



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE TECNOLOGIA,
INFRAESTRUTURA E TERRITÓRIO (ILATIT)**

GEOGRAFIA BACHARELADO

**AVALIAÇÃO MORFOMÉTRICA E DO USO E COBERTURA DA TERRA NA
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO TAMANDUATEÍ (PR)
VIA GOOGLE EARTH ENGINE**

JULIETA CUEVAS

Foz do Iguaçu, PR
2025



**INSTITUTO LATINO-AMERICANO DE TECNOLOGIA,
INFRAESTRUTURA E TERRITÓRIO (ILATIT)**

GEOGRAFIA BACHARELADO

**AVALIAÇÃO MORFOMÉTRICA E DO USO E COBERTURA DA TERRA NA
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO TAMANDUATEÍ (PR)
VIA GOOGLE EARTH ENGINE**

JULIETA CUEVAS

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Instituto Latino-Americano
de Tecnologia, Infraestrutura e Território da
Universidade Federal da Integração Latino-
Americana, como requisito parcial à
obtenção do título de Bacharel em
Geografia.

Orientador: Prof. Dr. Diego Moraes Flores.

Foz do Iguaçu, PR
2025

JULIETA CUEVAS

**AVALIAÇÃO MORFOMÉTRICA E DO USO E COBERTURA DA TERRA NA
BACIA HIDROGRÁFICA DO RIBEIRÃO TAMANDUATEÍ (PR)
VIA GOOGLE EARTH ENGINE**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Instituto Latino-Americano
de Tecnologia, Infraestrutura e Território da
Universidade Federal da Integração Latino-
Americana, como requisito parcial à
obtenção do título de Bacharel em
Geografia.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Diego Moraes Flores
UNILA

Prof. Dra. Marcia Aparecida P. S. Scheer
UNILA

Prof. Dr. Paulo Miguel de Bodas Terassi
UNILA

Foz do Iguaçu, ____ de ____ de ____.

AGRADECIMENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a mis padres, Carmen y Ruben, por apoyarme cada día de mi vida. Por nunca soltarme la mano, por siempre escucharme y aconsejarme. Ellos son mi ejemplo como persona, como familia y como profesionales, son las personas a las que más admiro. Agradezco a mis hermanos Agustín, Benjamin y Ramiro, que por más que cada uno viva en una parte del mundo, siempre estuvimos juntos, dividiendo las tristezas y alegrías de nuestras vidas. Gracias por las visitas rápidas a Foz y las llamadas largas, desde donde pudimos conectarnos. Gracias a mis primos y primas que estuvieron ahí en cada vuelta a Córdoba para divertarnos, reírnos y olvidarnos del estrés de la vida académica.

Agradezco también a Luisa, Sophia, Hector, Carolina, Angélica y Ruben, mi familia de Foz do Iguaçu. Gracias por el cuidado, el cariño y la confianza con la que construimos el día a día. Gracias por bancarme el corazón en los desafíos, las caídas y las tristezas, pero también en todos los planes improvisados, las tardes de estudio y los festejos de los logros.

A Renan, por estar a mi lado sin importar lo que pase, por acompañarme todos los días en estos cuatro años y por ser mi lugar seguro. Agradezco inmensamente el compañerismo, el cariño diario y la forma de ser increíblemente curioso, inteligente y humilde. Gracias por leer todos mis trabajos, por hacer comentarios, por apoyarme, incentivarme y darme la fuerza necesaria para confiar en mí, en mi potencial y en mi trabajo. Gracias por hacer mis días, junto con Mona y Puru, más tiernos y leves.

A los colegas de Itaipu: Genilson, Paulo, Lucas y Raquel, que con mucha dedicación y paciencia me enseñaron durante dos años. A partir de ellos me interesé más por la teledetección y el geoprocesamiento y descubrí un mundo de posibilidades en esas áreas. Sin dudas, la pasantía fue una de las experiencias más enriquecedoras y transformadoras de mi vida.

A mi orientador, el profesor Diego Flores, quien estuvo presente hasta en los más mínimos detalles de todo el trabajo. Soy infinitamente grata por la disposición, las enseñanzas en el área de geografía física y las horas destinadas a los entrenamientos con drone a lo largo de este año. Nada de esto podría haber sido posible sin su orientación y ayuda.

A la profesora Marcia, por introducirme, enseñarme y motivarme a aprender sobre teledetección y la dinámica del clima. Gracias por demostrar tanto afecto y cariño a los/as alumnos/as y a la profesión, sin dudas es una gran referente como geógrafa y persona.

A la UNILA por brindar una enseñanza crítica, gratuita y de calidad, hoy tan en peligro en el contexto argentino. Gracias por apostar y posibilitar la integración latino-americana, en la que creo incansablemente desde la adolescencia y que hoy veo como un horizonte posible, al que quiero aportar para seguir construyendo. Agradezco especialmente a la PROGRAD por la ayuda financiera para realizar el trabajo de campo y por todos los programas que fomentan a que sigamos haciendo ciencia.

RESUMO

O sensoriamento remoto, em conjunto aos Sistemas de Informações Geográficas (SIG), possibilita a geração e o processamento de grandes volumes de dados espaciais. O avanço da informatização, automação e programação tem aprimorado a precisão dos estudos geoespaciais. Nesse contexto, este trabalho analisa a bacia do Ribeirão Tamanduateí (BRT), situada na bacia hidrográfica do Ivaí, no Noroeste do estado do Paraná, com o objetivo de caracterizar seus aspectos morfométricos e avaliar variáveis de pluviosidade e uso e cobertura da terra. A análise considerou a hierarquia fluvial, características morfométricas, pluviosidade e uso da terra, utilizando a plataforma Google Earth Engine (GEE) na linguagem JavaScript. Foram consultadas bases de dados do *United States Geological Survey* (USGS), *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data* (CHIRPS), MapBiomias e *European Space Agency* (ESA), além de imagens satelitais da Planet®. Esses dados foram utilizados para aprimorar a classificação do uso e da cobertura do solo por meio de um processo semiautomático com o algoritmo *Random Forest*. A acurácia da classificação foi avaliada pelo Índice Kappa, e a validação incluiu levantamentos de imagens com drones, posteriormente processadas no WebODM®. Os dados foram exportados em formatos raster e vetorial para a produção de mapas temáticos no software QGIS®. Os resultados indicaram que a bacia do Ribeirão Tamanduateí possui drenagem moderada, com morfometria que favorece a infiltração e reduz a propensão a enchentes, desde que não ocorra precipitação excessiva. A baixa declividade média e a pequena amplitude altimétrica contribuem para um escoamento mais lento. A análise do uso e cobertura da terra revelou discrepâncias entre as bases utilizadas, com o MapBiomias indicando predominância de pastagens e mosaicos de uso, enquanto a ESA apontou maior presença de cultivos e vegetação arbórea contínua ao longo dos cursos d'água. A classificação semi-automática no GEE, utilizando imagens Planet®, destacou a importância da alta resolução para identificar detalhes como estradas, fragmentos de vegetação e solo exposto. O Índice Kappa foi de 0,65 para a classificação de 2021 e 0,72 para 2024, indicando concordância muito boa entre amostras e classificação, o que também se refletiu na comparação com observações de campo realizadas no mês de fevereiro do ano 2025, apesar da presença de erros, principalmente na classe de cultivos. A variabilidade dos dados ressaltou a necessidade de integrar diferentes fontes para uma análise mais precisa da paisagem e das transformações do uso e cobertura da terra. Conclui-se que a bacia do Ribeirão Tamanduateí apresenta condições morfométricas satisfatórias, pluviométricas e de drenagem, favorecendo a infiltração da água e reduzindo a tendência a enchentes, além de ser apta para atividades agropecuárias e agrícolas. No entanto, a susceptibilidade natural dos solos à erosão linear, agravada pelo pisoteamento e impermeabilização resultantes do uso para pastagem e construção urbana, favorece a formação de ravinas e voçorocas. Esse processo foi identificado na nascente do rio principal e alertado por diversos autores, evidenciando a importância de estudos como este para monitoramento e prevenção da degradação ambiental.

Palavras-chave: bacia hidrográfica; noroeste paranaense; sensoriamento remoto; SIG; classificação semi-automática.

