



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Avaliação da dinâmica geoespacial, morfométrica e ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Pericumã, Maranhão

Denyse Rayanna Rodrigues Ribeiro¹, Leonardo Azevedo Serra², Leonardo Silva Soares³, Adilson Matheus Borges Machado⁴

¹ Graduada em Engenharia de Pesca, pela Universidade Federal do Maranhão, Pós-Graduada em Meio Ambiente e Sustentabilidade, pelo Instituto Federal do Maranhão, Cutindiba, s/n, CEP 65200-000, Pinheiro, Maranhão. (98) 99120-0942. denyserayanna07@outlook.com (autor correspondente). ² Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Pesquisador, Universidade Federal do Maranhão, Avenida dos Portugueses, nº1966, Vila Bacanga, CEP 65080-805, São Luís, Maranhão. (98) 981821278 leonardo.serra2@gmail.com. ³ Professor Dr., Departamento de Oceanografia e Limnologia, Unidade Federal do Maranhão, Avenida dos Portugueses, nº1966, Vila Bacanga, CEP 65080-805, São Luís, Maranhão. (98) 98707-5657. leonardo.soares@ufma.br. ⁴ Professor Dr., Coordenação de Engenharia de Pesca, Campus Pinheiro, Universidade Federal do Maranhão, Estrada Pinheiro-Pacas, Km 10, Enseada, s/n, CEP 65200-000, Pinheiro, Maranhão. (98) 98189-1618. adilson.borges@ufma.br.

Artigo recebido em 19/09/2023 e aceito em 10/03/2024

RESUMO

As bacias hidrográficas são unidades territoriais que promovem o desenvolvimento sustentável. Para isso é necessário o profundo conhecimento do seu relevo e da sua drenagem, o que é possível pelo uso da morfometria associada a informações geoespaciais. Nesta perspectiva, o objetivo do presente estudo é avaliar a dinâmica geoespacial, morfométrica e de cobertura da terra visando a compreensão da dinâmica hidrológica da paisagem da Bacia Hidrográfica do Rio Pericumã (BHRP). A caracterização morfométrica foi feita a partir do Modelo Digital de Elevação (MDE) do projeto TOPODATA, a drenagem foi vetorizada e ordenada manualmente com base nas cartas topográficas da Diretoria de Serviço Geográfico do Exército e o MDE. Para a geração dos mapas de uso e cobertura da terra da BHRP, utilizou-se a plataforma do Google Earth Engine para obtenção dos dados do Projeto de Mapeamento Anual de Cobertura e Uso do Solo. A BHRP apresenta drenagem de 6ª ordem, possui formato alongado e padrão dendrítico, que reflete a interação entre clima e geologia. Verificou-se que os usos e cobertura da terra auxiliaram na correlação dos impactos ambientais e as ações antrópicas; a classe de formação florestal foi mais observada em todos os anos analisados, a que mais cresceu foi pastagem, causando alterações extremas no regime hidrológico, associada à maior declividade, pode conduzir à maior velocidade de escoamento. Logo, a crescente expansão de pastagens exerce pressão sobre a vegetação e os recursos hídricos, é importante ter dados para auxiliar na gestão de controle e recuperação dos locais suscetíveis à degradação.

Palavras-chave: Avaliação geossistêmica. Morfometria. Hidrografia.

Evaluation of the geospatial, morphometric and environmental dynamics of Pericumã River Hydrographic Basin, Maranhão

ABSTRACT

Watersheds are territorial units that promote sustainable development. For this, it is necessary to have a deep knowledge of its relief and drainage, which is possible through the use of morphometry associated with geospatial information. In this perspective, the objective of the present study is to evaluate the geospatial, morphometric and land cover dynamics in order to understand the hydrological dynamics of the landscape of the Pericumã River Basin (BHRP). The morphometric characterization was made from the Digital Elevation Model (DEM) of the TOPODATA project, the drainage was vectorized and manually ordered based on the topographical maps of the Directorate of Geographical Service of the Army and the MDE. To generate the BHRP land use and land cover maps, the Google Earth Engine platform was used to obtain data from the Annual Land Cover and Use Mapping Project. The BHRP presents 6th order drainage, has an elongated shape and a dendritic pattern, which reflects the interaction between climate and geology. It was found that the uses and land cover helped in the correlation of environmental impacts and human actions; the forest formation class was most observed in all the years analyzed, the one that grew the most was pasture, causing extreme changes in the hydrological regime, associated with greater slope, which can lead to greater flow velocity. Therefore, the increasing expansion of pastures puts pressure on vegetation and water resources, it is important to have data to assist in the management of control and recovery of areas susceptible to degradation.

Keywords: Geosystemic assessment. Morphometry. Hydrography.

Introdução

A escolha da bacia hidrográfica como unidade de planejamento ambiental possui grande relevância ambiental, pois os processos ecológicos estão muito mais relacionados à formação hidrogeomorfológica do ambiente do que a fronteiras geopolíticas (Machado *et al.*, 2023). As bacias hidrográficas são unidades territoriais que possuem interface ambiental, física, biológica, social, econômica, assim como, unidades políticas para fins de planejamento e implementação de atividades de gestão, com vistas ao futuro sustentável para promover o adequado desenvolvimento dos recursos hídricos (Rai *et al.*, 2018).

As bacias hidrográficas desempenham um papel fundamental no equilíbrio ecológico e na disponibilidade de recursos hídricos. A morfometria das bacias hidrográficas refere-se às características físicas, como área, perímetro, forma, relevo e altitude, que influenciam o comportamento hidrológico da região. A morfometria engloba medições e análises fundamentais para avaliar a potencialidade morfogenética, gerando um conhecimento profundo da dinâmica local (Costa *et al.*, 2024). Esses dados são essenciais para o planejamento e gestão sustentável dos recursos hídricos, auxiliando na previsão de eventos extremos, como enchentes e secas.

A morfometria refere-se a um método analítico que considera o conjunto de indicadores que constituem o relevo, aspectos hidrológicos, topográficos e pedológicos como a área, a forma, o sistema de drenagem e a dimensão em várias escalas. O referencial norteador dos parâmetros morfométricos em bacias hidrográficas foi lançado principalmente por Horton (1932), Miller (1953); Schumm (1956; 1963), Strahler (1957; 1958), e no Brasil por Christofletti (1980) e Lima (1969). A análise morfométrica técnica de sensoriamento remoto nos Sistemas de Informação Geográfica (SIG) é muito importante para avaliação hidrológica de superfície das bacias hidrográficas (Banerjee *et al.*, 2017, Kumar *et al.*, 2022,).

A geomorfologia das bacias hidrográficas por sua vez estuda as formas de relevo e os processos que as moldaram ao longo do tempo. Compreender a geomorfologia de uma bacia é crucial para identificar áreas propensas à erosão, sedimentação e assoreamento dos corpos d'água. Além disso, a análise geomorfológica pode contribuir para a conservação da biodiversidade, a recuperação de áreas degradadas e o planejamento

de usos do solo compatíveis com a sustentabilidade ambiental.

As informações geoespaciais analíticas em bacias hidrográficas permitem analisar diversos parâmetros, alguns destes são utilizados para obter informações bases para o desenvolvimento, realizações de projetos e estudos associados às atividades antrópicas em diversas escalas (Werneck, 2010). O aumento desordenado da ocupação urbana pode causar outros problemas associados à alteração morfométrica dos canais de drenagem, podendo também ocasionar outros graves problemas, como a diminuição da qualidade da água que pode gerar riscos para a saúde pública. As análises de uso da terra são um componente importante na compreensão das interações das atividades humanas com o meio ambiente. O estudo da morfometria e geomorfologia das bacias hidrográficas é essencial para a gestão integrada dos recursos hídricos e a promoção de práticas sustentáveis de uso da terra.

Para compreender os processos de degradação ambiental associados a alterações no uso do solo, é crucial monitorar e controlar os fatores ligados ao aumento da produção agrícola. Isso é essencial para garantir a sustentabilidade do processo e a segurança alimentar (Moro *et al.*, 2022). O desenvolvimento de tecnologias que possibilitem a elevação da produtividade e o aumento de áreas cultivadas são medidas que deverão ser adotadas como alternativas para suprir a demanda alimentar mundial (Oliveira *et al.*, 2024). O monitoramento preciso dos usos da terra desempenha um papel crítico na segurança alimentar, planejamento, modelagem hidrológica e gestão de recursos naturais, questões fundamentais para monitorar a gestão e o planejamento de bacias hidrográficas (Rao *et al.*, 2022).

Sendo constatada a ausência de cobertura vegetal, a classe de solo e intensidade de chuvas, dentre outros fatores, quando associada à maior declividade, conduzirá à maior velocidade de escoamento, menor quantidade de água armazenada no solo e provocará enchentes, sujeitando a bacia à degradação (Coutinho *et al.*, 2011). A baixa presença de vegetação nativa aumenta as possibilidades de erosão do solo e a falta de proteção dos recursos hídricos (Silva; Figueiredo, 2024). Ao localizar os pontos críticos de vulnerabilidade em áreas urbanas e assentamentos, é possível elaborar e aplicar estratégias para diminuir os riscos e fortalecer a resiliência dessas regiões. Assegurando que sejam inclusivas, seguras e sustentáveis (Mattedi *et al.*, 2024).

A gestão das bacias hidrográficas tem uma importância significativa na conservação dos recursos hídricos subterrâneos e superficiais (Pandey *et al.*, 2024). O rio Pericumã é um corpo hídrico de valor ambiental, social e econômico. Entender a importância de cuidados com a qualidade da água dos rios, incluindo a necessidade de evitar a contaminação por meio dos diferentes usos, e reforçar a preservação das matas ciliares, são atitudes de extrema importância (Theodosio *et al.*, 2023). Diante dos impactos gerados pela má gestão dos recursos hídricos, tem-se o processo erosivo, que pode ser entendido como um processo de modificações químicas e físicas através do desgaste e sedimentação do solo e das rochas resultantes de ações naturais ou antropogênicas (Oliveira *et al.*, 2023).

A microrregião da Baixada Maranhense, localizada no estado Maranhão, vem sofrendo impactos associados à ocupação das margens dos rios, aterramentos para fins de edificações, desvio dos cursos hídricos, barramentos, erosão, esgoto, queimadas vinculadas à agricultura e à pecuária. A estimativa da população para a microrregião da Baixada Maranhense em 2010 era de 78.162 habitantes, enquanto que no ano 2000 a população era de 68.030 habitantes, caracterizando um crescimento populacional de 14,87% entre os anos.

As bacias hidrográficas apresentam papel estratégico na produção de água da Amazônia Maranhense, dentre elas algumas possuem suas nascentes localizadas geograficamente no bioma, como as bacias dos rios Mearim, Turiaçu, Maracaçumé e Pericumã (ZEE-MA, 2018). A importância de estudar a suscetibilidade implica em conhecer as influências de uso, cobertura do solo e ocupação na bacia hidrográfica do rio Pericumã. Esta por sua vez indica as tendências do comportamento humano e imprime no ambiente as ações sofridas, além de auxiliar na relação entre a sustentabilidade hídrica e geoambiental.

A partir de análises com uma perspectiva ambiental utilizando geotecnologias, é possível criar alternativas para melhorar o planejamento e usos da terra na bacia hidrográfica do rio Pericumã, além de produzir informações acerca da realidade local e apontando as áreas de maior suscetibilidade e vulnerabilidade ambiental. Será possível indicar a partir das informações geradas, quais as áreas podem ser usadas para fins de implantação de atividades aquícolas e/ou pesqueiras, assim como, ter informações acerca da disponibilidade hídrica. É importante estudar tendências e dinâmica espacial se faz necessário para o planejamento e tomadas de decisões de

políticas públicas, instalações de novas indústrias e povoamento com mão-de-obra para a região (Oliveira *et al.*, 2024).

Com base nos dados morfométricos e de usos e cobertura da terra, será possível entender e propor ações que mitiguem os impactos e a sustentabilidade hídrica, podendo subsidiar na tomada de decisões quanto à implementação de ações de conservação, manejo do solo e dos recursos hídricos da Bacia do Pericumã. Ao combinar o Sensoriamento Remoto (SR) e o Sistemas de Informação Geográfica busca-se oferecer uma abordagem promissora para a extração de dados quantitativos cruciais relativos às bacias hidrográficas (Pandey *et al.*, 2024). As técnicas de sensoriamento remoto por meio de sensores espaciais proporcionam um excelente complemento para o monitoramento contínuo de eventos tanto espacial quanto temporal (Fuzzo *et al.*, 2023).

O conhecimento de uma bacia hidrográfica através do estudo integrado de suas sub-bacias, utilizando métodos e técnicas, como o uso de imagens orbitais públicas para o planejamento e monitoramento do uso da terra em escala meso e microrregional, mostra-se um caminho promissor, tanto para a esfera gestora pública, quanto privada (Silva; Figueiredo, 2024). A utilização da informação remota vem contribuir para os técnicos que atuam no setor primário, bem como toda a cadeia produtiva, na realização dos planejamentos necessários para minimizar perdas, ainda mais devido a grande variedade de produtos de sensoriamento remoto que estão disponíveis em resoluções espaciais e temporais mais detalhadas (Fuzzo *et al.*, 2023).

A metodologia utilizada apresenta ferramentas e tecnologias geoespaciais facilmente acessíveis. Sua abordagem multidisciplinar possibilita a adaptação a diversos tipos de riscos e ambientes socioeconômicos. Além disso, a medição e a cartografia da vulnerabilidade social e física podem ser ajustadas para diferentes escalas geográficas (Mattedi *et al.*, 2024), tornando possível a replicação em outras áreas. Diante do exposto, o objetivo do presente estudo é avaliar a dinâmica geoespacial, morfométrica e ambiental da bacia hidrográfica do rio Pericumã constituindo etapa fundamental para o entendimento da dinâmica hidrológica e geoambiental da área em estudo.

