica como componentes interdependentes do funcionamento hidroambiental das bacias.

Maia, Sobrinho e Mendes (2025) ressaltam que a gestão das águas na Amazônia depende da incorporação de instrumentos de governança capazes de integrar monitoramento ambiental, planejamento territorial e políticas públicas. Nesse contexto, tecnologias geoespaciais tornam-se ferramentas estratégicas para subsidiar a tomada de decisão, permitindo acompanhar continuamente as transformações da paisagem e identificar áreas prioritárias para conservação.

Segundo a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2012) a bacia do Gurupi está inserida em uma das extremidades do “Arco do Desmatamento”, que é uma ampla faixa que marca a transição das regiões norte e centro-oeste e representa uma frente de avanço de atividades agropecuárias associada ao intenso desmatamento ocorrido nas últimas décadas. Na parte alta da bacia estão concentradas diversas atividades industriais, de serrarias, madeireiras e carvoarias, siderúrgicas, atividades de garimpo e mineração de ouro na parte baixa dos rios.

Portanto, a identificação das principais formas de uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do Rio Gurupi, demonstraram o avanço das atividades econômicas e o surgimento de problemas socioambientais associados aos impactos causados pela falta de planejamento sustentável na utilização da terra. Nos períodos de 2014 a 2024 houveram perdas de classes significativas a supressão da vegetação, com substituição de diversos ecossistemas que são essenciais para a manutenção do ciclo hidrológico. A comparação espacial dos dados evidencia a ocorrência de padrões coincidentes entre a cobertura vegetal e o volume de precipitação anual, cujos padrões podem apresentar implicações para a segurança hídrica da bacia.

Sob o ponto de vista tecnológico, o emprego dos produtos disponibilizados pelo Projeto MapBiomias demonstrou elevado potencial para o monitoramento hidroambiental em escala de bacias hidrográficas. A disponibilidade de séries históricas anuais, aliada ao processamento em ambiente de computação em nuvem, permite acompanhar a evolução da paisagem com elevada consistência espacial e temporal, reduzindo custos operacionais e ampliando as possibilidades de aplicação em estudos ambientais, planejamento territorial e formulação de políticas públicas. Dessa forma, a metodologia empregada demonstra ser uma alternativa eficiente, reprodutível e de baixo custo para o monitoramento contínuo de bacias hidrográficas amazônicas, contribuindo para o desenvolvimento de estratégias de gestão ambiental baseadas em evidências científicas.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo proposto neste estudo foi alcançado. As transformações no uso da terra estão diretamente associadas ao avanço das atividades de desenvolvimento econômico regional, principalmente agricultura, silvicultura e mineração, refletindo alterações na dinâmica hidroambiental da bacia.

O alto Gurupi apresentou os maiores índices de transformação da paisagem, acompanhados por menores valores de precipitação, enquanto a porção inferior da bacia concentrou o maior crescimento das atividades minerárias. Ademais, as áreas com maior

conservação florestal apresentaram, de modo geral, maiores volumes pluviométricos, enquanto regiões mais antropizadas registraram menores índices de precipitação.

Porém, eventos de precipitação dependem de análises multivariadas, haja vista a série de variáveis ambientais que envolvem o fenômeno. Assim, foi possível apenas evidenciar que essa comparação pode denunciar a existência de uma relação entre a manutenção da vegetação nativa, o comportamento hidroambiental e a segurança hídrica da bacia.

Os resultados também demonstram que as tecnologias geoespaciais empregadas, como os produtos disponibilizados pelo Projeto MapBiomias associados aos Sistemas de Informações Geográficas, constituem importantes ferramentas para o monitoramento hidroambiental da Amazônia, permitindo acompanhar de forma contínua a evolução da paisagem, identificar áreas prioritárias para conservação e subsidiar ações de planejamento territorial, gestão dos recursos hídricos e formulação de políticas públicas voltadas ao desenvolvimento sustentável.