RESUMEN

La teledetección, junto con los Sistemas de Información Geográfica (SIG), permite generar y procesar grandes volúmenes de datos espaciales. Los avances en informatización, automatización y programación han mejorado la precisión de los estudios geoespaciales. En este contexto, este trabajo analiza la cuenca del Ribeirão Tamanduateí (BRT), localizada en la cuenca hidrográfica del Ivaí, en el noroeste del estado de Paraná, con el objetivo de caracterizar sus aspectos morfométricos y evaluar variables pluviométricas y de uso y cobertura del suelo. El análisis consideró la jerarquía del río, características morfométricas, pluviometría y uso del suelo, utilizando la plataforma Google Earth Engine (GEE) en lenguaje JavaScript. Se consultaron bases de datos del Servicio Geológico de los Estados Unidos (USGS), Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS), MapBiomas y la Agencia Espacial Europea (ESA), así como imágenes de satélite de Planet®. Estos datos se utilizaron para mejorar la clasificación del uso y la cobertura del suelo mediante un proceso semiautomático con el algoritmo *Random Forest*. La precisión de la clasificación se evaluó mediante el índice Kappa, y la validación incluyó estudios de imágenes de drones, que luego se procesaron en WebODM®. Los datos se exportaron en formatos raster y vectorial para producir mapas temáticos en el software QGIS®. Los resultados indicaron que la cuenca del Ribeirão Tamanduateí tiene un drenaje moderado, con una morfometría que favorece la infiltración y reduce la propensión a las inundaciones, siempre que no se produzcan precipitaciones excesivas. La baja pendiente media y el pequeño rango altitudinal contribuyen a una escorrentía más lenta. El análisis del uso y cobertura del suelo reveló discrepancias entre las bases de datos utilizadas, indicando MapBiomas un predominio de pastos y mosaicos de uso, mientras que ESA indicaba una mayor presencia de cultivos y vegetación arbórea continua a lo largo de los cursos de agua. La clasificación semiautomática en GEE, utilizando imágenes Planet®, puso de manifiesto la importancia de la alta resolución para identificar detalles como carreteras, fragmentos de vegetación y suelo expuesto. El índice Kappa fue de 0,65 para la clasificación de 2021 y de 0,72 para la de 2024, lo que indica una concordancia muy buena entre las muestras y la clasificación, que también se reflejó en la comparación con las observaciones de campo realizadas en febrero de 2025, a pesar de la presencia de errores, especialmente en la clase de cultivo. La variabilidad de los datos puso de manifiesto la necesidad de integrar diferentes fuentes para un análisis más preciso del paisaje y de las transformaciones en el uso y la cobertura del suelo. La conclusión es que la cuenca del Ribeirão Tamanduateí presenta condiciones morfométricas, pluviométricas y de drenaje satisfactorias, que favorecen la infiltración del agua y reducen la tendencia a las inundaciones, además de ser adecuada para las actividades agrícolas y ganaderas. Sin embargo, la susceptibilidad natural del suelo a la erosión lineal, agravada por el pisoteo y la impermeabilización resultantes del uso de pastos y de la construcción urbana, favorece la formación de cárcavas y barrancos. Este proceso ha sido identificado en el nacimiento del río principal y advertido por diversos autores, destacando la importancia de estudios como éste para el seguimiento y la prevención de la degradación ambiental.

Palabras clave: cuenca hidrográfica; noroeste paranaense; teledetección; SIG; clasificación semiautomática.

ABSTRACT

Remote sensing, in conjunction with Geographic Information Systems (GIS), makes it possible to generate and process large volumes of spatial data. Advances in computerization, automation and programming have improved the accuracy of geospatial studies. In this context, this work analyses the Ribeirão Tamanduateí basin (BRT), located in the Ivaí hydrographic basin in the northwest of the state of Paraná, with the aim of characterizing its morphometric aspects and evaluating rainfall and land use and cover variables. The analysis considered the river hierarchy, morphometric characteristics, rainfall and land use, using the Google Earth Engine (GEE) platform in JavaScript language. Databases were consulted from the United States Geological Survey (USGS), Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS), MapBiomas and the European Space Agency (ESA), as well as satellite images from Planet®. This data was used to improve the classification of land use and land cover using a semi-automatic process with the Random Forest algorithm. Classification accuracy was assessed using the Kappa Index, and validation included drone image surveys, which were then processed in WebODM®. The data was exported in raster and vector formats to produce thematic maps in QGIS® software. The results indicated that the Ribeirão Tamanduateí basin has moderate drainage, with morphometry that favors infiltration and reduces the propensity to flooding, as long as excessive precipitation does not occur. The low average slope and small altimetric range contribute to slower runoff. The analysis of land use and cover revealed discrepancies between the bases used, with MapBiomas indicating a predominance of pastures and mosaics of use, while ESA indicated a greater presence of crops and continuous tree vegetation along the watercourses. The semi-automatic classification in GEE, using Planet® images, highlighted the importance of high resolution in identifying details such as roads, vegetation fragments and exposed soil. The Kappa Index was 0.65 for the 2021 classification and 0.72 for 2024, indicating very good agreement between samples and classification, which was also reflected in the comparison with field observations made in February 2025, despite the presence of errors, especially in the crop class. The variability of the data highlighted the need to integrate different sources for a more accurate analysis of the landscape and transformations in land use and cover. The conclusion is that the Ribeirão Tamanduateí basin has satisfactory morphometric, rainfall and drainage conditions, favoring water infiltration and reducing the tendency to flood, as well as being suitable for farming and agricultural activities. However, the natural susceptibility of the soils to linear erosion, aggravated by trampling and sealing resulting from the use of pasture and urban construction, favors the formation of gullies and gullies. This process has been identified at the source of the main river and warned against by various authors, highlighting the importance of studies such as this one for monitoring and preventing environmental degradation.

Key words: watershed; northwestern Paraná; remote sensing; GIS; semi-automatic classification.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Mapa de localização da bacia do Ribeirão Tamanduateí.....	16
Figura 2 – Mapa dos tipos de solos da bacia do Ribeirão Tamanduateí.....	17
Figura 3 – Conexão do Qgis® com o banco de dados.....	23
Figura 4 – Interação de energia-superfície terrestre-satélites.....	24
Figura 5 – Método para elaboração da classificação de uso e cobertura da terra.....	27
Figura 6 – Variáveis morfométricas obtidas da altimetria	28
Figura 7 – Formas do relevo.....	30
Figura 8 –Visão geral da API do Google Earth Engine	31
Figura 9 – Resumo dos resultados dos índices morfométricos calculados no GEE.....	39
Figura 10 – Mapa de localização dos pontos de captura de imagens de drone.....	42
Figura 11 – Zonas GEO para a bacia do Ribeirão Tamanduateí.....	43
Figura 12 – Mapa de hierarquia fluvial da bacia do Tamanduateí.....	45
Figura 13 – Mapa de hipsometria da bacia do Tamanduateí.....	48
Figura 14 – Mapa de declividade da bacia do Tamanduateí.....	49
Figura 15 – Mapa das formas do relevo da bacia do Tamanduateí.....	51
Figura 16 – Mapa de orientação das vertentes da bacia do Ribeirão Tamanduateí.....	53
Figura 17 – Mapa de pluviosidade acumulada.....	56
Figura 18 – Mapa de uso e cobertura da terra da bacia do Ribeirão Tamanduateí (MapBiomass).....	57
Figura 19 – Mapa de uso e cobertura da terra da bacia do Tamanduateí (ESA).....	60
Figura 20 – Mapa de uso e cobertura da terra da bacia do Tamanduateí 2021 (Planet®).....	62
Figura 21 – Mapa de uso e cobertura da terra da bacia do Tamanduateí 2024 (Planet®).....	64
Figura 22 – Mapa da nascente e voçoroca em Loanda	65
Figura 23 – Mapa da nascente em Santa Isabel do Ivaí.....	67
Figura 24 – Mapa da ponte sobre o Ribeirão Tamanduateí.....	68

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Percentual de área por declividade.....	50
Gráfico 2 – Percentual de área por forma do relevo.....	52
Gráfico 3 – Percentual de área por orientação das vertentes.....	54
Gráfico 4 – Precipitação anual acumulada por ano de 1995 até 2024 na BRT.....	57
Gráfico 5 – Percentual de área por uso da terra em 2021 (MapBiomas).....	60
Gráfico 6 – Percentual de área por uso da terra 2021 (ESA).....	62
Gráfico 7 – Percentual de área por uso da terra 2021 (Planet®).....	64
Gráfico 8 – Percentual de área por uso da terra 2024.....	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Índices morfométricos utilizados.....	36
Tabela 2 – Referência dos valores de cada índice morfométrico.....	39
Tabela 3 – Tipo de relevo em função da declividade.....	40
Tabela 4 – Interpretação dos valores Kappa.....	42
Tabela 5 – Número de canais por ordem hierárquica.....	46
Tabela 6 – Resultados do cálculo de índices lineares.....	46
Tabela 7 – Resultados do cálculo de índices areais.....	47
Tabela 8 – Resultados do cálculo de índices hipsométricos.....	48
Tabela 9 – Classes de uso cobertura da terra (MapBiomas 2021) ordenado de forma decrescente.....	60
Tabela 10 – Comparação entre os dados do MapBiomas e da ESA.....	62
Tabela 11 – Classes de uso cobertura da terra (Planet® 2021) ordenado de forma decrescente por km ²	64

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico.