Materiais e métodos

Localização e caracterização da área de estudo

A área de estudo está situada na porção norte do Estado do Maranhão, está localizada na microrregião da Baixada Maranhense, a bacia hidrográfica do Rio Pericumã faz interface com os municípios: Alcântara, Bequimão, Central do Maranhão, Guimarães, Matinha, Mirinzal, Palmeirândia, Pedro do Rosário, Peri-Mirim, Pinheiro, Presidente Sarney, São Bento, São Vicente de Ferrer, Olinda Nova do Maranhão e Viana (Figura 1).

A bacia hidrográfica do rio Pericumã (BHRP) tem perímetro de 482,9 km e área equivalente a 5.091,98 km², correspondendo a 3,4% do território do bioma amazônico maranhense e 1,17% do território estadual (Santos, 2004; ZEE-MA, 2018). A bacia possui 1.142 cursos hídricos, totalizando 2.000 km de extensão de cursos d'água. O rio Pericumã forma-se em uma área coberta por campos de várzeas, sendo compostos pelo campo do Bamburral-Três Palmeiras, onde deságuam os rios Bamburral, Santa Rosa e Grande; campo do Capim, área drenada pelo rio Campinima-Encruzo, Pimenteira e Jandiá, drenada pelo rio Poção da Cobra e campo da Sororoca, no município de Pedro Rosário, campo do Roque-Paraíso e Cachoeira no município de Pinheiro que desaguam na baía de Cumã (Pereira, 2006).

A região é composta geologicamente por depósitos aluvionares recentes de origem fluvial,

por aluviões fluviomarinhos (áreas dos rios Pindaré e Grajaú), além de sedimentos de idade cretácea inferior da Formação Itapecuru, em outros espaços regionais (Maranhão, 2003). A bacia sedimentar maranhense define um relevo de duas unidades morfológicas principais, o planalto e a planície; nesta última, a Baixada Maranhense representa uma considerável parcela, das mais representativas (Pinheiro, 2021). O relevo caracteriza-se morfológicamente de forma plana a suavemente ondulada, que envolve o rio principal e toda sua área alagável. Haja vista que o sistema fluvial, seu padrão de fluxo no espaço e o tempo estão associados a vários fatores de geologia, geomorfologia e solo da área da bacia, como aponta Rai *et al.* (2018).

O clima da região da baixada maranhense é quente e úmido, tendo em vista que a evaporação é elevada e desta forma torna-se um local formador de nuvens com capacidade de precipitação. Destacando o potencial de evapotranspiração varia de 1876,35 a 1926,35 (mm) anualmente. O período chuvoso compreende os meses de dezembro a junho e seco de julho a novembro. A média de precipitação anual é de 2000mm (Carvalho-Neta *et al.*, 2015). A bacia possui relevância quanto ao abastecimento hídrico do município, navegação e produção de pescado na região da Baixada Maranhense.

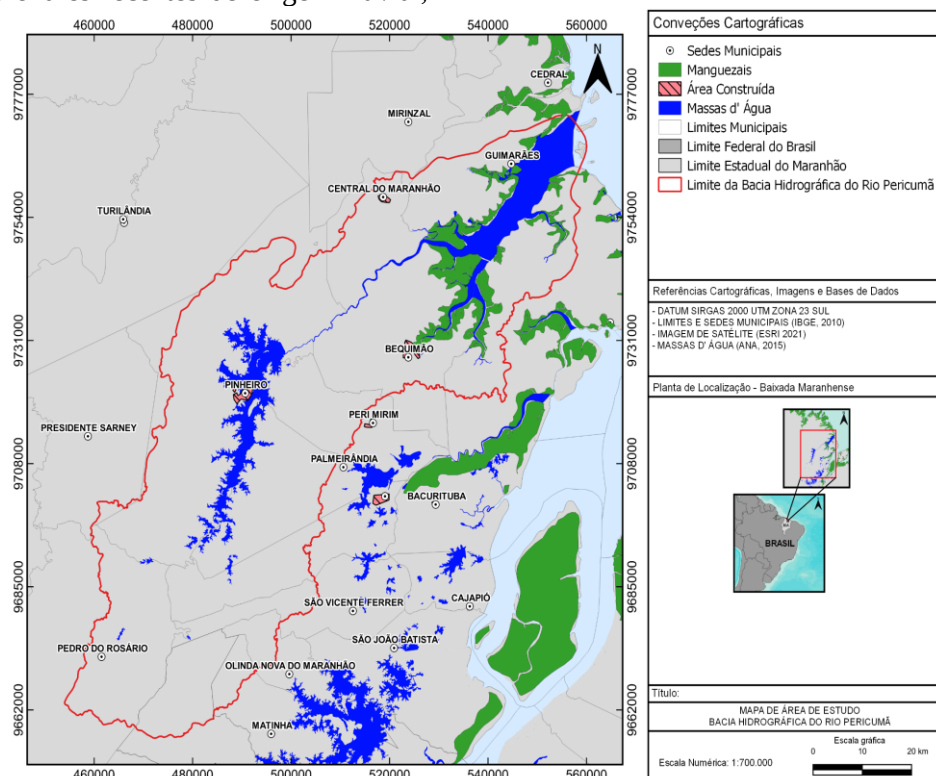


Figura 1. Localização da bacia hidrográfica do Rio Pericumã. Fonte: Autores.

Com relação à socioeconomia da área de estudo, o Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) médio dos municípios que fazem interface com a Bacia Hidrográfica do Rio Pericumã (BHRP) corresponde a 0,51. O município mais populoso é Pinheiro, com 84.160 habitantes. As principais atividades econômicas estão vinculadas ao setor primário e terciário. O quadro 1 apresenta uma síntese das características socioeconômicas de alguns dos municípios que abrangem as bacias

hidrográficas do Litoral Oriental do estado do Maranhão.

Os dados gerados sobre o Índice de Desenvolvimento Humano - IDH, foram obtidos nas informações do censo demográfico de 2010, quanto a população considerou-se o censo demográfico realizado em 2022 e para o Produto Interno Bruto - PIB fazem referência ao ano de 2021; ambas as informações podem ser acessadas através do site do IBGE (<https://cidades.ibge.gov.br/>).

Quadro 1 - Dados socioeconômicos dos municípios que abrangem a BHRP.

Nome do Município	População 2010	População 2022	IDH	PIB per capita (R\$)	Atividades Econômicas
Alcântara	21.851	18.465	0,573	6.725,00	Agropecuária, pesca, artesanato, comércio, turismo, administração pública, produção de laticínios, defesa, educação, saúde pública e seguridade social.
Bequimão	20.344	19.584	0,601	6.480,26	
Central do Maranhão	7.887	7.094	0,585	7.094,99	
Guimarães	12.081	10.290	0,625	7.806,63	
Matinha	21.885	22.034	0,619	8.341,52	
Mirinzal	14.218	13.978	0,622	7.442,26	
Pinheiro	78.162	84.621	0,637	12.358,06	
Pedro do Rosário	22.732	24.320	0,516	6.177,79	
Presidente Sarney	17.165	17.511	0,557	8.586,92	
Peri-Mirim	13.803	11.108	0,599	6.677,29	
Palmeirândia	18.764	21.059	0,556	7.012,83	
São Bento	40.736	46.395	0,602	6.789,21	
São Vicente de Ferrer	20.863	19.498	0,592	6.493,02	
Olinda Nova do Maranhão	13.181	13.577	0,575	7.169,10	
Viana	49.496	51.442	0,618	9.280,44	

Fonte: Dados do IBGE Cidades.

Morfometria da Bacia Hidrográfica do Rio Pericumã

A caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Pericumã seguiu as recomendações de Soares *et al.* (2016), conforme procedimentos apresentados a seguir:

A base para a extração dos atributos topográficos é um Modelo Digital de Elevação (MDE) hidrologicamente consistente da bacia hidrográfica. O MDE utilizado no presente trabalho foi derivado da imagem Shuttle Radar Topography Mission - SRTM ou Missão Topográfica de Radar Embarcado, obtida no site do

projeto TOPODATA (www.dsr.inpe.br/topodata) com resolução espacial de 30 metros.

A drenagem foi vetorizada e ordenada manualmente com base do Modelo Digital de elevação (MDE) dos dados TOPODATA (Valeriano, 2005) e nas cartas topográficas da Diretoria de Serviço Geográfico (DSG) na escala de 1:100.000, seguindo a metodologia de Strahler (1957; 1958).

As características morfométricas foram mensuradas com base nos estudos de Horton (1945), Smith (1950), Müller (1953), Schumm

(1956; 1963), Strahler (1957; 1958), Christofoletti (1980) e Lima (1969) como mostra o quadro 2.

Quadro 2. Método de cálculo dos parâmetros morfométricos da bacia de drenagem.

Parâmetros	Descrição	Equação	Fonte
Relação de relevo (Rr)	Corresponde a relação entre a amplitude altimétrica (Δa) e o comprimento do canal principal (L_p).	$Rr = \Delta a / L_p$	Schumm, 1956
Razão de Relevo Relativo (RRr)	Representa a relação entre a amplitude altimétrica e o perímetro da bacia.	$RRr = \frac{\Delta a}{P}$	Strahler, 1958
Índice de rugosidade (Ir)	Entende-se como a razão entre a amplitude altimétrica e a densidade de drenagem.	$Ir = \Delta a \cdot Dd$	Strahler, 1957
Coeficiente de compacidade (Kc)	Consiste em relacionar a forma da bacia com um círculo e define-se como a relação que existe entre o perímetro da bacia (P) e o perímetro (P') de um círculo de área (A) igual à da bacia.	$Kc = 0,2821 \cdot \frac{P}{(\sqrt{A})}$	Lima, 1969
Fator de Forma (Kf)	Trata da razão entre a área da bacia e o quadrado de seu comprimento.	$Kf = \frac{A}{L^2}$	Horton, 1945
Índice de circularidade (Ic)	Relaciona-se com a medida que a bacia se aproxima da forma circular e diminui à medida que a forma se torna alongada.	$Ic = \frac{12,57 \cdot A}{P^2}$	Muller, 1953
Densidade de drenagem (Dd)	Remete ao comprimento total da drenagem pela área na área da bacia.	$Dd = \frac{Lt}{A}$	Horton, 1945
Densidade Hidrográfica (Dh)	É a relação existente entre o número de rios ou cursos d'água e a área da bacia hidrográfica.	$Dh = \frac{Nt}{A}$	Horton, 1945
Razão de textura (T)	Dispõe sobre a razão entre a primeira ordem dos cursos hídricos e o perímetro da bacia.	$T = \frac{Nt}{P}$	Smith, 1950
Índice de sinuosidade (Is)	Compõe-se do comprimento do canal principal com a distância vetorial do canal principal.	$Is = \frac{L_p}{D_v}$	Schumm, 1963
Coeficiente de manutenção (Cm)	Utiliza-se da área mínima para a manutenção de um metro de canal de escoamento.	$Cm = \frac{1}{Dd} \cdot 1000$	Schumm, 1956
Gradiente de canais (Gc)	Razão entre a cota máxima e o comprimento do canal principal.	$Gc = \frac{amax}{L_p}$	Horton, 1945
Razão de alongamento (Re)	Demarca a relação do diâmetro de um círculo da área da bacia ao máximo comprimento da bacia.	$Re = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}} / L$	Schumm, 1956

Fonte: Adaptado de Biswas *et al.* (1999).

Legenda: A – Área da bacia; AA – Amplitude altimétrica; L² - Comprimento do curso d'água principal; Ic – índice de circularidade; Dd – densidade de drenagem; Lt - Comprimento total dos canais; Dh – densidade hidrográfica; T - Razão de textura; N – Número de rios; P – Perímetro da bacia; Dv – Distância vetorial do canal principal; Is – Índice de sinuosidade; Cm – Coeficiente de manutenção; H – Altitude média da bacia; h – Altitude de intersecções e Re – razão de alongamento.

Foram usados nove parâmetros morfométricos que expressam uma relação direta ou inversa com fatores de degradação da qualidade de água e do solo da bacia hidrográfica, como: densidade hidrográfica, fator de forma, relação de bifurcação, densidade de drenagem, índice de circularidade, razão de alongamento, razão de textura, coeficiente de compacidade e forma da bacia (média dos parâmetros fator de forma, índice de circularidade e razão de alongamento) (Aher *et al.*, 2014).

As fontes bibliográficas e cartográficas utilizadas para os limites regional e tipológico foram fornecidas por diversas instituições públicas. O *software* QGIS, versão 3.22.6 LTR, foi utilizado na criação e modelagem do banco de dados, ou seja, na definição de categorias (tipos de dados), utilizado o Datum SIRGAS 2000 na projeção Universal Transversa de Mercator, Zona 23 Sul. Os

limites municipais do Brasil foram obtidos no site do IBGE.

Métodos e processamento dos dados para uso e ocupação do solo

Foi utilizada a plataforma do Projeto de Mapeamento Anual de Cobertura e Uso do Solo (MapBiomias) como especificada na metodologia descrita na Figura 2, abrangendo o bioma amazônico em uma série histórica anual de 1985 a 2020 (MAPBIOMAS, 2020). Em um primeiro nível, o MapBiomias classifica o uso da terra em seis classes: floresta, formação natural não florestal, agricultura, área não vegetada, corpos d'água e não observado e; no segundo nível classifica em 12 classes (MAPBIOMAS, 2020). Essas classes juntas, independentemente do nível, representam toda a cobertura de uso do solo.