Todavia, destaca-se que os dados de uso e cobertura da terra fornecidos pelo Projeto MapBiomias possuem classificação destinada principalmente a interpretações em escalas regionais, apresentando limitações para identificação de alterações em pequenas áreas, em razão da resolução espacial de 30 metros das imagens Landsat utilizadas no processo de classificação. Da mesma forma, os dados de precipitação empregados neste estudo ainda se encontram em fase beta dentro do módulo Atmosfera da Coleção 10, sendo mais indicados para análises regionais do que para avaliações hidrológicas de elevada precisão em pequenos recortes espaciais.

Apesar dessas limitações, os dados obtidos demonstram a elevada capacidade das tecnologias geoespaciais em fornecer informações consistentes para o monitoramento ambiental da bacia do rio Gurupi, permitindo compreender padrões de transformação da paisagem e sua relação com a dinâmica da precipitação ao longo da última década.

Dessa forma, recomenda-se que pesquisas futuras realizem análises hidrológicas, integrando dados de maior resolução espacial, séries hidrometeorológicas observadas, modelagem hidrológica e outras técnicas de sensoriamento remoto, ampliando a compreensão dos impactos das mudanças no uso da terra sobre a disponibilidade hídrica. Considerando que este estudo já evidencia importantes alterações ambientais e tendências de instabilidade hidroclimática, seus resultados reforçam a necessidade de fortalecimento das ações de gestão territorial, governança ambiental e monitoramento contínuo como estratégias fundamentais para a conservação dos recursos naturais, a manutenção da segurança hídrica e a sustentabilidade da bacia hidrográfica do rio Gurupi.

5. REFERÊNCIAS

ASSIS, P. C. *et al.* Implicações das transformações no uso e cobertura da terra na gestão hídrica da bacia hidrográfica do rio Araguaia. **Revista Geotemas**, v. 15, 2025.

ARAÚJO, A. *et al.* Análise morfométrica de quatro sub-bacias hidrográficas do Rio Gurupi na Amazônia Oriental. **Ciência e sustentabilidade**, v. 3, 2017.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Panorama da qualidade das águas superficiais do Brasil 2012**. 2012.

_____. Catálogo de metadados. **Base hidrográfica ottocodificada 2017**. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/por/catalog.search#/search?any=ottocodificada>

ALMEIDA JÚNIOR; J. P. *et al.* Dinâmica de uso e ocupação do solo gerado pelo desenvolvimento agropecuário e industrial em Açailândia-MA, na Amazônia Oriental Brasileira. **Caderno Pedagógico**, Marabá, v. 21, n. 8, 2024.

ALVES, J. E.; GONÇALVES, T. S.; NASCIMENTO, S. A. M. Precipitação na Bacia Hidrográfica do Rio Cachoeira, Nordeste do Brasil: tendências e variabilidade (1970-2020). **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais**, Belém, v. 17, n. 2, p. 527-542, 2022.

AMARAL, F. G. *et al.* Evolução recente do desflorestamento na Amazônia legal: supressão, trajetórias e seus padrões. In: MENEZES, P. M. L.; FERNANDES, M. C.; CRUZ, C. B. M. (org.). **Cartografias do ontem, hoje e amanhã**. 1. ed. Curitiba: Appris, 2022. p. 239-266.

AMARAL, A. K. N. *et al.* A influência da variabilidade da superfície d'água nas mudanças de uso e cobertura do solo e da precipitação na sub-bacia hidrográfica do Rio Corrente (Goiás/Brasil). In: FARIA, Karla Maria Silva de; TRINDADE, Silas Pereira; SANTOS, Rodrigo Lima; BATISTA, Jaqueline Gomes (org.). **Planejamento e desenvolvimento sustentável em bacias hidrográficas**. Goiânia: Cegraf UFG, 2021. p. 381.

CELENTANO, D. *et al.* Desmatamento, degradação e violência no "Mosaico Gurupi" – A região mais ameaçada da Amazônia. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 32, p. 315-339, 2018.