API – Interfaz de Programación de Aplicaciones.

BHO – Base Hidrográfica Ottocodificada.

BRT – Bacia do Ribeirão Tamanduateí.

CBH – Comitê de Bacias Hidrográficas.

CHC – *Climate Hazards Center*.

CHIRPS – *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data*.

CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos.

CSV – Valores Separados por Vírgulas.

ECMWF – European Center for Medium-Range Weather Forecast.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.

EMPARN – Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte.

ENOS – El Niño-Oscilación del Sur.

ERTS-1 – *Earth Resources Technology Satellite*.

ESA – *European Space Agency*.

GEE – Google Earth Engine.

GPM – *Global Precipitation Measurement Mission*.

IAT – Instituto Água e Terra.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

IDE – Ambiente de desenvolvimento interativo.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

MDE – Modelo Digital de Elevación.

MDS – Modelo Digital de Superfície.

MDT – Modelo Digital de Terreno.

MS – Mato Grosso do Sul.

NDVI – Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada.

PR – Paraná.

RGB – Red, Green, Blue.

RN – Rio Grande do Norte.

ROI – *Region Of Interest*.

RPA's – Aeronaves remotamente pilotadas.

SAC-C – Satélite de Aplicaciones Científicas - C.

SAVI – *Soil Adjusted Vegetation Index*.

SIG – Sistema de Informações Geográficas.

SGBD – Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados.

SNIRH – Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos.

SP – São Paulo.

SR – Sensoriamento Remoto.

SRTM – Shuttle Radar Topographic Mission.

TRMM – *Tropical Rainfall Measuring Mission*.

TSM – Temperatura da Superfície do Mar.

USGS – *United States Geological Survey*.

WWF – *World Wildlife Fund*.

SUMARIO

1 - INTRODUÇÃO	14
1.1 - ÁREA DE ESTUDO	15
2 - OBJETIVOS	19
2.1 - OBJETIVO GERAL	19
2.2 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
3.1 - A BACIA HIDROGRÁFICA NOS ESTUDOS GEOMORFOLÓGICOS.....	19
3.2 - BANCO DE DADOS.....	22
3.3 - SENSORIAMENTO REMOTO	24
3.4 - DADOS TOPOGRÁFICOS.....	28
3.5 - A FERRAMENTA GOOGLE EARTH ENGINE	32
4 - METODOLOGIA.....	35
4.1 - MATERIAIS	35
4.2 - PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	35
4.2.1 - Dados morfométricos e hipsométricos.....	36
4.2.2 - Pluviometria.....	41
4.2.3 - Uso e ocupação da terra	42
4.2.4 - Trabalho de campo	43
4.2.5 - Elaboração de mapas	45
5 - RESULTADOS	46
5.1 - HIERARQUIA FLUVIAL	46
5.2 - ANÁLISES LINEAR.....	47
5.3 - ANÁLISE AREAL	48
5.4 - ANÁLISE HIPSOMÉTRICA	49
5.5 - ANÁLISE DE PLUVIOSIDADE	56
5.6 - ANÁLISE DO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA	58
5.6.1 - Uso e cobertura da terra via MapBiomias, ESA e Planet® (2021).....	58
5.6.2 - Validação de dados com imagens de drone e observação em campo	66
6 - DISCUSSÃO	72
7 - CONSIDERAÇÕES FINAIS	75
8 - BIBLIOGRAFIA.....	77
9 - ANEXOS	84

1 - INTRODUÇÃO

A história do Sensoriamento Remoto (SR) pode ser separada em duas etapas: uma que compreende o período de 1860 a 1960 e outra, que começa em 1960 e continua até a atualidade (FLORENZANO, 2007). Na primeira etapa, de uso exclusivo militar, surgem as primeiras fotografias aéreas, desde balões e aviões.

Já durante a segunda metade do século XX, conhecida como a época da corrida espacial, são lançados os primeiros satélites e, a partir disso, começa a se desenvolver com maior profundidade o SR nos países do hemisfério norte. O primeiro satélite especificamente criado para a detecção de imagens terrestres foi o ERTS-1, lançado pelos Estados Unidos em 1972, que posteriormente passou a denominar-se como Landsat-1. Com o passar do tempo, esses sistemas técnicos foram se desenvolvendo em diferentes graus em vários países, incluindo os sul-americanos, como por exemplo os satélites SAC-C na Argentina e Amazônia no Brasil.

Segundo Figueiredo (2005), existem quatro elementos principais que influenciaram o desenvolvimento do SR satelital: os Sensores, o Sistema de telemetria, os Sistemas de processamento e os Lançadores. Figueiredo (2005) e Florenzano (2007), reforçam que o SR tem evoluído graças a um esforço multidisciplinar.

Atualmente, o uso de produtos do Sensoriamento Remoto é uma forte ferramenta para a apreensão do espaço, que em conjunto com os Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e outras tecnologias, geram grandes volumes de informações transversais a uma multiplicidade de áreas. O processamento destas informações é cada vez mais rápido, informatizado e automatizado. Hoje muitos estudos podem ser feitos com o auxílio da programação nas diferentes linguagens, escolhendo entre elas o objetivo ao que se quer chegar.

Apesar dos avanços proporcionados pelo Sensoriamento Remoto e pelos SIGs, ainda existem desafios técnicos, como a necessidade de habilidades na manipulação das ferramentas, experiência prévia e questões relacionadas ao hardware, como a insuficiência da capacidade dos desktops. Uma solução para esse problema foi o surgimento de plataformas online para desenvolvimento de soluções a partir de códigos de programação.

Uma destas e mais atuais, é a plataforma online *Google Earth Engine* (GEE). Embora simplifique e possibilite o processamento de grandes quantidades de dados (*big data*) que seriam praticamente impossíveis de utilizar, como mencionado por Solórzano e Perilla (2022), ainda exige alguns conhecimentos em programação e não é totalmente intuitivo para o usuário final.

Para enfrentar o desafio de facilitar e democratizar o acesso às informações e produtos derivados do GEE, foram desenvolvidos aplicativos baseados nessa plataforma, como o MAPBIOMAS¹ ou o NKU-MAN², proposto por Şener e Arslanoğlu (2023).

Embora existam diversas referências bibliográficas disponíveis sobre o uso do Google Earth Engine (GEE), especialmente em exemplos práticos, a maioria delas está disponível apenas em inglês. No entanto, reconhecemos a importância de produzir conhecimento a partir dessas ferramentas em diferentes contextos geográficos, como na América Latina, e em nossas línguas maternas, espanhol e português. Sendo assim, com este trabalho procurou-se aportar às produções técnicas do hemisfério sul.

Foi desenvolvido trabalho de pesquisa, de campo e gabinete a fim de abranger as áreas anteriormente mencionadas, bem como parte das ferramentas computacionais, mais atuais que permitem rapidez e precisão na análise do território em escalas pequenas a médias.

A área de estudo compreende a sub-bacia do Ribeirão Tamanduateí, que está situada na bacia do rio Ivaí, localizada no noroeste do estado do Paraná, atravessando os municípios de Loanda, Santa Cruz do Monte Castelo e Santa Isabel do Ivaí. Essa região integra a área de atuação da Itaipu Binacional, empresa que mantém diversos programas voltados à gestão de bacias hidrográficas, com iniciativas como a recuperação de solos e nascentes, entre outras ações ambientais.