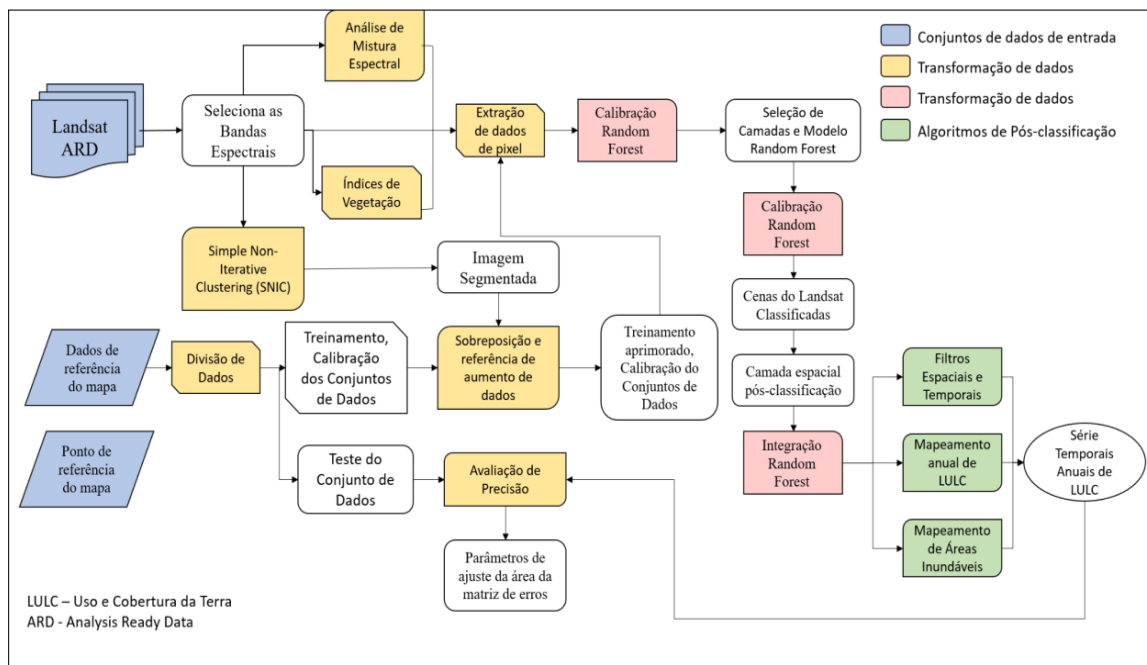


Figura 2. Fluxograma metodológico do MapBiomias bioma Amazônico. Fonte: Autores.

O método MapBiomias utiliza árvores de decisão para classificação de imagens. Na Coleção 6, o classificador Random Forest foi aplicado para construir os mapas de uso e cobertura da terra no bioma Amazônia. As Zonas Úmidas foram incluídas como uma nova classe usando uma abordagem de pós-classificação no mapeamento, todas as cenas Landsat disponíveis (de acordo com os critérios estabelecidos, ver documentação

MapBiomias em: (<https://mapbiomas.org/download-dos-atbds>)) e depois os resultados foram integrados para obter os mapas anuais, permitindo uma avaliação de todas as variações espectrais contidas em um ano.

Os dados da coleção 6 recortados para a bacia hidrográfica do Rio Pericumã foram obtidos utilizando o Google Earth Engine (GEE) (<https://earthengine.google.com>), as coleções de

imagens e mapas do MapBiomas estão disponíveis para serem acessadas como asset diretamente no Google Earth Engine, sem a necessidade de baixar ou subir os dados. O Google Earth Engine é uma plataforma em nuvem que foi desenvolvida para processar e armazenar grandes coleções de dados (Fuzzo *et al.*, 2023).

Segue os produtos disponíveis e os respectivos IDs de acesso no Google Earth Engine: ID: projects/mapbiomas-workspace/public/collection6/mapbiomas_collection60_integration_v1. Foi realizado campo com a finalidade de validar os dados apresentados e para isto foi usado um drone c-fly faith 2, modelo 2020, a imagem foi capturada a 70 m de altura. A plataforma Google Earth Engine possui um catálogo com um vasto repertório de dados geoespaciais e o acervo de vários satélites (Fuzzo *et al.*, 2023). Os dados são pré-processados e prontos para o uso.

Resultados e discussão

Morfometria da Bacia Hidrográfica do Rio Pericumã

As bases morfométricas de bacias hidrográficas exercem subsídios essenciais para compreensão da dinâmica hidrologia, fornecem dados sobre a sua forma, extensão, altitude, número total de cursos d'água e como estas características se relacionam entre si. A compreensão dessas relações permite a identificação das variáveis dominantes que atuam sobre uma bacia hidrográfica (Samal *et al.*, 2015).

O inter-relacionamento entre os parâmetros morfométricos difere de uma bacia hidrográfica para outra bacia sob topografia variada e condições climáticas (Rai *et al.*, 2018), acrescidas das características de cada região geográfica brasileira e o bioma ao qual pertence. Uma vez que as bacias hidrográficas são as unidades de planejamento hídrico do país, a gestão delas deve se articular com a gestão dos sistemas estuarinos e das zonas costeiras, de modo a promover a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) de maneira mais adequada e eficiente

A bacia do Rio Pericumã é de 6ª ordem, com padrão dendrítico indicando ramificações e apresenta subsuperfície de caráter homogêneo. O parâmetro inicial e mais crucial na análise de bacias hidrográficas é o ordenamento dos cursos de água, onde é identificada a posição hierárquica dos cursos de água (Pandey *et al.*, 2024). A bacia possui uma área de 5.091,98 km² e perímetro de 482,98 km. O comprimento do canal principal é de 188.950 km com uma rede de drenagem que trata do comprimento total dos cursos hídricos de 2.000 km, possuindo um total de 1.142 cursos (Tabela 1). Aher *et al.* (2014), destaca que o comprimento total do rio e consequentemente de uma bacia hidrográfica é um parâmetro hidrológico que exprime as características do escoamento superficial de comprimentos, além das características de drenagem comparativamente menores de maior área de gradientes e texturas mais finas.

Tabela 1. Características morfométricas da BHRP.

Características	Unidade	Pericumã
Área total	Km ²	5.091,98
Perímetro	Km	482,98
Perímetro	m	482.982,00
Comprimento do canal principal	m	188.950,94
Comprimento total dos cursos d'água	Km	2.000
Número de cursos d'água	Unid	1142,00
Altitude máxima	m	101,19
Altitude mínima	m	0,00
Altitude média	m	25,76
Amplitude altimétrica	Km	0,10
Amplitude altimétrica	m	101,19
Comprimento do eixo da bacia	km	150,21
Altitude máxima do canal	m	58,38
Altitude mínima do canal	m	0,00
Distância vetorial do canal principal	Km	149,89
Ordem da drenagem	Adm	6°

Os resultados demonstram que o número de riachos de primeira ordem na bacia hidrográfica

é o maior, e essa contagem diminui com o aumento na ordem do fluxo. Consequentemente, as

observações estão alinhadas com as leis de Horton (Pandey *et al.*, 2024).

A altitude média influência no escoamento, na precipitação, sobretudo, nas perdas hídricas por meio da evaporação e transpiração (Teodoro *et al.*, 2007). Vale destacar que a constante amplitude de temperaturas nas áreas de bacia, provocam oscilações no volume de água disponível e causa uma elevada evapotranspiração, processo que pode afetar no abastecimento hídrico das atividades pesqueiras e/ou aquícolas que usem como fonte de abastecimento a água do rio Pericumã.

Neste contexto, outro aspecto a ser considerado é o reconhecimento da Baixada Maranhense como sítio Ramsar (em 20 de fevereiro de 2002), pois, trata-se de zona úmida de relevância internacional, habitat de espécies autóctones e migratórias, algumas ameaçadas de extinção e de valor econômico para os moradores locais (Andrade *et al.*, 2021). Os processos de evolução geológica determinaram a topografia local (Figura 3), a partir dos movimentos de

transgressão e regressão marinha. A variação entre a altitude mínima e máxima mostra que quanto maior a altitude da bacia, menor a quantidade de energia solar que o ambiente recebe e, portanto, menos energia estará disponível para o fenômeno de evapotranspiração (Tonello *et al.*, 2007). Os excessos de chuvas podem provocar inundações, perda de bens, sobretudo, a vida. A ausência prolongada de chuvas leva à secas, que afetam diretamente a agricultura e os limites de consumo humano (Fuzzo *et al.*, 2023), além da dessedentação de animais.

Estratégias eficazes de gestão de bacias hidrográficas podem mitigar problemas associados às condições degradadas das bacias hidrográficas, incluindo questões como escoamento excessivo, baixa produtividade agrícola, erosão acelerada do solo, má infiltração, além dos perigos naturais como secas e inundações (Pandey *et al.*, 2024). Dentre os agentes ativos, podem ser citados a temperatura, o vento, a água, a insolação, a ação dos microrganismos, a ação humana, entre outros (Oliveira *et al.*, 2023).

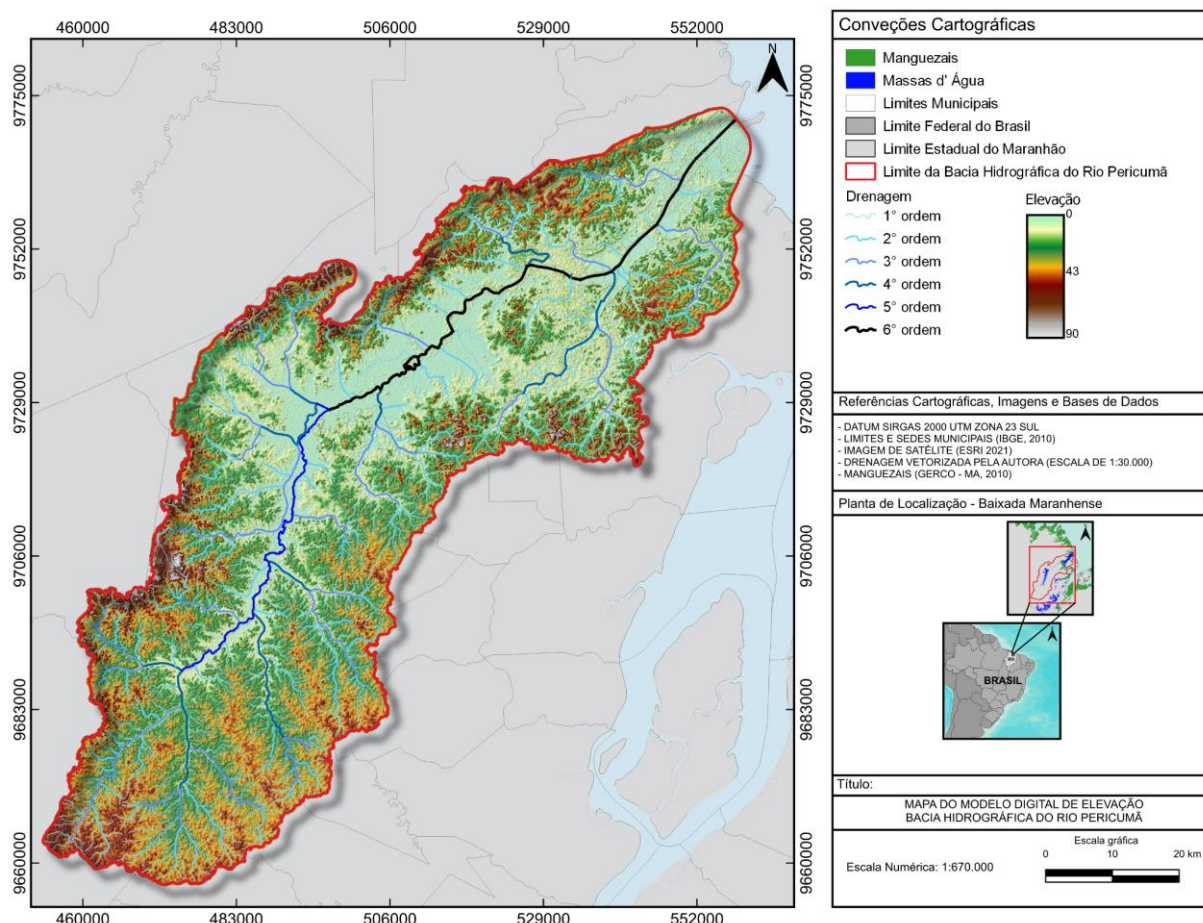


Figura 3. Mapa do modelo digital de elevação da bacia hidrográfica do Rio Pericumã.

A forma dendrítica reflete a interação entre clima e geologia em regiões de litologia homogênea (Lima, 2008). Reporta as ramificações presentes que influenciam na relação de bifurcação e/ou ordenamento de canais. Para a Relação de Relevo (Rr) tem-se 0,001 e Razão de Relevo Relativo (RRr) de 0,002 para o rio Pericumã, apresentando assim, relevo com características mais planas; a bacia hidrográfica de Vrishabhavathi (Índia) é um constituinte de Arkavathi Bacia do Rio Bangalore com área de 381.465 km², com 0,0068 (Rr) e 0,0054 (RRr) destacados por Aravinda e Balakrishna (2013).