CESSA, R. M. A. *et al.* Evaluation of land use and occupation considering the spatialization of precipitation in the northeastern Mato Grosso sub-basins. **Revista Agrogeoambiental**, [S. l.], v. 14, n. 1, p. e20221686, 2022. DOI: 10.18406/2316-1817v14n120221686.

CIÊNCIA JÚNIOR, A. N. *et al.* Water Security in the Context of the Global Climate Emergency. In: BERSE, K. B.; PULHIN, J. M.; LA VIÑA, A. G. M. (eds). **Climate Emergency in the Philippines: Impacts and Imperatives for Urgent Policy Action**. Singapore: Springer Nature Singapore, 2024. p. 119-144.

CODEVASF. **Gurupi**. Brasília: Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba, [2025]. Disponível em: <https://legado-site.codevasf.gov.br/acesso-a-informacao/institucional/area-de-atuacao/bacia-hidrografica/gurupi>.

COSTA, G. K. L. *et al.* Impacto das mudanças climáticas nas vazões mínimas de referência de pequenas bacias hidrográficas na Amazônia Legal e dentro do arco do desflorestamento. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 20, 2023.

COSTA, A. T. M.; SANTANA NETO, H. G. A governança ambiental cooperativa para uma gestão integrada dos recursos hídricos na Amazônia brasileira. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 10, n. 8, p. 113-131, 2024.

DE PAULA, D. S.; ESCADA, M. I. S.; ORTIZ, J. O. Análise multitemporal do uso e cobertura da terra na Amazônia: a expansão da agricultura de larga escala na bacia do Rio Curuá-Una. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 74, n. 2, p. 379-398, 2022.

DE PAULA, M. R.; BENEDETTI, A. C. P.; FILHO, W. P. Influência do uso e cobertura da terra aliado à precipitação pluviométrica na qualidade da água da Bacia Hidrográfica do Rio

Ingaí – RS/Brasil. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, v. 32, p. 143-152, 2016. DOI: 10.11606/rdg.v2i0.119330.

DE SOUSA, R. G. *et al.* Análise da precipitação, vazão, uso e cobertura da terra na bacia do rio São João/Mg. **Revista Augustus**, v. 24, n. 49, p. 146-154, 2019.

DIAS, E. M. S. *et al.* Mudanças Climáticas e Segurança Hídrica: cenários de crise e violação de direitos no semiárido brasileiro. In: Encontro Nacional da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Planejamento Urbano e Regional, v. 20, 2023, Belém. **Anais...** Belo Horizonte: ANPUR, 2023.

FERNANDES, A. F. **Mudanças climáticas na Amazônia: análise espaço - temporal da precipitação e dos impactos nos rios paraenses.** 2026. 24 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Geografia) - Campus Universitário de Altamira, Universidade Federal do Pará, Altamira, 2026.

GAROFOLLO, L.; RODRIGUEZ, D. A. Impacto observado das mudanças no uso e cobertura da terra na hidrologia de bacias com ênfase em regiões tropicais. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 42, 2022.

GOMES, D. J. C.; BELTRÃO, N. E. S. Impactos de especificidades da interação oceano-atmosfera na hidrometeorologia da bacia hidrográfica do rio Gurupi, Amazônia Oriental. **Revista Brasileira de Climatologia, Curitiba**, v. 34, p. 643-667, 2024.

GOMES, D. J. C.; BELTRÃO, N. E. S.; LIMA, A. M. M. Influence of climatic phenomena and deforestation on hydroenvironmental fragility, Gurupi River watershed, Northern Brazil. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, v. 58, n. 3, p. 375-385, 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Malhas digitais.** 2024. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais/15774-malhas.html>

KUBOTA, N. A. *et al.* Hidrogeomorfologia e susceptibilidade à erosão da bacia do rio Gurupi (PA-MA). **Revista Geográfica Acadêmica**, Vitória da Conquista, v. 13, n. 2, p. 67-89, 2019.

LAMPIS, A. *et al.* A produção de riscos e desastres na América Latina em um contexto de emergência climática. **O Social em Questão**, Rio de Janeiro, v. 23, n. 48, p. 75-96, 2020.