Nos últimos anos, a empresa tem monitorado e implementado medidas para controlar uma ampla voçoroca, que se estende desde a nascente do córrego Tamanduateí até o limite da área urbana de Loanda. Santos et al. (2006) já haviam identificado na região uma vulnerabilidade moderada a processos erosivos laminares e lineares. Nesse contexto, é essencial realizar, por exemplo, levantamento de dados morfométricos, pluviométricos e de uso da terra, a fim de detalhar características físicas da área, e utilizá-las para conhecimento técnico e tomada de decisões estratégicas visando a gestão ambiental.

1.1 - ÁREA DE ESTUDO

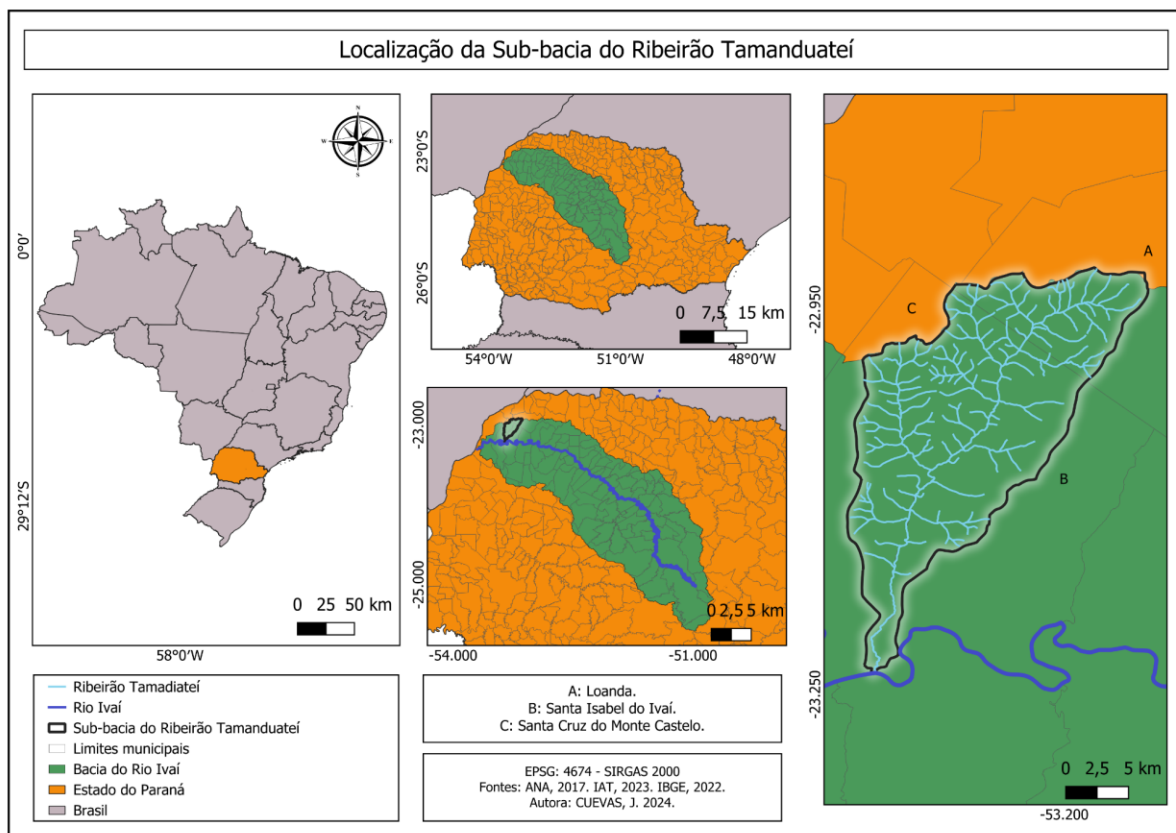
A área de estudo compreende a bacia do Ribeirão Tamanduateí (BRT), a qual se encontra dentro da grande Bacia do Ivaí, ao noroeste do estado do Paraná (Figura 1). Tendo como referência o estudo de Santos et al. (2006), a bacia situa-se na Unidade Morfoestrutural da Bacia Sedimentar do Paraná, dentro da Unidade Morfoescultural do Terceiro Planalto

¹ <https://brasil.mapbiomas.org/codigos-e-ferramentas/>

² <https://mynet34.users.earthengine.app/view/nku-man>

Paranaense. A unidade geomorfológica da área é o Planalto de Paranavaí, pertencente à Formação Caiuá. A partir do estudo da Vulnerabilidade Geoambiental do Paraná (SANTOS et al., 2007), foi identificada na região uma vulnerabilidade moderada a processos erosivos laminares e lineares.

Figura 1 – Mapa de localização da bacia do Ribeirão Tamanduateí.



Fonte: Autora, 2025.

A região da BRT possui um clima classificado como Cfa/Cwa, caracterizado como subtropical úmido com verões também úmidos devido à presença de massas tropicais instáveis. No sistema de classificação climática de Köppen-Geiger, a letra "w" indica a presença de invernos secos, enquanto "f" representa precipitação distribuída ao longo de todas as estações do ano. A terceira letra, "a", especifica que a média das temperaturas do mês mais quente excede 22 °C (ITCG, 2008).

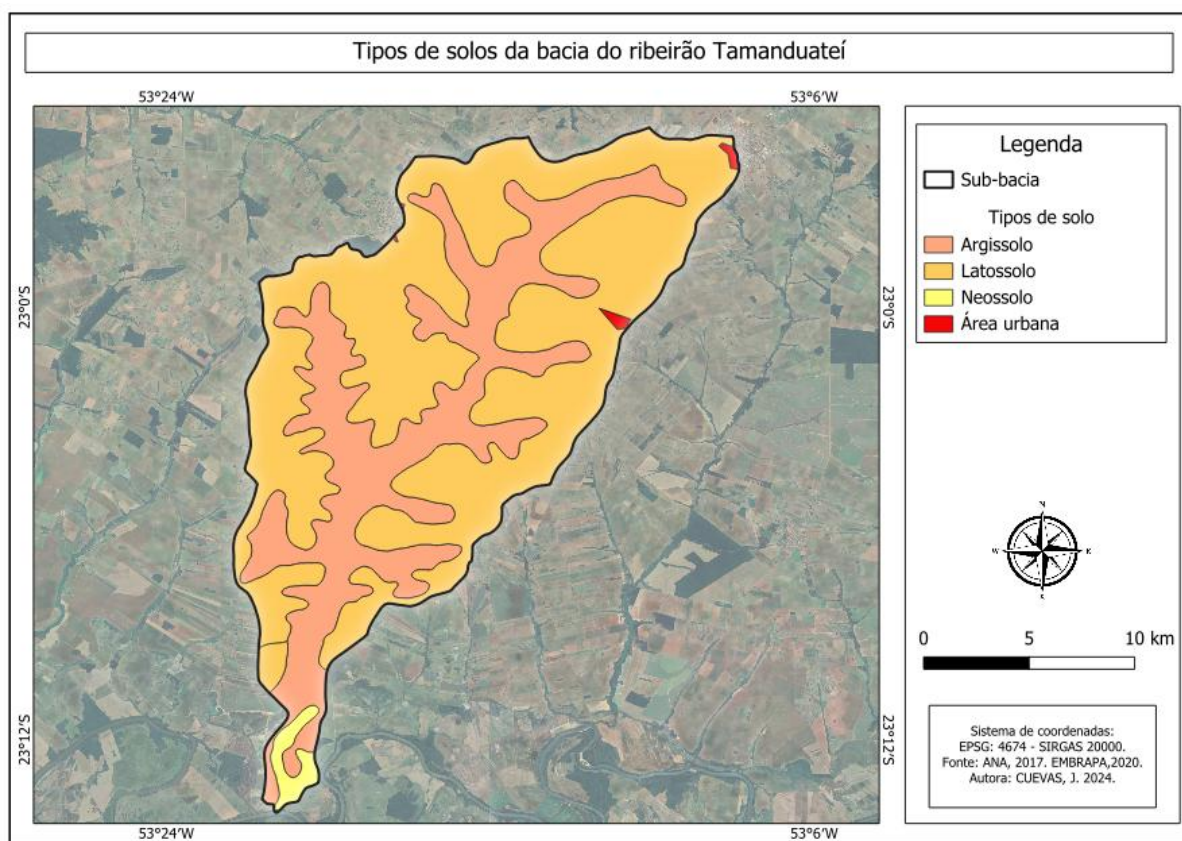
O Terceiro Planalto Paranaense, região marcada por extensos derrames de lava basáltica durante o período Cretáceo, apresenta rochas vulcânicas recobertas por formações sedimentares, originando a Formação Serra Geral, pertencente ao Grupo São Bento. No noroeste, predominam os arenitos do Grupo Caiuá e do Grupo Bauru (STIPP, 2006). O Ribeirão Tamanduateí está inserido no Grupo Caiuá, cuja origem está relacionada à sedimentação eólica. O relevo característico dessa formação é descrito por "amplas colinas, de

topos arredondados e encostas de baixa declividade, com perfil convexo" (STIPP, 2006, p. 76). Esse grupo é composto pelas Formações Rio Paraná, Goio-Erê e Santo Anastácio.