As redes de canais por meio da morfometria desempenham um papel vital na compreensão das características geohidrológicas das bacias hidrográficas. Fornecem informações sobre a influência do clima, geologia, geomorfologia, antecedentes estruturais e outros fatores na bacia hidrográfica (Pandey *et al.*, 2024). Destaca-se que a erosão hídrica tem grande relevância entre os processos erosivos, uma vez que pode gerar um grande impacto ao meio ambiente e trazer consigo modificações irreversíveis na natureza (Oliveira *et al.*, 2023).

O índice de rugosidade (Ir), dispõe sobre o reflexo da amplitude altimétrica e densidade de drenagem, indicando vertentes de baixa declividade e de pouca extensão com apenas 0,059.

Para a implantação de viveiros, sobretudo, estruturas escavadas devem-se observar a inclinação, com vistas a reduzir custos no abastecimento de água e facilidade na despesa.

O coeficiente de compacidade (Kc), apresentou valor de 1,90. Guimarães (2012), ressalta que o menor valor que o parâmetro pode assumir é 1, correspondendo assim, a uma bacia circular. Por outro lado, quanto maior o Kc menos compacta é a bacia (maior é o perímetro em relação à área), logo, a bacia teria menor tendência a cheias.

O resultado para o fator de forma (Kf) foi de 0,23, o que se denota a conservação da bacia, evidenciando que são bacias alongadas e em condições de precipitação dentro da normal climatológica, são menos propensas a processos de inundação e enchentes. Todas as sub-bacias do rio Kallar, Tamil Nadu, analisadas por Rahaman *et al.* (2015), na Índia estavam compreendidos entre 0,28 e 0,35 os dados obtidos foram próximos ao da BHRP. Haja vista que valores próximos a 1, apontam para a possibilidade de enchentes e degradação, considerando as características físicas da bacia. Em suma, a caracterização da forma da bacia fornece informação acerca da maior ou menor tendência para cheias que essa bacia apresenta (Guimarães, 2012).

Tabela 2. Características morfométricas da BHRP.

Parâmetro	Fórmula	Pericumã
Padrão de drenagem	Christofoletti (1980)	Dendrítica
Relação de relevo (Rr)	$Rr = AA/Lp$	0,001
Razão de Relevo relativo (RRr)	$RRr = AA/P$	0,0002
Índice de rugosidade	$Ir = AA * Dd$	0,059
Coeficiente de compacidade (Kc)	$Kc = 0,2821 \times P / raiz(A)$	1,90937
Fator de forma (Kf)	$Kf = A/L^2$	0,23
Índice de circularidade (Ic)	$Ic = 12,57 \times A/P^2$	0,27
Densidade de drenagem (Dd) (km/km²)	$Dd = Lt/A$	0,58
Densidade hidrográfica (Dh) (canais/km²)	$Dh = N/A$	0,224
Razão de textura (Nt/km)	$T = N/P$	2,364
Índice de sinuosidade (Is)	$Is = Lp/Dv$	1260,59
Coeficiente de manutenção (Cm)	$Cm = (1/Dd) \times 1000$	1721,2
Gradiente de canais (Gc)	$Gc = a_{max}/L$	0,001
Razão de alongamento	$Re = 1,128XA/Lb$	0,30

Legenda: A – Área da bacia; AA – Amplitude altimétrica; L² - Comprimento do curso d'água principal; Ic – índice de circularidade; Dd – densidade de drenagem; Lt - Comprimento total dos canais; Dh – densidade hidrográfica; T - Razão de textura; N – Número de rios; P – Perímetro da bacia; Dv – Distância vetorial do canal principal; Is – Índice de sinuosidade; Cm – Coeficiente de manutenção; H – Altitude média da bacia; h – Altitude de intersecções e Re – razão de alongamento.

A BHRP apresentou uma quantificação de 0,27. Resultado próximos ao da BHRP foi encontrado por Banerjee *et al.* (2017) com 0,344, já Biswas *et al.* (1999), avaliando a BH do Bloco

Nayagram, Bengala Ocidental encontrou valores para o Índice de circularidade (Ic) que variaram de 0,317 a 0,688, indicando a baixa descarga de escoamento e alta permeabilidade do subsolo.

Banerjee *et al.* (2017), aponta que a circularidade é influenciada pelo comprimento e frequência de córregos, estruturas geológicas, terrenos, uso e cobertura do solo, clima, relevo e declividade da bacia. E Schumm (1956) destaca que valores menores a 0,51 indica que a bacia tende a ser alongada, favorecendo o processo de escoamento.

Para Strahler (1957), a densidade de drenagem (Dd) igual ou menor a 5 km/km², possui baixa densidade de drenagem. Horton (1932), introduziu a Dd um parâmetro que expressa a proximidade do espaçamento dos canais. O espaçamento entre canais, conhecido como densidade de drenagem (Dd), serve como indicador do comprimento total dos segmentos de riacho por unidade de área e é influenciado por diversos fatores como resistência ao intemperismo, permeabilidade das rochas, clima e vegetação (Pandey *et al.*, 2024). A bacia do rio Pericumã corresponde a 0,58 km/km², desta forma se caracteriza como baixo escoamento são enquadradas como de baixa capacidade de drenagem, devido às condições do relevo ser plano e apresentar declividade suave. Biswas *et al.* (1999), também obteve resultados similares de 0,459 na sub-bacia 1 e 0,828 sub-bacia 9, ambas as bacias podem apresentar o caráter de baixo escoamento devido às características planas do relevo. Quanto maior a densidade de drenagem maior a capacidade da bacia de fazer escoamentos rápidos até a foz. A análise de bacias de drenagem é essencial nas investigações hidrológicas, incluindo avaliação do potencial das águas subterrâneas, gestão das águas subterrâneas, pedologia e avaliação ambiental (Pandey *et al.*, 2024).

A densidade hidrográfica (Dh) dispõe sobre a quantidade média de cursos hídricos por quilômetro quadrado. Para a BHRP corresponde a 0,224, tal índice reporta a competência na formação de novos canais fluviais e consequentemente a capacidade hidrológica, para a bacia o valor correspondente é baixo, considerando que é inferior a 0,5 km/km². Relaciona-se com o tempo gasto para que ocorra o escoamento superficial. Portanto, os tomadores de decisão devem ter um conhecimento profundo das características da bacia hidrográfica e os processos hidrológicos que ocorrem dentro dela (Pandey *et al.*, 2024). Uma estratégia eficaz para minimizar os impactos das cheias é elaborar e aplicar planos de gestão de cheias abrangendo medidas de prevenção, preparação, resposta e recuperação. O mapeamento de inundações é uma ferramenta vital no planejamento da gestão de cheias, pois permite

identificar previamente áreas susceptíveis a inundações, estimar a extensão, profundidade e características do fluxo, bem como a frequência das inundações (Xafoulis *et al.*, 2023).

Para Teodoro *et al.* (2007), o índice de sinuosidade (Is) próximo a 1 indicam que os canais tendem a serem retilíneos, já os valores superiores a 2,0, indicam que os canais tendem a ser tortuosos e os valores intermediários indicam formas transicionais, regulares e irregulares. Tem-se para a BHRP 1,26 evidenciando a presença de canais com caráter retilíneo. Tal parâmetro é quantitativo e substancial para estudar a importância da drenagem no desenvolvimento de formas de relevo e aspectos geomorfológicos, hidrólogos e geólogos (Aher *et al.*, 2014).

Tem-se para a BHRP o Coeficiente de Manutenção (Cm) de 1721,2, que representa a área necessária que a bacia deve possuir em metros, com vistas a manter seu fluxo perene. Para Schumm (1956), o Cm é o inverso de Dd é tido como um aspecto significativo do relevo. Expressa a superfície da bacia é dependente da forma de rocha, permeabilidade, clima, hidrologia, cobertura de folhagem e relevo.

A razão de textura (T), apresenta-se com 2,364, está métrica expressa o espaçamento entre os canais de drenagem de uma bacia. Schumm (1956) destaca que a textura está intrinsecamente ligada à litologia, capacidade de infiltração e aspecto de relevo da topografia e é indicada como a razão entre a primeira ordem dos cursos e o perímetro da bacia. Banerjee *et al.* (2017), explica que a baixa razão de textura moderada associada a densidade de drenagem indica a presença de material permeável de alta resistência com baixo alívio, resultando na diminuição da carga. Uma bacia hidrográfica coleta a precipitação que cai em sua superfície e leva parte dessa água para o rio através do escoamento superficial e do fluxo de água subterrânea. Os solos e a vegetação influenciam na velocidade com que essa água chega ao rio. A litologia determina a textura do solo que controla a capacidade de infiltração e armazenamento de água (Oliveira *et al.*, 2023).

O gradiente de canais (Gc) remete a energia de fluxo do escoamento fluvial e no aporte, transporte e deposição de sedimentos. Encontrou-se o valor de 0,001 na BHRP, isto designa o tamanho comparativo das formas de relevo componentes em uma bacia hidrográfica e tem uma genética precisa (Strahler, 1957). Este tem por sua vez a finalidade de apresentar a declividade da bacia e reforçar a característica plana. A hipsometria e a declividade fornecem informações

sobre os aspectos do relevo e ajudam a entender suas formas, características e processos geológicos associados (Costa *et al.*, 2024).

A razão de alongamento (Re) apresentou valor correspondente a 0,30 reforçando tratar de uma bacia com formato alongado. Rahaman *et al* (2015), obteve 0,10 para a bacia hidrográfica Kallar que possui uma área de 1293,15 km², já a bacia hidrográfica do bloco Nayagram, distrito de Midnapore, descrita por Biswas *et al.* (1999), teve 0,410 e 0,473 nas sub-bacias 8 e 2. Tendo em vista que o índice possui intervalos específicos de caracterização, como: circular (0,9-0,10), oval

(0,8-0,9), menos alongado (0,7-0,8), alongado (0,5–0,7) e mais alongado (<0,5) (Schumm, 1956).

Cabe lembrar que nenhum desses índices, isoladamente, deve ser entendido como capaz de simplificar a complexa dinâmica da bacia, a qual inclusive tem magnitude temporal. A rede hidrográfica da BHRP totalizou 1.142 cursos d'água, dos quais 51,31% são de primeira ordem, 24,70% de segunda ordem, 15,24% de terceira ordem, 4,29% de quarta ordem, 1,66% de quinta ordem e 2,80% de sexta ordem como apresentados na Tabela 3 e Figura 4.

Tabela 3. Propriedades da rede de drenagem e ordenamento da BHRP.

Ordem	Número de córregos com diferentes ordens						Total
	1º	2º	3º	4º	5º	6º	
Número de córregos	586	282	174	49	19	32	1142

Quanto ao ordenamento dos cursos hídricos Horton (1932), Aher *et al.* (2014) e Banerjee *et al.* (2017), observaram que o número de canais diminui com o aumento da ordem dos canais de forma regular, percebendo a existência de

uma relação geométrica entre a quantidade de córregos e a ordem dos canais. A quantidade de ramificações hídricas diminui até a 5º ordem e para a 6º ordem, retoma o crescimento, destaque que pode ocorrer a movimentação inversa.

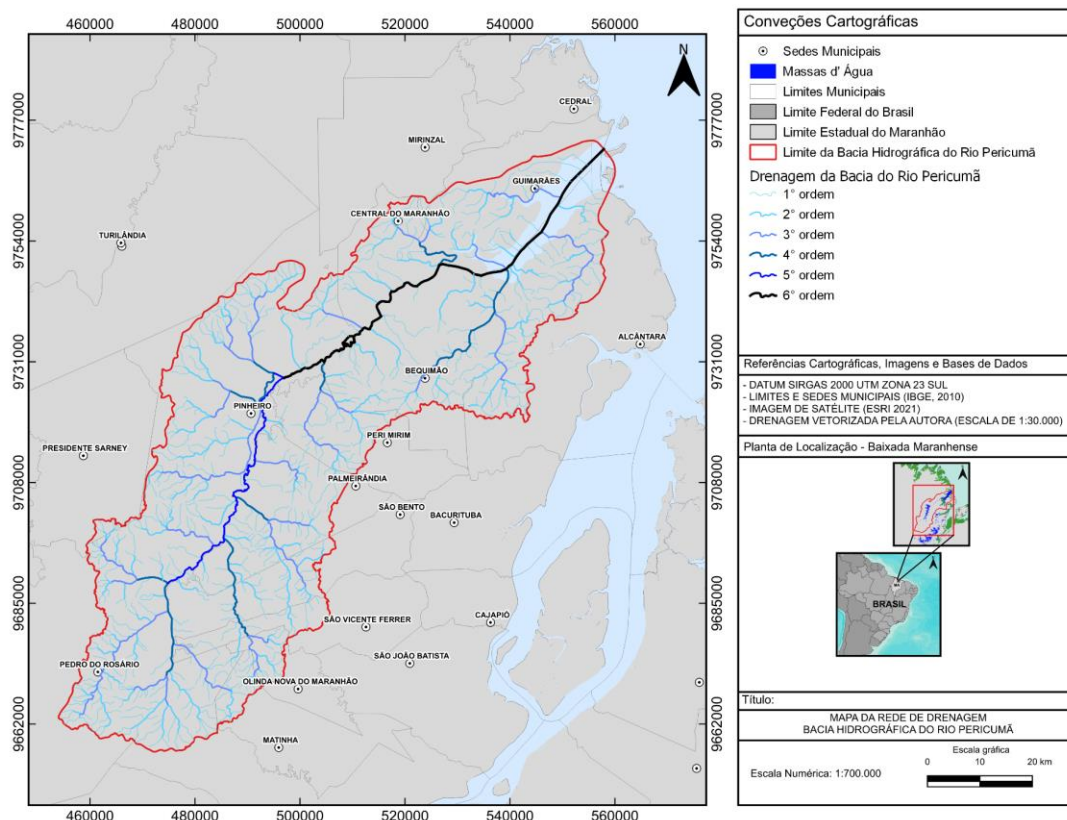


Figura 4. Mapa da rede de drenagem da bacia hidrográfica do Rio Pericumã. Fonte: Autores.