MAPBIOMAS. **Uso e cobertura da terra**, 2025. Disponível em: <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/>, acessado em jan. de 2026.

MAPBIOMAS. **Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) – Coleção 10: Mapeamento anual de cobertura e uso da terra do Brasil.** MapBiomias, 2025.

MARANHÃO (Estado). Instituto Maranhense de Estudos Socioeconômicos e Cartográficos - IMESC. **Relatório Técnico de Recursos Hídricos Superficiais: hidrografia e hidrologia do Zoneamento Ecológico Econômico do Estado do Maranhão (ZEE) – Etapa Bioma Amazônico.** São Luís: IMESC, 2019.

MAIA, P. C. C; SOBRINHO, M. V.; MENDES, R. L. R.. Governança da água na Amazônia Paraense: uma análise no uso da outorga de direito de uso dos recursos hídricos. **Solidariedade & Sustentabilidade**, v. 1, n. 1, 2025.

NICÁCIO, R. M. *et al.* Relação NDVI e precipitação na bacia do rio Coxim - MS. **Geografia**, [S. l.], v. 34, p. 667-680, 2011.

OJIMA, R.; MARANDOLA JUNIOR., E. Indicadores e políticas públicas de adaptação às mudanças climáticas: vulnerabilidade, população e urbanização. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais**, São Paulo, n. 18, p. 16-24, 2010.

PEREIRA, F.; FERNANDES, D.; VIEIRA, I. Impacts of Land Use and Land Cover Change on Ecosystem Service Values in the Eastern Amazon. **Ambiente & Sociedade**, v. 27, 2024.

PICOLO, M. F.; FREITAS, E. D. de; MACHADO, C. B. Impacts of future urbanization scenarios on precipitation patterns over the metropolitan area of São Paulo (MASP): insights from numerical simulation. **Urban Climate**, v. 59, 2025, 102288. DOI: 10.1016/j.uclim.2025.102288.

SOUZA, C. M. *et al.* Reconstructing three decades of land use and land cover changes in Brazilian biomes with Landsat archive and Earth Engine. **Remote Sensing**, v. 12, n. 17, 2020.

STEFANUTO, E. B.; LUPINACCI, C. M. A complexa relação entre precipitação, uso e cobertura da terra, solos e evolução de taludes erosivos de voçorocas. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, [S. l.], v. 24, n. 3, 2023. DOI: 10.20502/rbg.v24i3.2266.

NOTAS

CONTRIBUIÇÃO DE AUTORIA

Concepção e elaboração do manuscrito: J. F. L. MOURA, C. D. S. VIZENTIN, Y. A. S. ROCHA

Coleta de dados: J. F. L. MOURA, C. D. S. VIZENTIN

Análise de dados: J. F. L. MOURA, C. D. S. VIZENTIN, Y. A. S. ROCHA, A. M. M. LIMA

Discussão dos resultados: J. F. L. MOURA, C. D. S. VIZENTIN, Y. A. S. ROCHA, A. M. M. LIMA

Revisão e aprovação: A. M. M. LIMA

PREPRINTS

O manuscrito não é um preprint.

AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA) da Universidade Federal do Pará em parceria com a EMBRAPA e Museu Goeldi. Ao Laboratório de Estudos e Modelagem Hidroambientais.

FINANCIAMENTO

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

CONFLITO DE INTERESSES

Os autores declaram não haver conflito de interesses.

DISPONIBILIDADE DE DADOS DE PESQUISA E OUTROS MATERIAIS

Os dados foram publicados no próprio artigo. Todo o conjunto de dados que dá suporte aos resultados deste estudo está incluído no corpo do artigo.

ANUÊNCIA DE AVALIAÇÃO ABERTA

Sim.



O conteúdo deste trabalho pode ser usado sob os termos da licença Creative Commons Attribution 4.0. Qualquer outra distribuição deste trabalho deve manter a atribuição ao(s) autor(es) e o título do trabalho, citação da revista e DOI.