A área de estudo está localizada na Formação Rio Paraná, que se estende do noroeste do Paraná ao oeste de São Paulo, em continuidade com a Formação Serra Geral. Segundo Fernandes (2002, apud STIPP, 2006), a base dessa formação é constituída por arenito lamoso maciço, contendo fragmentos de basalto, nódulos de esmectita e carbonato. Estudos indicam que essa região pode ter sido o antigo Deserto Caiuá (STIPP, 2006).

Os solos da área de estudo são predominantemente Latossolos Vermelhos e Argissolos Vermelhos, conforme ilustrado na Figura 2. Os Latossolos são profundamente intemperizados, homogêneos, bem drenados e apresentam mineralogia argilosa predominantemente caulinítica-oxídica, com quase ausência de minerais primários facilmente intemperizáveis (IBGE, 2015). Embora sejam de baixa fertilidade natural, sua textura média facilita o manejo agrícola após correções químicas. Por outro lado, os Argissolos são caracterizados pelo aumento de argila do horizonte superficial A para o horizonte subsuperficial B, com colorações que variam de acinzentadas a avermelhadas. Esses solos são geralmente arenosos ou de textura média.

Figura 2 – Mapa dos tipos de solos da bacia do Ribeirão Tamanduateí.



Fonte: Autora, 2025.

O estudo de Santos et al. (2007) sobre a vulnerabilidade geoambiental do Paraná utilizou variáveis como tipo de solo, textura e declividade para classificar a fragilidade das áreas quanto a processos erosivos. O Planalto de Paranavaí, onde se localiza a Bacia do Ribeirão Tamanduateí (BRT), foi classificado como moderadamente vulnerável a processos de erosão laminar e linear, principalmente devido à presença de Latossolos de textura média e Argissolos de textura média a arenosa. Os autores ressaltam a necessidade de práticas conservacionistas para mitigar esses processos.

Como descrito anteriormente, o Ribeirão Tamanduateí, afluente do Rio Ivaí, localiza-se no interflúvio entre os rios Ivaí e Paranapanema. Nessa região, predominam os chamados vales em berço³ que representa formas côncavo-convergentes. Essas feições geomorfológicas concentram os fluxos hídricos, tornando-se áreas suscetíveis à formação de voçorocas de grandes dimensões, especialmente nas cabeceiras (NÓBREGA et al., 2023). As voçorocas nesses vales conectam-se diretamente à rede de drenagem, destacando-se por sua profundidade e expansão contínua.

A localização das cidades nos divisores de água, próximas às nascentes dos rios, intensifica o problema de voçorocamento, agravado pelo escoamento urbano não controlado. Segundo Nóbrega et al. (2023), a falta de infraestrutura adequada nas zonas urbanas contribui para o surgimento e a expansão dessas feições erosivas. Entre as medidas adotadas para conter a erosão no noroeste do Paraná estão o reflorestamento de matas ciliares, a reinserção de vegetação nativa nas bordas das voçorocas, a construção de terraços seguindo as curvas de nível e a implantação de sistemas de barragens.

A vegetação original desta região correspondia à Floresta Estacional Semidecidual Submontana (RODERJAN et al., 2002). Conforme Nóbrega et al. (2023), essa cobertura vegetal foi substituída desde o período de colonização para dar lugar ao cultivo de café, sendo posteriormente substituída para pastagens, uso que se mantém predominante até os dias atuais.

2 - OBJETIVOS

2.1 - OBJETIVO GERAL

Utilizar técnicas de Sensoriamento Remoto, via código de programação, para identificar as características morfológicas da bacia hidrográfica do Ribeirão Tamanduateí, bem como as variáveis de pluviosidade e uso do solo.

³Os autores os denominam "vales em forma de berço" devido à sua configuração côncava, que lembra o formato de um berço.

2.2 - OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar um levantamento bibliográfico sobre as variáveis morfométricas escolhidas.
- Automatizar o cálculo dos índices morfométricos para caracterizar a bacia.
- Desenvolver um código em *JavaScript*, com auxílio de banco de dados, para identificar os usos e cobertura da terra, declividade e pluviosidade em um recorte temporal específico.
- Realizar um levantamento de imagens com drone para validar em campo as informações obtidas via imagem satelital.

3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 - A BACIA HIDROGRÁFICA NOS ESTUDOS GEOMORFOLÓGICOS

A bacia de drenagem, é definida por Christofolletti como a “área drenada por um determinado rio ou por um sistema fluvial” (CHRISTOFOLETTI, 1974, p. 81) e a quantidade de água que chega aos cursos de água vai depender do tamanho da área da bacia, da precipitação total e seu regime, além das perdas causadas pela evapotranspiração e infiltração.

Guerra (1980, apud TORRES, 2012, p. 40) indica que os elementos básicos de uma bacia hidrográfica são as nascentes, divisores d'água, cursos fluviais principais, afluentes, subafluentes e a foz. Podemos dividir as bacias em sub-bacias e microbacias, sendo que as primeiras abrangem um tributário do rio principal, e, as segundas, compreendem a área de drenagem de um curso tributário da sub-bacias (tributário do curso tributário do rio principal) (TORRES, 2012, p. 42).

A bacia hidrográfica é a unidade de gestão territorial dos recursos hídricos mais utilizada nos diferentes países do mundo, incluídos os da América do Sul, como Argentina, Brasil e Paraguai. Ela é delimitada pelas diferentes formas do relevo (divisores de águas), os quais vão além dos limites político-administrativos. (IBGE, 2021; TORRES, 2012). Mesmo isso se apresentando como um grande desafio, também pode ser interpretado como a possibilidade de uma maior integração entre os diferentes níveis administrativos internos dos países e até entre os países da região.

Visando estruturar e sistematizar a produção de informações e estatísticas sobre as bacias e regiões hidrográficas, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), em parceria com a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), desenvolveu uma

base de dados geográficos denominada “Bacias e divisões hidrográficas do Brasil” (IBGE, 2021).

A Base Hidrográfica Ottocodificada (BHO) na escala 1:250 000 organiza a rede em segmentos que ligam pontos de confluência dos cursos d'água, formando uma “representação unifilar”. Cada um desses segmentos corresponde a uma área de drenagem específica, chamada ottobacia, seguindo a codificação hierárquica de bacias de Otto Pfafstetter (ANA, 2017). A estrutura da BHO assegura a consistência topológica, ou seja, permite uma representação precisa do fluxo hidrológico por meio de segmentos conectados, respeitando o sentido do fluxo. Esse sistema tem como base a versão multiescalas de 2017, na qual as bacias são agrupadas de acordo com a quantidade de dígitos da codificação, o que reflete o nível hierárquico de cada bacia.

Para melhor compreensão da bacia hidrográfica como unidade de estudo, utilizou-se como premissa teórica e prática a definição fornecida por Florenzano (2011), que compreende a geomorfologia como grande área geográfica, tendo como objetos de estudo quatro aspectos fundamentais: morfologia, morfogênese, morfodinâmica e morfocronologia. No presente estudo, serão aprofundados os dois primeiros.

A morfologia pode ser subdividida em morfografia e morfometria. A morfografia refere-se ao estudo qualitativo das formas do relevo, que podem ser classificadas em diferentes categorias: **planas**, englobando planícies, terraços, tabuleiros e chapadas; **suavemente onduladas**, incluindo colinas; **onduladas**, como morros e morrotes; **fortemente onduladas**, como morros e serras; **montanhosas**, abrangendo serras e montanhas; e **escarpadas**, como serras e escarpas (FLORENZANO, 2011).