Ademais, vale ressaltar que ocupações às margens dos corpos hídricos exercem uma pressão acentuada e podem acelerar os processos de erosão na bacia do Pericumã e na sub-bacia Batatã descrita

por Corrêa *et al.* (2022), no município de São Luís - MA, que em seu canal fluvial também apresentou ocupação irregular e desordenada nas margens do rio. A ação antrópica afeta diretamente os

processos hidrológicos, principalmente devido ao desmatamento e em decorrência disso acarreta na diminuição de água infiltrada, erosão e menor recarga das nascentes (Alves *et al.*, 2024).

É importante destacar que tais fatores, deixam a população em situação de vulnerabilidade, contribuem para redução da disponibilidade hídrica, considerando que estes dependem de seus sistemas de nascentes e águas subterrâneas para abastecimento (Corrêa *et al.*, 2022). Haja vista que a água é um recurso

Métodos e processamento dos dados para uso e ocupação do solo

É evidente que o processo de ocupação das terras no estado maranhense, deu-se a partir da década de 20, tomando como parâmetro a região do Golfão Maranhense, utilizando como principal canal de transporte os rios, devido à sua navegabilidade (Chagas *et al.*, 2021). Desde o início das organizações civilizatórias a maior parte dos núcleos urbanos foram edificadas a margens de rios, o mesmo comportamento é refletido nos municípios do continente maranhense. Desta forma, é importante monitorar os múltiplos usos e cobertura da terra (*Land Use and Land Cover* -

indispensável à vida, é considerada um bem público do qual todos têm o direito de usufruir. Todavia, o Código Civil brasileiro, através da Lei nº 10.406/02 considera como bens públicos os de uso comum do povo, tais como rios, mares, estradas, ruas e praças. Pelo motivo de não relacionar a preservação com a manutenção dos corpos hídricos, eles têm provocado impactos ambientais que vêm ocasionando desaparecimento de nascentes e o assoreamento de canais fluviais (Alves *et al.*, 2024).

LULC) correlacionar os impactos e as alterações antrópicas exercidas sobre a bacia hidrográfica do rio Pericumã.

Areladas as informações de usos e cobertura da terra obtidas através de dados MapBiomas, pode-se analisar a partir da coleção 6, as classes: área urbanizada, apicum, campos alagados e áreas pantanosas, formação campestre, formação florestal, formação savânica, mangue, pastagem, praia, rios e outras lavours temporária para o ano de 1985, 2005 e 2020, sendo que em 1985 a classe outras lavours temporárias não foram mapeadas (Figura 5).

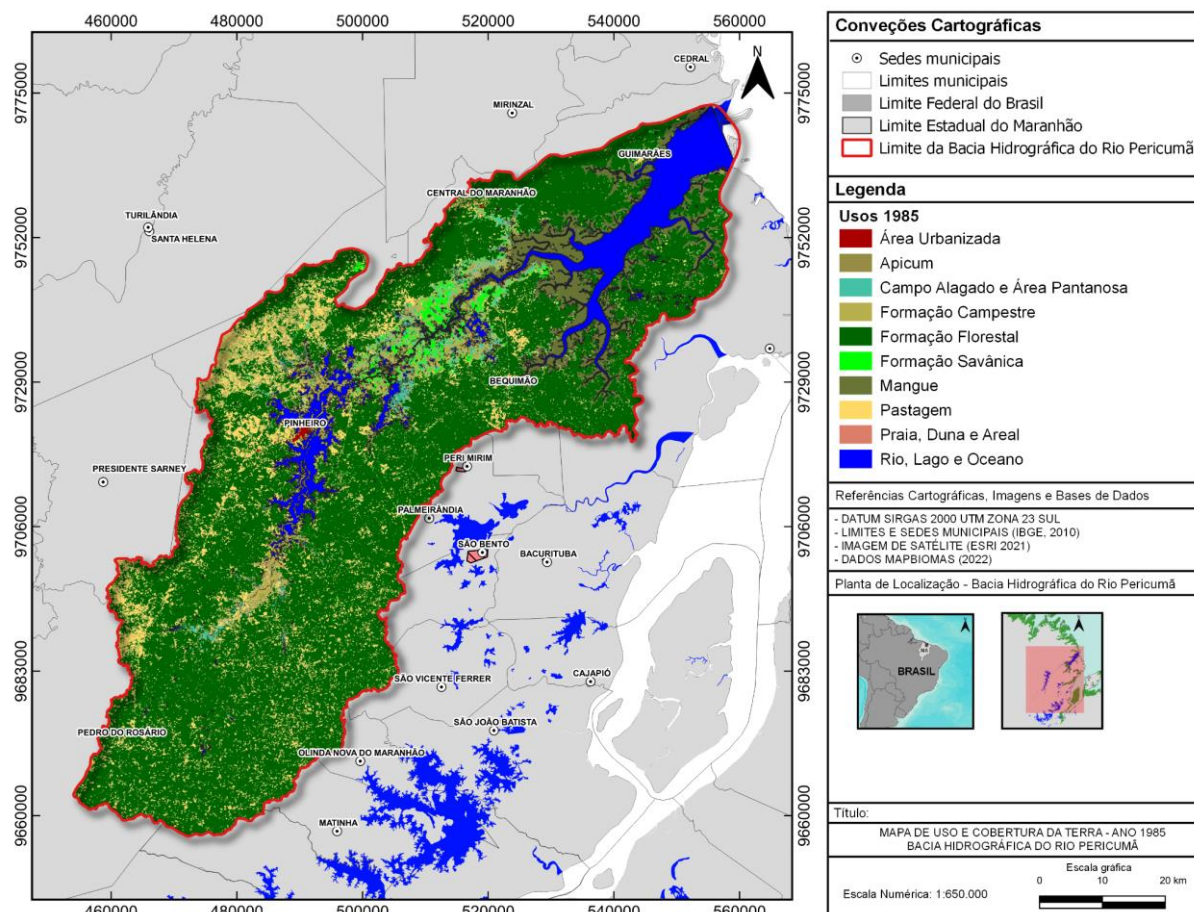


Figura 5. Mapa de uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do rio Pericumã, ano 1985. Fonte: Autores.

Para o ano de 1985, a classe de formação florestal é mais observada, com 67,98% da área; seguida pelos corpos hídricos com 9,71% e pela pastagem (9,04%). Tendo em vista estes aspectos ao observar a distribuição das pastagens no ano de 1985, apresenta às áreas que possuem tendência de expansão e consequentemente os pontos que a atividade é intensa. Quanto à cobertura florestal apontada por Moro *et al.* (2022) esta questão pode estar relacionada ao processo de mecanização, à abertura de novos mercados para commodities, às

políticas governamentais e à migração de produtores rurais para áreas urbanizadas.

Ao observar o mapa de uso e cobertura da terra para o ano de 2005 (Figura 6), nota-se a ocupação urbana que se apresenta de forma acentuada e o pouco planejamento causado pelo comportamento antrópico provoca mudanças nos recursos naturais que são cada vez mais profundos, podendo afetar permanentemente o ambiente. As interferências antrópicas vêm sendo a principal forma de alterações na paisagem original (Soares *et al.*, 2022).

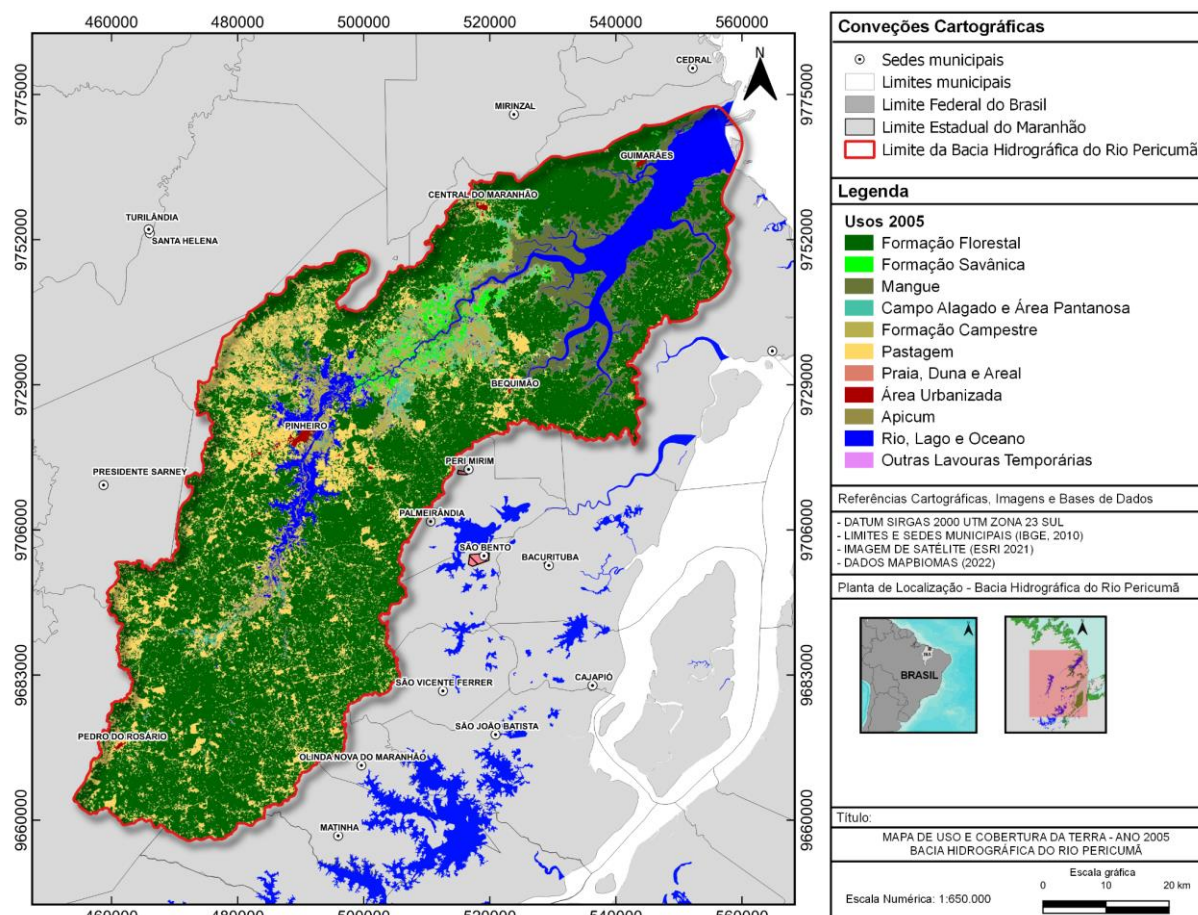


Figura 6. Mapa de uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do rio Pericumã, ano 2005.

O cenário de expansão e ocupação urbana, principalmente no sítio urbano de Pinheiro, tende a crescer sobre as áreas baixas, principalmente nas margens dos campos inundáveis, alterando a imagem natural, além de trazer consequências irreversíveis ao sistema ambiental da região. A ocupação das reentrâncias e/ou Sítio Ramsar é uma possibilidade vislumbrada em médio prazo, considerando os cenários expostos, causando alterações extremas no regime hidrológico da região (Chaga *et al.*, 2021).

A ocupação das áreas marginais dos cursos hídricos conduz ao aterramento, que podem afetar

diretamente as nascentes que alimentam o rio Pericumã, o aterramento irregular em áreas úmidas oferece riscos aos residentes dos domicílios, devido à má compactação, o material particulado, assim como, os dejetos humanos podem apresentar compostos que alterem os parâmetros físicos, químicos e biológicos da água. Vale destacar, a remoção da flora aquática que é utilizada como substrato para diversas espécies depositarem seus ovos e perpetuar a espécie. Isto contribui para o processo de amadurecimento precoce dos espécimes, redução dos estoques pesqueiros e maior gasto energético para se adaptar às condições

do ambiente. As condições dos rios que atravessam as cidades brasileiras encontram-se cada vez mais deterioradas e contaminadas, tais situações são decorrentes da precariedade e da ausência de coleta e tratamento de esgoto (Theodosio *et al.*, 2023).

O Brasil ao longo dos anos desenvolveu intensamente atividades agrícolas e pecuaristas, subsidiados pela vastidão de suas terras agricultáveis somados ao clima tropical e relevo mais suave ondulado como é destacado por Caldas *et al.*, (2019). O sistema agrícola predominante da bacia é baseado no corte e queima da cobertura vegetal, a prática é recorrente e geralmente não é obedecido um período de pousio, para recomposição orgânica. Tal prática promove o carreamento de resíduos sólidos de diversas naturezas para os cursos hídricos, deixando-os vulneráveis a processos de erosão laminar e soterramentos das nascentes. O solo exposto pode causar erosão e insustentabilidade socioambiental sem práticas eficazes de recuperação e manejo do solo (Moro *et al.*, 2022).

A erosão antrópica avançada é o tipo de erosividade induzida pela ação do homem, sendo

as atividades agrícolas e obras de construção bons exemplos de atitudes que podem levar à erosão do solo (Oliveira *et al.*, 2023). Para Pereira *et al.* (2021), o manejo adotado não é sustentável, pois reduz a produção de bens naturais, as técnicas usadas são inadequadas como as queimadas que impossibilita a incorporação de novas áreas de produção e exerce pressão sobre os recursos. Ressalta a importância do monitoramento e da fiscalização ambiental de modo a evitar e/ou mitigar o crescimento desordenado das atividades econômicas em Áreas de Proteção Ambiental (Fonseca *et al.*, 2024).