Já a morfometria trata da descrição quantitativa do relevo por meio do cálculo de diversos índices morfométricos, que podem ser aplicados em diferentes unidades espaciais, como as bacias hidrográficas (FLORENZANO, 2011). Segundo Christofolletti (1979), as bacias hidrográficas são estudadas desde uma perspectiva mais objetiva e estruturada a partir dos aportes de Robert E. Horton em 1945. O autor também destaca a importância de Artur N. Strahler (1957), no que se refere à implementação, aprofundamento e difusão das metodologias propostas por Horton.

Entre as décadas de 1930 e 1970, diversos geógrafos, geomorfólogos e geocientistas dedicaram-se ao estudo das formas do relevo e ao desenvolvimento de índices morfométricos por meio de modelos matemáticos. Dentre os autores mais relevantes nessa área, destacam-se Horton (1932, 1945), Müller (1953), Schumm (1956, 1963), Strahler (1957), Melton (1957), Villela e Matos (1975) e Christofolletti (1969, 1979).

Na literatura, é possível identificar diferentes abordagens para a classificação e categorização dos índices morfométricos. Christoforetti (1979) os dividiu em quatro categorias de análise: hierarquia fluvial, linear, areal, e hipsométrica. Sousa (2021), também optou por essa forma de organização dos índices morfométricos.

Dentro da análise linear, se encontram o padrão de drenagem da bacia, o comprimento total dos rios (km), o comprimento do rio principal (km), a densidade de drenagem (km/km²), e o índice de sinuosidade (%). A análise areal compreende a área (km²) e perímetro total (km), o Coeficiente de Compacidade (Kc), o Fator de Forma (F), e o Índice de Circularidade (Ic). Por último, a análise hipsométrica, aborda a altitude (m) e amplitude altimétrica (m), a declividade (%), o Índice de rugosidade (Ir) e a Relação de relevo (Rr).

A criação pretérita destes índices (mais de um século), só confirma a necessidade e atualidade, além da extrema relevância, para os estudos morfométricos, de tomada de decisão com sua implementação através de técnicas automatizadas e com técnicas de geoprocessamento mais recente.

Existem inúmeros exemplos de estudos que tem como principal objetivo o cálculo destes índices para a caracterização de micro-bacias, sub-bacias e bacias hidrográficas, alguns deles são os de Mioto et al. (2014) na microbacia do Córrego Guassú (MS); Silva et al. (2017) na bacia do Rio Cobra (RN); Campos et al. (2015) na microbacia do Ribeirão Descalvado (SP); França e Pinto (2021) na microbacia do riacho Flamengo em Garanhuns (PE); e Pessoa Neto et al. (2023) na Bacia do Rio Duas Unas (PE).

A morfogênese estuda a formação e as transformações das formas do relevo, originadas por processos endógenos e exógenos. As formas estruturais do relevo resultam de processos internos à Terra (endógenos), enquanto o intemperismo, a erosão e a acumulação de materiais fazem parte dos processos externos (exógenos) (FLORENZANO, 2011).

O intemperismo ocorre quando as rochas sofrem alterações físicas, químicas ou biológicas, modificando sua estrutura. Já a erosão consiste na remoção e transporte do material intemperizado, podendo ser de origem pluvial, fluvial ou por movimentos de massa (FLORENZANO, 2011).

De acordo com Florenzano (2011), a erosão pluvial apresenta três estágios principais: salpicamento, formação de poças e escoamento superficial (runoff), o qual inicia a erosão laminar. À medida que o fluxo de água passa de difuso a linear, formam-se microrravinas, que posteriormente evoluem para microrravinas com cabeceiras, ravinas e, finalmente, voçorocas. A distinção entre ravinas e voçorocas está na profundidade: ravinas têm até 50 cm de largura e profundidade, enquanto as voçorocas ultrapassam essas dimensões (FLORENZANO, 2011).

A pluviosidade é uma variável relevante nos estudos geomorfológicos que tem a bacia hidrográfica como unidade de análise, já que é a principal forma em que ingressa água no sistema hidrológico e, como foi evidenciado, um agente importante nos processos de intemperismo e erosão. Na maior parte da bibliografia consultada, os dados de pluviosidade têm sido coletados a partir de estações meteorológicas, que podem ser consultadas na plataforma do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). No entanto, existem produtos do SR que podem auxiliar na hora de coletar e especializar a pluviosidade, como a *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM), com resolução espacial de 27 km, a *Global Precipitation Measurement Mission* (GPM), com 11 km de resolução e o *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data* (CHIRPS) com 5 km de resolução espacial. Segundo o Climate Hazards Center (CHC) (2025) o dataset do CHIRPS agrupa tanto dados de estações meteorológicas quanto informações satelitais com cobertura praticamente global (50S-50N) desde 1981.

3.2 - BANCO DE DADOS

Dentro das geotecnologias pode-se destacar o uso dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG). Fitz (2008) define um SIG como:

“... um sistema construído por um conjunto de programas computacionais, o qual integra dados, equipamentos e pessoas com o objetivo de coletar, armazenar, recuperar, manipular, visualizar e analisar dados espacialmente referenciados a um sistema de coordenadas conhecido” (FITZ, 2008, p.23).

Ao trabalhar em pesquisas que coletam e geram grandes volumes de dados, se faz necessária uma organização minuciosa dos mesmos, para não perder informações importantes e para economizar tempo na hora de realizar as análises. Nesse intuito, são criados os bancos de dados e outras ferramentas para gerenciar os mesmos. Fitz (2008) afirma que ao trabalhar com SIGs é iminente a existência de um Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados (SGBD), e o compara com o cérebro humano, sendo o responsável por realizar as conexões do sistema. O SGBD possibilita a relação entre os dados alfanuméricos com dados espaciais, ou seja, aqueles com interface gráfica georreferenciada. Esta conexão entre os dados é realizada através de códigos identificadores, mais conhecidos como ‘id’.

Os dados alfanuméricos consistem em letras e números enquanto os dados espaciais podem se dividir em vetoriais e matriciais (ou rasters), sendo esta última forma de armazenamento a utilizada quando tratamos com dados do Sensoriamento Remoto. É

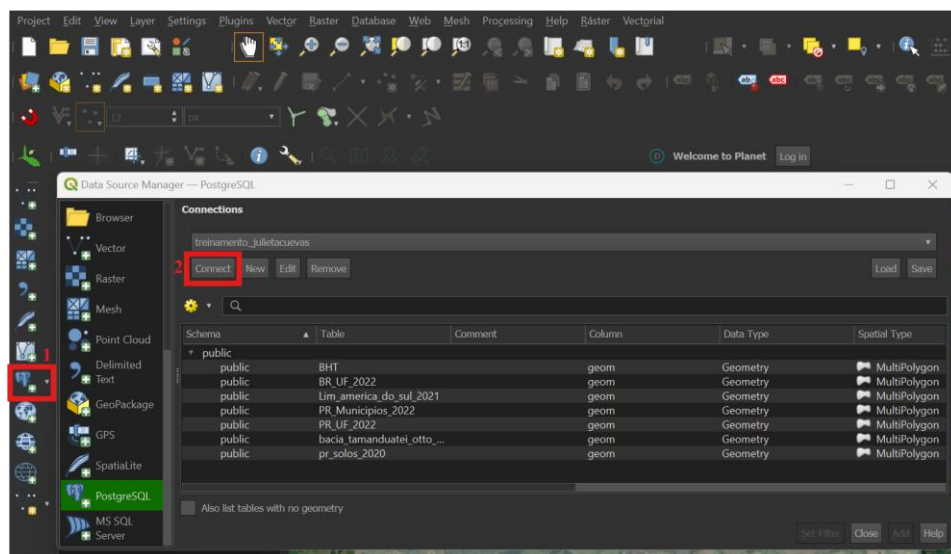
importante ressaltar que tanto as fotografias aéreas capturadas por aviões ou aeronaves remotamente pilotadas (RPA's)⁴, quanto as imagens obtidas por satélites são consideradas produtos de Sensoriamento Remoto, conforme a definição a ser apresentada na seção 3.3. As principais diferenças entre estes produtos estão na resolução espectral e na resolução espacial (FITZ, 2008).

Para o gerenciamento do banco de dados elaborado nesta pesquisa, utilizou-se o software pgAdmin®, amplamente empregado na administração de bases de dados PostgreSQL. Desenvolvido como uma aplicação web, o pgAdmin adota a estrutura cliente-servidor, similar ao Google Earth Engine, o que possibilita sua execução tanto como aplicativo web quanto de forma local no ambiente desktop. Essa abordagem proporciona uma interface gráfica intuitiva e eficiente, facilitando a interação do usuário com o sistema (PGADMIN, 2024).

O PostgreSQL, por sua vez, é um sistema de gerenciamento de banco de dados relacional de código aberto que adota a linguagem SQL. Esse sistema oferece uma variedade de extensões, entre as quais o PostGIS é a mais aplicada na área de geoprocessamento (POSTGRESQL, 2019). Esta extensão transforma o PostgreSQL em um banco de dados com suporte de informações espaciais, sendo as funcionalidades principais: a definição de tipos espaciais; a capacidade de criar índices para dados georreferenciados; executar diversas funções e operações relacionadas a informações espaciais (POSTGIS, s/d).

O pgAdmin é conectado diretamente no Sistema de Informações Geográficas Qgis®, possibilitando o acesso rápido e organizado ao banco de dados, conforme Figura 3.

Figura 3 – Conexão do Qgis® com o banco de dados.



Fonte: Autora, 2025.

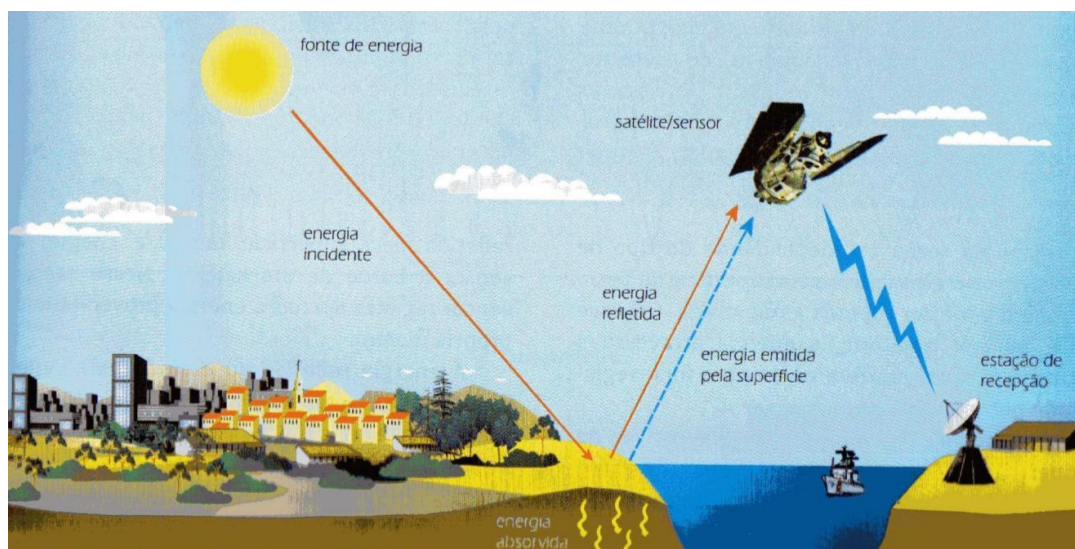
⁴ As RPA's serão chamadas de drones, para maior fluidez na leitura.

3.3 - SENSORIAMENTO REMOTO

O Sensoriamento Remoto é a “ciência que visa o desenvolvimento da obtenção de imagens da superfície terrestre por meio da detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres” (MENESES e ALMEIDA, 2012, p.3).

Como observa-se na Figura 4, a energia do Sol chega à superfície, parte desta é absorvida e outra parte da energia é refletida. A energia refletida, junto com a energia que é emitida pelos objetos na superfície da terra são captadas pelo sensor do satélite, que posteriormente enviará os dados à estação de recepção. No caso de ser um sensor de tipo radar, o mesmo satélite enviará um sinal para a superfície que voltará ao sensor com os dados coletados.

Figura 4 – Interação de energia-superfície terrestre-satélites.



Fonte: Florenzano, 2007.

A radiação eletromagnética é o meio pelo qual a informação é transmitida do objeto ao sensor, propagando-se à velocidade da luz por meio de ondas eletromagnéticas (FLORENZANO, 2007). Conforme Liu (2006), a energia eletromagnética possui três propriedades fundamentais: o comprimento de onda (λ), que representa a distância entre picos sucessivos da onda; a frequência (ν), que corresponde ao número de ondas que passa por um ponto em um segundo e cuja unidade é o hertz (Hz); e a amplitude (A), que indica a altura do pico, sendo metade da distância entre o pico máximo e o mínimo. O espectro eletromagnético

é a representação da “distribuição da radiação eletromagnética por regiões, conforme o comprimento de onda e a frequência” (FLORENZANO, 2007, p.11).

Existem diferenças entre os sistemas de satélites ativos e passivos, Figueiredo (2005) destaca que os sistemas ativos são independentes da luz solar, utilizam radiação eletromagnética artificial gerada por radares a bordo dos satélites, permitindo realizar levantamentos durante o período noturno. As ondas eletromagnéticas emitidas em direção à superfície terrestre são refletidas de volta ao satélite, permitindo a coleta de dados.

Além disso, esse tipo de sensores é independente das condições atmosféricas, pois os radares conseguem atravessar nuvens, as quais são indetectáveis para a radiação de microondas (IBGE, 2015). Embora capturem informações físicas e químicas com menor nível de detalhe, segundo Figueiredo (2005) eles se mostram mais versáteis, já que possuem sua própria fonte de energia e não dependem de fatores externos. Em relação aos sensores de tipo radar, o Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) é o mais destacado na literatura.

A partir dos radares se obtém os Modelos Digitais de Elevação (MDEs), eles são modelos tridimensionais, que justapõem dados visuais (bidimensionais) e dados de altitude, o que permite visualizar melhor a área de estudo e eliminar erros da fotointerpretação que antigamente se tinham com estereoscópios. Pode-se utilizar em suas duas versões processadas em SIG's, um o Modelo Digital de Superfície (MDS), mostrando a elevação de todos os objetos na superfície; e o segundo, o Modelo Digital do Terreno (MDT), que tem como resultado a superfície da terra, independentemente dos elementos que estejam sobre ela (IBGE, 2015). É possível baixar gratuitamente os MDEs da página web da USGS⁵.

Em contraste, os sistemas passivos dependem exclusivamente da radiação eletromagnética natural refletida pela superfície terrestre, tendo a luz solar como sua principal fonte de energia. Para uma captação eficaz, esses sensores requerem condições de baixa nebulosidade, o que restringe seu uso em condições atmosféricas desfavoráveis. No entanto, a principal vantagem dos sensores passivos é a capacidade de captar informações com um nível mais elevado de detalhamento (FIGUEIREDO, 2005). Dentro da ampla gama de sensores ópticos, destaca-se a série Landsat, que desde a década dos anos 1960 tem enviado satélites ao espaço para observação terrestre.

No Sensoriamento Remoto, existem diferentes tipos de resolução as quais desempenham papéis fundamentais na utilidade dos dados obtidos. A resolução temporal refere-se à frequência com que o sensor revisita uma área para obter imagens periódicas,

⁵ <https://earthexplorer.usgs.gov/>

característica que depende da órbita heliossíncrona dos satélites. A resolução espacial “determina o tamanho do menor objeto que pode ser identificado em uma imagem” (MENESES e ALMEIDA, 2012, p.25). Cada pixel representa a mínima porção do terreno que pode ser identificada, se a resolução espacial é de 20 m, significa que o pixel representará uma área de 20 m x 20 m, e se existem objetos de dimensões menores, estes não serão captados na imagem.

Por sua vez, a resolução radiométrica é a capacidade de detectar variações de radiação dentro de cada pixel (MENESES e ALMEIDA, 2012). Este tipo de resolução é apresentada nos bits que são necessários para o armazenamento (FITZ, 2008), e quanto maior a resolução radiométrica, maior será a precisão na detecção de detalhes sutis nas imagens. Nesse sentido, a resolução radiométrica está diretamente relacionada com a qualidade da imagem. Por fim, a resolução espectral está diretamente relacionada com a captação do espectro eletromagnético do sensor utilizado (FITZ, 2008), já que consiste na captura de imagens nas diferentes bandas espectrais. Segundo Meneses e Almeida (2012) este tipo de resolução é determinada por três parâmetros principais: a quantidade de bandas disponíveis, a largura das ondas em cada banda e suas respectivas posições no espectro eletromagnético.