Observa-se que entre os anos de 1985 e 2020, houve redução das classes de formação florestal, o mesmo comportamento foi encontrado por Gu *et al.*, (2021) e Esquerdo *et al.* (2019), as classes de formação savânica e apicum também diminuíram. Entretanto, houve crescimento de pastagens e área urbanizada (Figura 7). A falta de planejamento e gestão urbana é um dos principais motivos para o mau uso e/ou aproveitamento e conservação do espaço (Soares *et al.*, 2022).

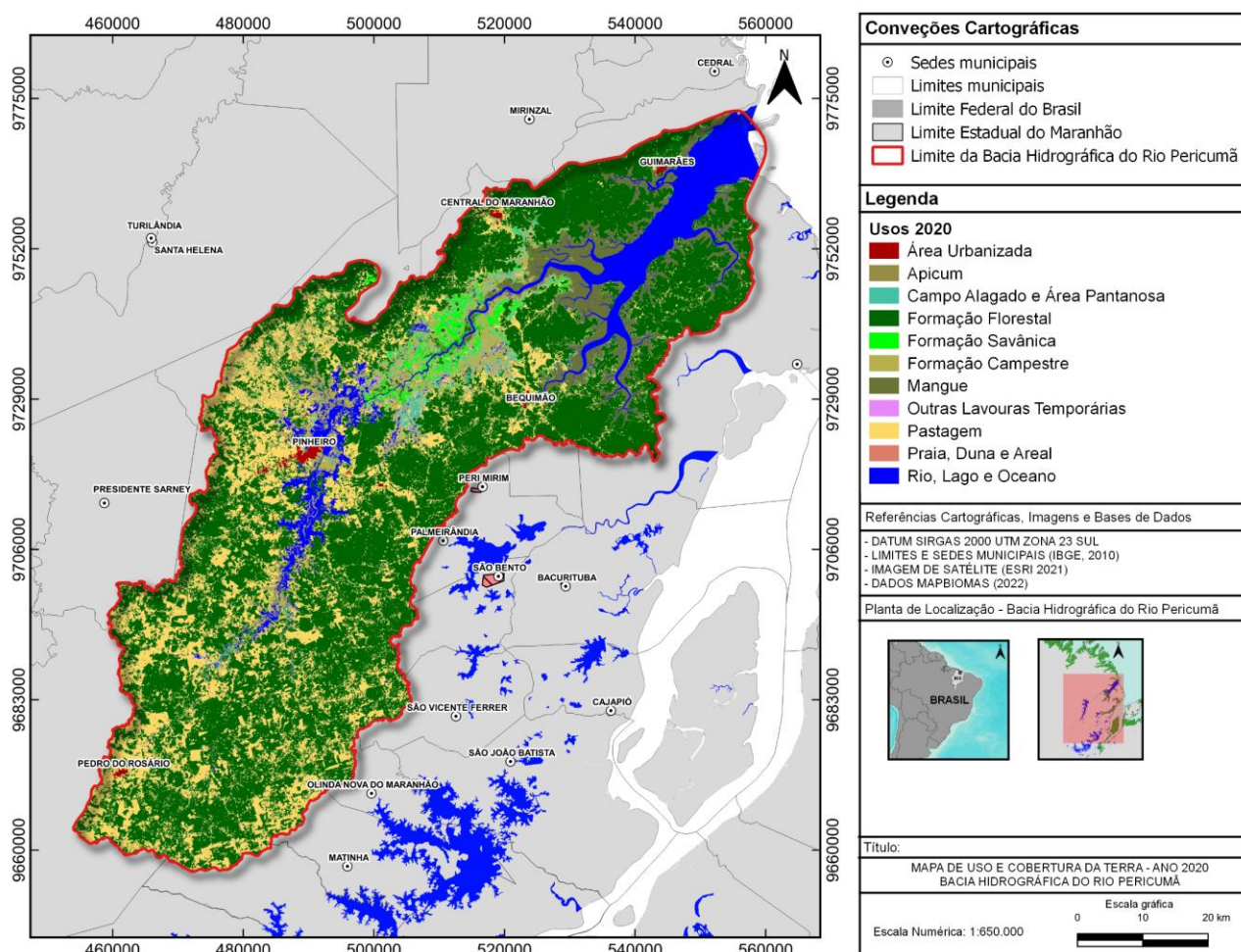


Figura 7. Mapa de uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do rio Pericumã, ano 2020.

A formação campestre pode ser apontada como a vegetação de campos alagados e seu crescimento pode ser observado em 2005, devido a construção da barragem em 1982, assim como a quantidade de nutrientes presente no rio. A partir da análise, é evidente que a redução da vegetação campestre em 2020 foi provocada em parte pelo processo de aterramento, uso e ocupação das margens para construção de casas, sobretudo, da população mais vulnerável economicamente.

A ausência de cobertura vegetal, classe de solo e intensidade de chuvas, dentre outros fatores, associada à maior declividade, conduzirá à maior velocidade de escoamento, menor quantidade de água armazenada no solo e poderá provocar enchentes, sujeitando a bacia à degradação (Coutinho *et al.*, 2011). Para isso se faz necessário dispor de alternativas de controle e recuperação dos locais degradados, fornecendo subsídios para a definição de usos adequados e compatíveis com as características ambientais locais (Silva, Machado, 2011). É, portanto, na ação preventiva e na promoção da justiça social e ambiental na cidade que se encontram os maiores desafios ao planejamento e à capacidade adaptativa das aglomerações urbanas às situações de desastres (Garcia *et al.*, 2023).

Nos mapas analisados da BHRP é possível verificar que as Áreas de Preservação Permanente (APPs), dentre elas as nascentes, não estão sendo preservadas e respeitadas conforme o Código Florestal, Lei 12.651/2012. Os mapas evidenciam a presença de pastagem nessas áreas, não

respeitando a delimitação estabelecida em lei. O fato de a área ser utilizada pela pecuária, pode compactar a área de nascente, devido ao pisoteamento, tornando-a vulnerável a processos de erosão. Distintas condições podem estar associadas à deterioração da qualidade hídrica, como por exemplo, a urbanização, o aumento do escoamento superficial, o déficit de vegetação ripária, o uso e ocupação inadequada do solo, o assoreamento e, ainda, a diminuição do fluxo de água nos corpos hídricos (Fonseca *et al.*, 2024, Tokuda *et al.*, 2024).

Além disso, a presença de matéria orgânica em corpos d'água com pouco oxigênio produz gases tóxicos, como sulfeto de hidrogênio, que podem prejudicar a saúde humana e animal (Theodosio *et al.*, 2023). Verifica-se que ao longo dos cursos dos rios, as áreas que deveriam ser preservação permanente apresentam predominantemente uso da terra classificados como campo/agricultura, plantios florestais e solos expostos (Silva; Figueiredo, 2024). A erosão resultante da ação humana ou animal está relacionada às necessidades de produtividade, sejam essas atividades agrícolas ou de obras, que trazem consigo consequências que impactam negativamente a natureza (Oliveira *et al.*, 2023).

Ainda conforme a Tabela 4, observa-se um comportamento de crescimento entre 1985 e 2005, das classes mangue, campos alagados, floresta campestre e áreas de praia, já em segunda análise o intervalo entre 2005 e 2020 há redução de todas as classes mencionadas acima.

Tabela 4. Área (km²) do uso e cobertura da terra da BHRP, nos anos de 1985, 2005 e 2020.

Classes de Uso e Cobertura do Solo	Área (Km ²)		
	1985	2005	2020
Formação Florestal	67,98	60,95	55,28
Formação Savânica	2,00	1,75	1,69
Mangue	5,20	5,31	5,14
Campos Alagados e Áreas Pantanosas	1,32	1,53	1,37
Formação Campestres	4,33	5,35	4,98
Pastagem	9,04	16,44	22,69
Praia, Duna e Areal	0,01	0,03	0,02
Área Urbanizada	0,10	0,27	0,35
Apicum	0,31	0,24	0,28
Rio, Lago e Oceano	9,71	8,05	8,07
Outras Lavouras Temporárias	0,00	0,07	0,13
Área Total da Bacia	100	100%	100%
	%		

Houve redução na área de rios, lagos e oceano devido a barragem no médio curso do rio Pericumã, que comprometem os processos naturais de maré dinâmica e cunha salina, ao projeto de

diques da baixada - projeto este que transformou a dinâmica do ecossistema promovendo o surgimento de algumas espécies de fauna e flora, assim como, o detrimento de outras - construídos

em alguns municípios da bacia com a finalidade de armazenamento de água no período de estiagem e ao uso e ocupação das margens dos canais com o soterramento para fins de surgimento de ruas para deslocamento e construções. Viegas (2015), destaca também que o barramento promove o surgimento de novos níveis de base topográficos que ajudam a regular a vazão hídrica e modela o ambiente. Áreas com problemas ambientais necessitam de planejamento com o intuito de diminuir os impactos causados pelo incorreto uso da ocupação da terra (Silva; Figueiredo, 2024). Isso é importante para a conservação da biodiversidade e para o uso sustentável dos recursos hídricos (Theodosio *et al.*, 2023).

A cobertura vegetal da bacia hidrográfica exerce importante influência sobre a parcela da água de chuva que se transforma em escoamento superficial e sobre a velocidade com que esse escoamento atinge a rede de drenagem e no processo de infiltração para abastecimento dos

lençóis freáticos. Corrêa *et al.* (2022), destacam que a microbacia do rio Ambude na Bacia Hidrográfica do Rio Bacanga, também apontou impactos advindos da implementação de condomínios residenciais, aterramento das nascentes, assoreamento do rio, lançamento de esgotos domésticos e aumento da turbidez da água devido processos erosivos. A BHRP vem apresentando as mesmas impressões ambientais, sobretudo, no município de Pinheiro.

Os impactos mencionados acima, podem ser associados a redução de espécimes da fauna e da flora, pelas condições ambientais após a construção da barragem, as queimadas e o desmatamento. Pereira (2006), aponta o caráter devastador do corte da palmeira juçara (*Euterpe oleracea*) para aproveitamento do estipe através do palmito ou ripas, espécie que protege as nascentes nas áreas de matas de galerias. Que podem ser visualizadas pela Figura 8, obtidas no campo realizado em 07 de julho de 2022.



Figura 8. Vistas da nascente do rio Pericumã. Fonte: Autores.

Legenda: Nascente do rio Pericumã (a), imagem a cerca de 1,5 km da nascente do rio Pericumã(b).

O desenvolvimento acelerado de bairros que oferecerem boa localização e possuírem potencial econômico e turístico, contribui para a diminuição dos índices de solo exposto, aterramentos, preenchidos por construções de comércio e moradias urbanas (Soares *et al.*, 2022). O município de Pinheiro está localizado relativamente ao centro da bacia e possui bons cursos técnicos, superiores em entidades públicas e privadas, isto, contribui com o adensamento populacional, atrelado a isso podemos apontar as estradas e o desenvolvimento de atividades

comerciais desordenadas que levam mais impacto para a região. De forma geral, observou-se no mapeamento a redução das áreas verdes e protegidas, elevando a produção de resíduos sólidos e a exploração dos recursos naturais.

Para Cardoso *et al.* (2019), a expansão urbana de forma desordenada, potencializa a supressão das áreas verdes, os processos erosivos, a deterioração da qualidade da água e a ampliação das áreas de risco. A sinergia destes impactos pode gerar e/ou conduzir a redução de biodiversidade,

proliferação de vetores e redução da disponibilidade hídrica (Corrêa *et al.*, 2022).

As classes de campos alagados, praia, apicum e outras lavouras temporárias não são visualizadas na Figura 9, devido a sua contribuição geoespacial ser pequena, considerando todo o perímetro da bacia. Contudo, é relevante apontar que são fundamentais para a dinâmica ambiental e esta área contribui com dois dos oitos Sítios Ramsar Brasileiro, sendo a Área de Proteção Ambiental e o Sítio Ramsar da Baixada Maranhense, ambos estão diretamente ligados à bacia do Rio Pericumã.

A cobertura vegetal reduziu e a área foi ocupada, principalmente por pastagens, isto pode representar ameaça para a conservação da biodiversidade em escala local e regional, além de comprometer os meios de subsistência. A conversão de áreas florestais em terras para pastagem para criação de bovinos foi a principal

causa da redução e o surgimento de outras áreas de lavouras temporárias provocadas pela agricultura. Também podemos apontar que, a partir de 1985 a região teve um aumento do contingente populacional nos núcleos urbanos da área em estudo. Chaga *et al.* (2021), revelou uma taxa média de crescimento populacional no Estado de 1,91% (entre os anos de 1988-1991), maior que a média nordestina para a Baixada Maranhense.

Houve redução na vegetação de manguezais na área da BHRP, o mesmo foi observado na bacia do Rio Bacanga com 3%, provocado pela ocupação de comunidades, foram identificados pontos vulneráveis que acabam pressionadas e ocupando as margens dos manguezais (Cardoso *et al.*, 2019). Como aponta Viegas (2015), a complexidade ambiental pode encontrar suporte em diagnósticos para a compreensão dos problemas advindos das relações conflitantes entre sociedade e natureza.

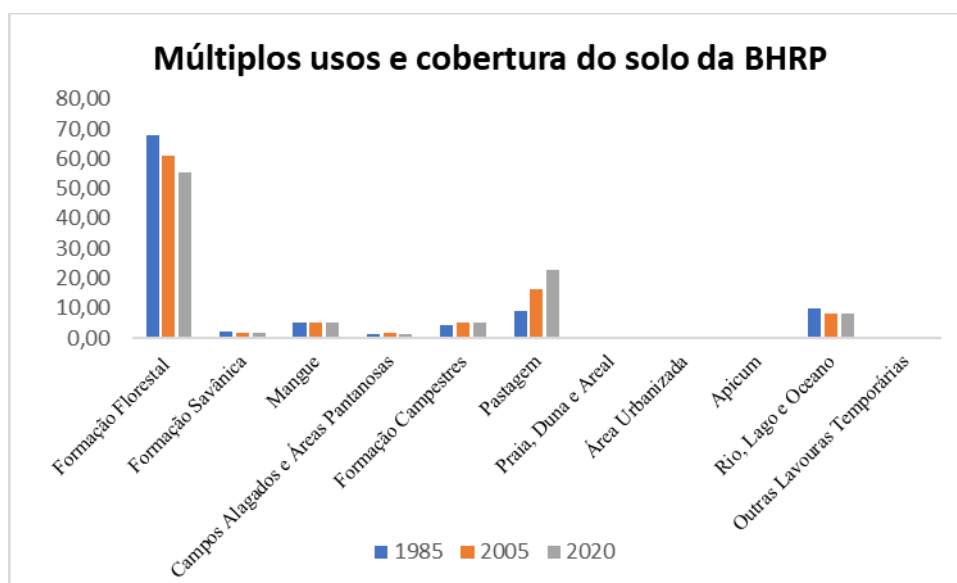


Figura 9. Gráfico de uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do rio Pericumã, entre 1985 e 2020. Fonte: Autores.

A transição do uso e cobertura da terra do ano de 1985 para 2020, na BHRP utilizando o gráfico Sankey (Figura 10), os diagramas de Sankey descrevem o fluxo de transição entre as

classes de uso e cobertura da terra, devido aos valores de área muito baixos, as classes campos alagados, área urbanizada, praia e outras lavouras temporárias não são exibidas no diagrama.

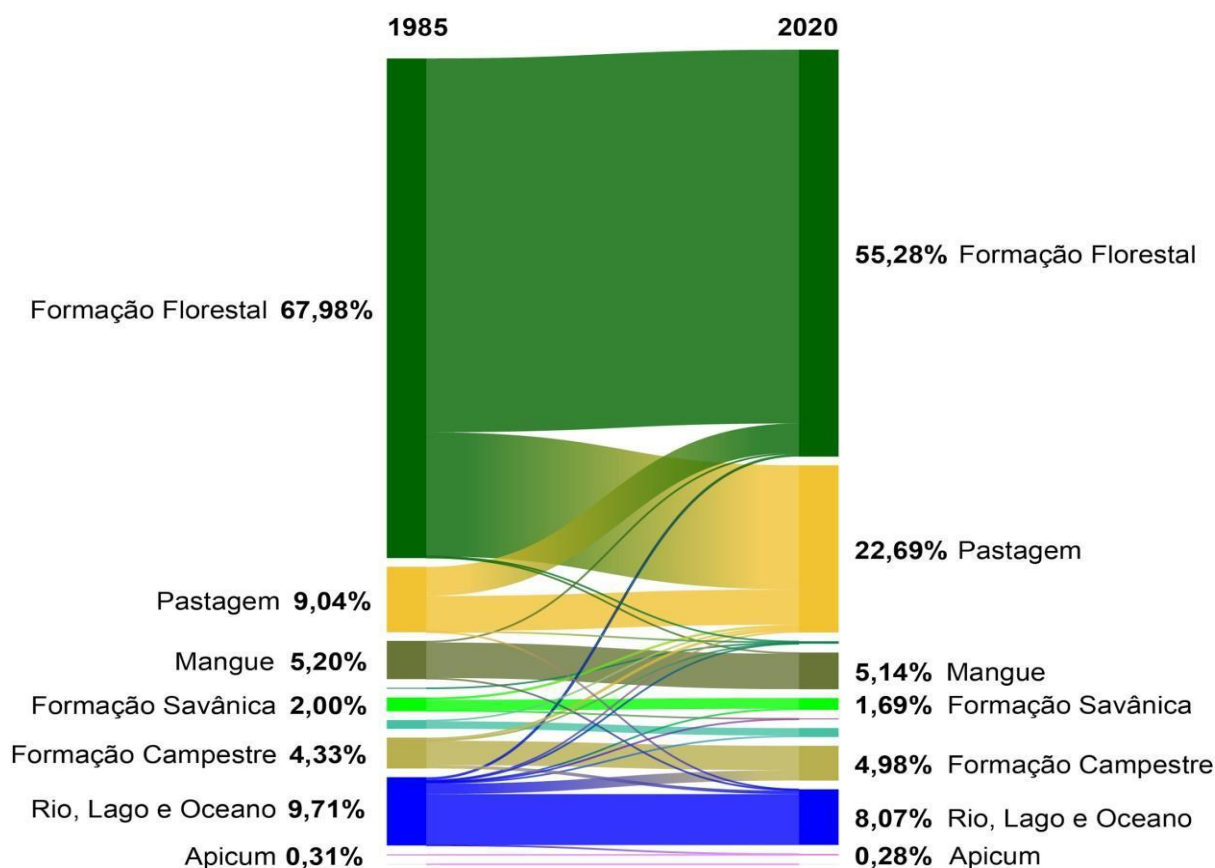


Figura 10. Transição do uso e cobertura da terra para a bacia hidrográfica do rio Pericumã, entre 1985 a 2020..

Teodoro (2007), destaca a importância dos estudos sobre vulnerabilidade ambiental em bacias hidrográficas, ele aborda as particularidades do ambiente e os seus agentes; para indicar a capacidade de resiliência ambiental e danos. Quanto mais a jusante na bacia, mais as áreas de risco coincidem com áreas de interesse social, notadamente áreas ocupadas por grupos socialmente mais vulneráveis (Garcia *et al.*, 2023). Não obstante, qualquer modificação no sistema hídrico, acarretará em uma medida de remediação que tende a minimizar o efeito da modificação e restaurar o estado de equilíbrio dinâmico.

Práticas como adubação verde, com vista a diminuição de insumos químicos que poderiam ocasionar poluição dos mananciais. Utilização de plantios em nível ou em gradiente. O isolamento das áreas das nascentes, a fim de se evitar o livre acesso de animais e pessoas que poderiam compactar o solo da área do entorno diminuindo a

infiltração da água e a consequente recarga do lençol freático, prejudicando o pleno funcionamento do manancial (Alves *et al.*, 2024). São ações que podem contribuir para a proteção e uso sustentável dos mananciais hídricos.

Ressalta-se que a bacia hidrográfica é uma importante unidade de gestão que integra diversos componentes geoambientais e socioeconômicos, trata-se de um bem de acesso comum que faz a manutenção física, bioecológica, socioambiental, cultural e política, tendo a função de conservação dos recursos hídricos da região.

Os resultados deste estudo podem fornecer uma visão sobre a seleção de práticas de gestão apropriadas com base na localização e gravidade da poluição para os agricultores e múltiplas instituições na tomada de decisões e implementação de práticas de conservação para benefícios ambientais, melhorando a qualidade da água (Venishetty *et al.*, 2023).

Conclusões

A pesquisa apresentou um caráter multidisciplinar, reuniu diversas áreas do conhecimento, envolveu as interações entre o meio físico e biológico da bacia hidrográfica do rio Pericumã. Levou em consideração as

peculiaridades e desigualdades da região, aumentando a complexidade da pesquisa e das estratégias de mitigação e adaptação.

Evidencia que os parâmetros morfométricos indicam que a bacia hidrográfica do

rio Pericumã possui formato dendrítico e alongado. O padrão identificado mostra que a baixa tendências para cheias e percebeu-se a baixa capacidade de drenagem, em contrapartida, sua forma favorece o escoamento. Destaca-se que os dados associados à geomorfologia, hidrologia, geologia e uso e cobertura da terra são importantes para a tomada de decisões pelos gestores dos territórios.

A crescente expansão demográfica dos municípios que compreendem a bacia tem exercido forte pressão sobre os recursos hídricos, a vegetação e os múltiplos usos do solo. É de vital importância que haja alternativas para controle e recuperação dos locais suscetíveis à degradação advindos das ações antrópicas em consonância às características do ambiente. Portanto, os usos e cobertura da terra auxiliam na correlação dos impactos ambientais e nas ações antrópicas na bacia hidrográfica do rio Pericumã. Os dados do Google Earth Engine associados aos dados do MapBiomas fornecem uma maior resolução temporal, que permite análises contínuas, foram observadas 11 classes, destas, a classe de formação florestal é mais observada em todos os anos analisados, porém com o crescimento da pastagem, a formação florestal também foi a classe que apresentou maior diminuição.

A ocupação desordenada da bacia hidrográfica expõe sobre as alterações extremas no regime hidrológico da região, associada à perda de vegetação, que conduz à maior velocidade de escoamento, menor quantidade de água armazenada no solo e poderá provocar enchentes, sujeitando a bacia à degradação. A conversão de áreas florestais em terras para pastagem para criação de animais foram a principal causa da redução, o surgimento de outras áreas de lavouras temporárias provocadas pela agricultura cresceu devido a busca de alternativas de subsistência da população, provocado pela expansão dos núcleos urbanos da área em estudo.

Diante do exposto é necessário que os tomadores de decisão priorizem as áreas de nascentes, para que não comprometam a drenagem e consequentemente a manutenção da área de inundação da Baixada bem como o escoamento da bacia hidrográfica que é muito importante para as atividades pesqueiras das comunidades contidas na bacia hidrográfica do rio Pericumã. As autoridades precisam realizar o ordenamento dos usos e ocupações do solo, ferramenta muito importante para o ordenamento da urbanização, sobretudo, nas áreas próximas aos corpos hídricos.

Referências

- Aher, P.D., Adinarayana, J., Gorantiwar S.D., 2014. Quantification of morphometric characterization and prioritization for management planning in semi-arid tropics of India: A remote sensing and GIS approach. *Journal of Hydrology*, 511, 850–860.
- Alves, T.J.P., Marques, R.F.P.V., Alcantra, E., Rodrigues, L.S., 2014. Análise ambiental de nascentes na serra do Cabral no município de Francisco, Dumont/MG. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 17, 2, 1309-1325. ISSN:1984-2295.
- Andrade, J.R., Neto, J.P.C., Mochel, F.R., 2021. Potenciais impactos da implantação dos sistemas de diques na APA da Baixada Maranhense: causas e efeitos na sustentabilidade dos ecossistemas locais. In: Araújo, N.A., Barbieri, R. (Orgs). *Sustentabilidade dos ecossistemas do Maranhão - Baixada maranhense*. 1ª Ed. Bauru, São Paulo. Gradus Editora, 1, 225-242.
- Aravinda, P.T., Balakrishna, H.B., 2013. Morphometric analysis of Wrisabhavathi watershed using remote sensing and Gis. *International Journal of Research in Engineering and Technology* 2, 8, 514-522.
- Banerjee, A., Singh, P., Pratap, K., 2017. Morphometric evaluation of Swarnrekha watershed, Madhya Pradesh, India: an integrated GIS-based approach. *Applied Water Science* 7, 4, 1807-1815.
- Biswas, S., Sudhakar, S., Desai, V.R, 1999. Prioritization of subwatersheds based on morphometric analysis of drainage basin: A remote sensing and GIS approach. *Journal of the Indian society of remote sensing* 27, 3, 155-166.
- Brasil. Lei nº 10.406, de 10 de janeiro de 2002. Dispõe sobre o Código Civil. Brasília, DF. Disponível em: <https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/2002/110406compilada.htm>. Acesso em 28 jun. 2022.

- Brasil. Lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012. Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa. Brasília, DF. Disponível em: <<https://bit.ly/3m94R3O>>. Acesso em: 25 jun. 2022.
- Caldas, V.I.S.P., Silva, A.S., Santos, J.P.C., 2019. Suscetibilidade a erosão dos solos da Bacia Hidrográfica Lagos – São João, no Estado do Rio de Janeiro – Brasil, a partir do Método AHP e Análise Multicritério. *Revista Brasileira de Geografia Física* 12, 4, 1415-1430.
- Cardoso, K.M.O., Ribeiro, D.R.R., Pinheiro, E.A.L., Castro, A.C.L.; Bandeira, A.M., Soares, L.S., 2019. Avaliação da dinâmica da paisagem da bacia hidrográfica do rio Bacanga, São Luís – MA. In: Pinheiro, L.S; Gorayeb, A. (Orgs). *Geografia física e as mudanças globais*. Fortaleza. Editora UFC, 43, 460-470. ISBN: 978-85-7282-778-2.
- Carvalho-Neta, R.N.F., Dantas, J.G., Sousa, D.B.P., Andrade, T.S.O.M., Farias Filho, M.S., 2015. Área de proteção ambiental da baixada maranhense: desafios atuais e futuros para a gestão dos recursos aquáticos. São Luís, UEMA, FAPEMA, 55-67.
- Chagas, J.O., Santos, M.C.F.V., Barreto, L., Araújo, N.A., 2021. Análise da dinâmica da expansão urbana em Anajatuba e Pinheiro e seus impactos socioambientais. In: Araújo, N.A., Barbieri, R. (Orgs). *Sustentabilidade dos ecossistemas do Maranhão - Baixada maranhense*. 1ª Ed. Bauru, São Paulo. Gradus Editora, 8, 123-138.
- Christoforetti, A. 1980. *Geomorfologia*. São Paulo, Editora Blucher. ISBN 978-85-212-0130-4.
- Corrêa, V.E.S., Ribeiro, D.R.R., Junior-Pinheiro, J.R., Soares, L.S., 2022. Análise da integridade das áreas de preservação permanente das sub-bacias do Batatã e Maracanã, Sistema Bacanga. In: Silva, G.C., Caetano, A.N.G., Pereira, W.L.M., Silva, V.I.B., Machado, A.M.B., Sohn, C.D.M. (Orgs). *Impactos ambientais da exploração dos recursos hídricos e energéticos*. São Luís, Editora: EDUFMA 9, 84-92. ISBN 978-65-5363-038-3.
- Costa, E.S., Carvalho, E.M., Leite, E.F., 2023. Análise do índice de dissecação do relevo, hipsometria e declividade do município de Aquidauana-MS. *Geofronter*, Campo Grande, 10, 1-16. e7760. ISSN: 2447-9195.
- Coutinho, L.M., Cecílio, A., Xavier, A.C., Zanetti, S.S., Garcia, G.O., 2011. Caracterização morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio da Prata, Castelo, ES. *Irriga*, Botucatu 16, 4, 369-381.
- Esquerdo, J.C.D.M., Antunes, J.F.G., Coutinho, A.C., Santos, J.L., Parizzi, T.N.T., Bertolo, L.S., 2019. Land use and land cover dynamics in municipalities of the upper PARAGUAY RIVER BASIN: an analysis based on the geoportal TerraClass. *R. Ra'e Ga*, Curitiba 46, 3, 63-74.
- Fonseca, C.S., Amaral, V.S., Navoni, J.A., 2024. Impacto antrópico nos recursos hídricos do estado do Rio Grande do Norte: uma análise geoespacial de vulnerabilidade ambiental. *Caderno Prudentino de Geografia*, Presidente Prudente, 46, 1, 49-67. ISSN: 2176-5774.
- Fuzzo, D.F.S., Silva, L.F., Filho, J.A.F., 2024. Google Earth Engine aplicado ao mapeamento pluviométrico no Triângulo Sul Mineiro (Brasil). *Agua y Territorio*, 23, 111-121. ISSN: 2340-8472. ISSN: 2340-7743. DOI: 10.17561/at.23.7282.
- Garcia, L.C., Viana, J.N.L., Lima, C.M.S., 2023. Gestão de risco, vulnerabilidade ambiental e a questão climática na gestão metropolitana. *Caderno Metropolitano*, São Paulo, 25, 58, 875-897. <http://dx.doi.org/10.1590/2236-9996.2023-5805>.
- Gu, C., Zhang, Y., Liu, L., Li, L., Li, S., Zhang, B., Cui, B., Rai, M.K., 2021. Qualifying land use and land cover dynamics and their impacts on Ecosystem Service in Central Himalaya transboundary landscape based on Google Earth Engine. *Land* 10, 173.
- Guimarães, R.C. 2012. “Capítulo 2 – Bacia Hidrográfica”, in: Shahidian, S., Guimarães, C.R., Rodrigues, C.M., (editores), *Hidrologia Agrícola*. ECT, ICAAM, Universidade de Évora. Disponível em: <http://dspace.uevora.pt/rdpc/bitstream/10174/7988/1/Capitulo_2_Bacia_Hidrogr%C3%A1fica.pdf>. Acesso em: 15 de maio de 2022.

- Horton, R.E., 1932. Drainage Basin Characteristics. Trans. American Geophysical Union, 13, 350-361.
- Horton, R.E., 1945. Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. Geological Society of America Bulletin, 56, 275-370.
- IBGE. 2022. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 17 mai. 2022.
- Kumar, A., Tirkey, A.S., Ratnam, R., Krishna, A.P., 2022. Morphometric Analysis of Damodar River Sub-watershed, Jharkhand, India, Using Remote Sensing and GIS Techniques. In: Geospatial Technology for Landscape and Environmental Management. Springer, Singapore, 207-226.
- Lima, W.P., 1969. Manejo de bacias hidrográficas. Piracicaba: ESALQ.
- Lima, W. P., 2008. Hidrologia florestal aplicada ao manejo de bacias hidrográficas. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo. 253. Disponível em: <<http://www.ipef.br/hidrologia/hidrologia.pdf>>. Acesso em: 15 de mar. de 2022.
- Machado, A.M.B., Silva, E.V.da., Soares, L.S., Bandeira, A.M., Castro, A.C.L.de., Borges, J.de.O., Serra, L.A., Soares, L.A., Santiago, D.R., 2023. Geo-environmental Analysis of Watersheds on the Eastern Coast of the State of Maranhão, Brazil and Interface with Lençóis Maranhenses National Park. Revista Brasileira de Geografia Física, [S. l.], 16, 1, 227–250, DOI: 10.26848/rbgf.v16.1.p227-250. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgf/article/view/254804>. Acesso em: 18 mar. 2024.
- Mapbiomas., 2020. MapBiomas General “Handbook”: Algorithm Theoretical Basis Document (ATBD) - Collection 6. Disponível em: https://mapbiomas-brsite.s3.amazonaws.com/ATBD_Collection_5_v1.pdf. Acesso em: 29 abr. 2022.
- Mattedi, M.A., Mello B.J., Souza, C.M.M., Vicentiner, D.A., Kormann, T.C., 2024. Aplicação do índice de vulnerabilidade socioambiental a desastres por meio de Sistema de Informação Geográfica (SIG): estudo de caso do município de Blumenau (SC). Journal of Environmental Managemet & Sustainability, 13, 1-43. e23423. <https://doi.org/10.5585/2024.23423>.
- Moro, L. D., Maculan, L.S., Pivoto, D., Cardoso, G. T., Pinto, D., Adelodun, B., Bodah, B.W., Santosh, M., Bortoluzzi, M. G., Branco, E., Neckel, A., 2022. Geospatial analysis with landsat series and Sentinel-3B OLCI Satellites to Assess Changes in Land Use and water quality over time in Brazil. Sustainability, 14, 1-17. 9733. <https://doi.org/10.3390/su14159733>.
- Oliveira, M.K.T., Macedo, R.C.B.S., Rebouças, C.K.O., Silva, K.C.N., 2023. Ação antrópica na erosão de solo em bacias hidrográficas do semiárido brasileiro. HOLOS, 39, 8, 1-12. DOI: 10.15628/holos.2023.16838
- Oliveira, V.C.S.S., Costa, A.G., Machado, T.A., 2024. Modelagem dinâmica aplicada para avaliação de áreas com atividades agrícolas na região do Matopiba/Brasil. Contribuciones a Las Ciencias Sociales, São José dos Pinhais, 17, 2,1-18. DOI: 10.55905/revconv.17n.2-088.
- Pandey, Y., Mehraj, N., Qureshi, M., Dadhich, M.S., Shukla, R.M., 2024. Morphometric Analysis of Dachigam Drainage Basin Using Geo-Spatial Technology (GST). International Journal of Environment and Climate Change. 2, 712-724. ISSN: 2581-8627.
- Pereira, R.C.C., Feitosa, A.C., Bezerra, D.S., 2021. Caracterização das alterações ambientais segundo o uso dos recursos naturais por trabalhadores rurais no alto curso do rio Pericumã. In: Araújo, N.A.; Barbieri, R. (Orgs). Sustentabilidade dos ecossistemas do Maranhão - Baixada maranhense. 1ª Ed. Bauru, São Paulo. Gradus Editora, 5, 79-93.
- Pereira, R.C.C., 2006. Caracterização das alterações ambientais segundo o uso dos recursos ambientais por trabalhadores rurais no alto curso do rio Pericumã. Dissertação (Mestrado em Sustentabilidade de Ecossistema) - Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Sustentabilidade de Ecossistemas, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2006. Disponível em

- <<https://tedebc.ufma.br/jspui/handle/tede/1215>>. Acesso em: 23 abr. 2022.
- Pinheiro, C.U.B., 2021. Região da Baixada Maranhense: o homem, os recursos naturais desencontro entre conservação e desenvolvimento. In: Araújo, N.A., Barbieri, R. (Orgs). Sustentabilidade dos ecossistemas do Maranhão - Baixada maranhense. 1ª Ed. Bauru, São Paulo. Gradus Editora, 1, 9-30.
- Rahaman, S.A., Ajeez, S.A., Aruchamyc, S., Jegankumard, R., 2015. Prioritization of Sub Watershed Based on Morphometric Characteristics Using Fuzzy Analytical Hierarchy Process and Geographical Information System – A Study of Kallar Watershed, Tamil Nadu. Aquatic Procedia. 4, 1322–1330.
- Rai, P.K, Chandel, R.S., Mishra, V.N., Singh, P., 2018. Hydrological inferences through morphometric analysis of lower Kosi River basin of India for water resource management based on remote sensing data. Applied Water Science, 8, 15.
- Rao, J.H., Sharma, S.K., Awasthi, M.K., Pyasi, S.K., Pandey, S.K., 2022. Land use Land Cover Classification of Burhner River Watershed Using Remote Sensing and GIS. International Journal of Environment and Climate Change, 12, 7, 119-132.
- Schumm, S.A., 1956. Evolution of drainage systems and slopes in badlands of Perth Amboy. Geological Society of America Bulletin, 67, 597-646.
- Silva, R.S., Figueiredo, T.A., 2024. Análise geoespacial e temporal do uso e cobertura da terra na Bacia Hidrográfica do Rio das Mortes Pequeno, Minas Gerais. Caderno de Geografia, 34, 76, 325-348. ISSN: 2318-2962. DOI: 10.5752/p.2318-2962.2024v34n76p325.
- Silva, V.C.B., Machado, P.S., 2014. SIG na análise ambiental: susceptibilidade erosiva da Bacia Hidrográfica do Córrego Mutuca, Nova Lima – Minas Gerais. Revista de geografia (UFPE), 31, 2, 66-87.
- Smith, K.G., 1950. Standards for grading textures of erosional topography. American Journal of Science, 248, 655–668.
- Soares, L.A., Machado, A.M.B., Ribeiro, D.R.R., Soares, L.S., 2022. Mudanças no uso e ocupação do solo das bacias hidrográficas litorâneas, São Luís-MA. In: Marinho, A.S., Silva, G.C.; Caetano, A.N.G., Serra, L.A., Sopchaki, C.H., Rabelo, F.D.B. (Orgs). Geotecnologias e cartografia social aplicadas ao planejamento e gestão territorial. São Luís, Editora: EDUFMA, 46, 438-446. ISBN: 978-65-5363-035-2
- Soares, L.S., Lopes, W.G.R., Castro, A.C.L., Araújo, G.M.C., 2016. Análise morfométrica e priorização das bacias hidrográficas como instrumento de planejamento ambiental integrado. Revista do Departamento de Geografia, 31, 82-100.
- Strahler, A.N., 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. Transaction of American Geophysical Union, 38,913-20.
- Teodoro, V.L.I., Teixeira, D., Costa, D.J.L., Fuller, B.B., 2007. O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfométrica para o entendimento da dinâmica ambiental local. Revista Uniara, 20, 137-156.
- Theodosio, S.C.S., Martins, A.S., Silva, A.A.O., Silva, D.F., Silva, M.R.C., Lima, N. S., Gomes, W.C., 2023. Estudo físico-químico do Rio Pericumã na Baixada Maranhense. Revista Interfaces. 11, 3, 3017-3025. ISSN: 2317-434x.
- Tokuda, E.N., Lima, C.G.R., Oliveira, J.N. 2024. Análise espacial e temporal de eventos de secas na Região Hidrográfica Alto Rio Paraná de 1990 a 2020. Mercator, Fortaleza, 23, 1-22. e23001, ISSN:1984-2201
<https://doi.org/10.4215/rm2024.e23001>.
- Valeriano, M.M., 2005. Modelo digital de variáveis morfométricas com dados SRTM para o território nacional: o projeto TOPODATA. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2005, Goiânia, GO. Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 1-8.
- Venishetty, V., Parajuli, P.B., Nepal, D., 2023. Spatial Variability of Best Management Practices Effectiveness on Water Quality within the Yazoo River Watershed. Hydrology, 10, 92, 1-12.
<https://doi.org/10.3390/hydrology10040092>
- Viegas, J. C., 2015. Diagnóstico dos agentes e processos atuantes na fragmentação da paisagem na bacia hidrográfica do rio Pericumã, ambiente da Amazônia

- Maranhense. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Presidente Prudente. f 175. Disponível em:<<https://repositorio.unesp.br/handle/11449/138501>>. Acesso em: 20 fev de 2022.
- Werneck, B.R., 2010. Avaliação da susceptibilidade à degradação ambiental da Bacia Hidrográfica do rio Macaé-RJ com apoio do geoprocessamento. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Macaé. f. 92. Disponível em: <http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select_action=&co_obra=198307>. Acesso em: 27 abril. 2022.
- Xafoulis, N., Kontos, Y., Farsirotou, E., Kotsopoulos, S., Perifanos, K., Alamanis, N., Dedousis, D., Katsifarakis, K., 2023. Evaluation of Various Resolution DEMs in Flood Risk Assessment and Practical Rules for Flood Mapping in Data-Scarce Geospatial Areas: A Case Study in Thessaly, Greece. *Hydrology*. 10, 91, 1-27. <https://doi.org/10.3390/hydrology10040091>
- ZEE. Relatório Técnico de Recursos Hídricos Superficiais: hidrografia e hidrologia do Zoneamento Ecológico Econômico do Estado do Maranhão (ZEE) - Etapa Bioma Amazônico. Paulo Henrique de Aragão Catunda, 2019. Luiz Jorge Bezerra da Silva Dias (organizadores).