Devido às características de resolução espectral dos sensores a bordo dos satélites, é possível realizar diversas combinações de bandas, para além do RGB (*Red-Green-Blue*). Isso resulta em imagens de falsa cor que destacam determinados objetos capturados, sendo elas necessárias para análises focadas em alvos específicos.

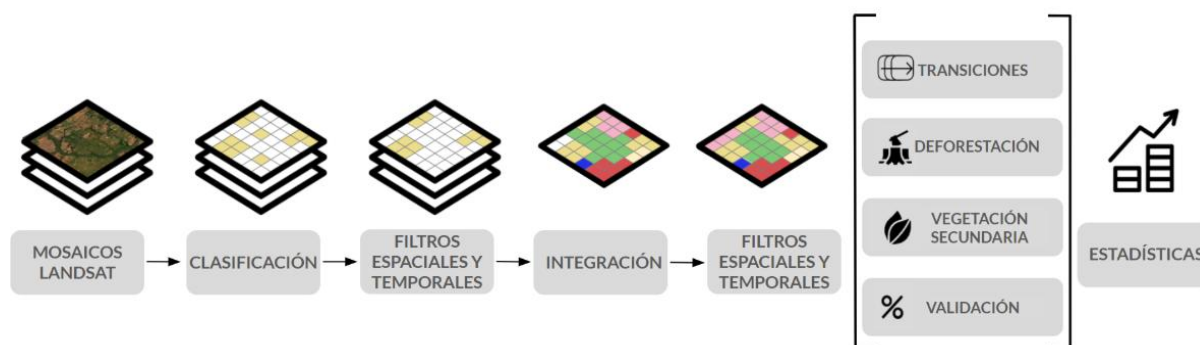
Na última década, têm sido desenvolvidos uma série de projetos para facilitar o acesso à informação e análise dos produtos obtidos por Sensoriamento Remoto. Entre eles podem-se destacar o *WorldCover* e o *MapBiomias*.

O projeto *WorldCover*, desenvolvido pela Agência Espacial Europeia (ESA), disponibiliza mapas globais de cobertura da terra com resolução de 10 metros para os anos de 2020 e 2021. Esses mapas foram elaborados a partir de dados dos satélites Sentinel-1 e Sentinel-2, possibilitando uma classificação detalhada da superfície terrestre em 11 categorias distintas. O desenvolvimento desses produtos foi realizado por consórcios formados por empresas e grupos de pesquisa (ESA, 2025). Os dados estão disponíveis gratuitamente no site oficial do projeto e também podem ser consultados por meio do Google Earth Engine.

O *MapBiomias* se estabelece como uma rede colaborativa integrada por universidades, ONGs e *startups* de tecnologia. Essa rede realiza anualmente o mapeamento da cobertura e uso da terra, e conduz o monitoramento mensal da superfície hídrica e das queimadas, utilizando

dados coletados desde 1985 dos satélites Landsat, com uma resolução espacial de 30 metros (MAPBIOMAS, 2024).

Figura 5 – Método para elaboração da classificação de uso e cobertura da terra.



Fonte: MapBiomas, 2024.

Os pesquisadores colaboram com instituições que atuam em diversos biomas, enquanto o processamento dos dados é realizado de forma automatizada, utilizando a plataforma Google Earth Engine, conforme a Figura 5 (MAPBIOMAS, 2024). Além do Brasil, o MapBiomas também se expande para outros países da América Latina, como Argentina, Colômbia e Chile, buscando uma abordagem regional para o monitoramento ambiental.

Além desses projetos, se destaca a iniciativa da Planet Labs®. A Planet Labs® é uma empresa que opera uma das maiores constelações de satélites de pequeno porte, incluindo ‘Doves’, ‘SkySats’ e ‘Pelicans’, voltadas para a observação da Terra. Seu principal objetivo é fornecer imagens de alta resolução (variando entre 3–5 m, 50 cm e menos de 30 cm) com resolução temporal diária. Esses produtos estão disponíveis para acesso via Google Earth Engine (GEE), mas, diferentemente dos projetos mencionados anteriormente, sua aquisição ocorre por meio de assinaturas comerciais (PLANET, 2025a).

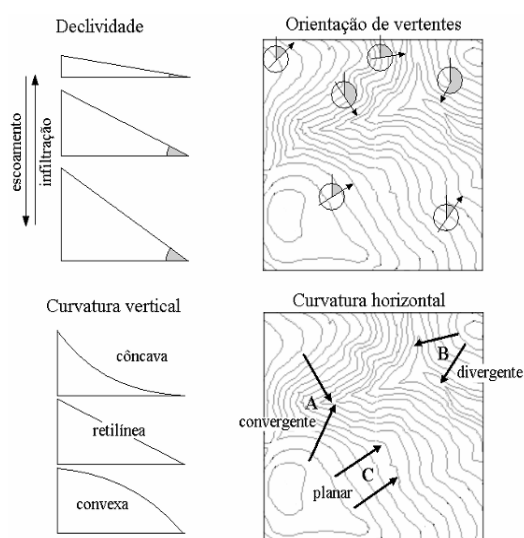
No entanto, através de uma parceria com a *Norwegian International Climate and Forest Initiative* (NICFI), a Planet® disponibilizou gratuitamente imagens de florestas tropicais, atualizadas mensal e trimestralmente desde setembro de 2020, com resolução espacial de 4,77 metros, para universidades e pesquisadores. Esse contrato, porém, foi encerrado em 24 de janeiro de 2025, e somente aqueles que realizaram o cadastro antes dessa data ainda têm acesso aos dados (PLANET, 2025b).

3.4 - DADOS TOPOGRÁFICOS

O projeto TOPODATA foi planejado e executado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) com o objetivo de determinar as variáveis geomorfométricas de todo o território nacional, disponibilizando-as de forma livre para a comunidade científica. Essas informações são fundamentais para o desenvolvimento de pesquisas relacionadas à análise do relevo, sendo seus principais produtos: a declividade, a orientação de vertentes, a curvatura horizontal, a curvatura vertical e uma metodologia para a delimitação da drenagem.

Desde o ano de 2003 os dados do *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM) foram disponibilizados para América do Sul, e desde então tem se realizado grandes esforços para o maior aproveitamento desses dados e o aprofundamento das pesquisas em topografia. A resolução espacial do SRTM é de 90 m, mas foi reprojetada por interpolação para 30 m. A partir destes dados obtemos as curvas de nível e destas os Modelos Digitais de Elevação (MDE), os quais contém valores de altimetria do relevo georreferenciados. Todos os produtos acima mencionados, e exemplificados na Figura 6, foram obtidos a partir de derivações da altimetria, sendo esta a derivada de ordem 0, a declividade e orientação de vertentes de 1ª ordem e as curvaturas vertical e horizontal de 2ª ordem (VALERIANO, 2008).

Figura 6 – Variáveis morfométricas obtidas da altimetria.



Fonte: Valeriano, 2008.

A declividade, primeira derivação da elevação, é entendida como “o ângulo de inclinação (zenital) da superfície do terreno em relação à horizontal” (VALERIANO, 2008, p.26), sendo seus valores expressados em porcentagem variando entre zero e infinito. Existem

diferentes classificações da declividade, sendo as mais conhecidas as de Marques (1971), Lepsch (1991) e EMBRAPA (1979). Esta última classificação é a mais popularizada nos trabalhos recentes, sendo o relevo dividido em cinco classes: Plano (0 a 3%), Suavemente ondulado (3 a 8%), Ondulado (8 a 20%), Fortemente ondulado (20 a 45%), Montanhoso (45 a 75%) e Fortemente montanhoso (>75%).

Segundo Leite (2023),

“ A declividade afeta a velocidade de escoamento de um rio. Vertentes com declividades altas contribuem com uma grande quantidade de detritos maiores em direção aos canais que, por sua vez, devem ter uma declividade alta para poderem efetuar o transporte, ao passo que vertentes com relevo mais suave acabam gerando detritos menores e em menor quantidade, facilitando o transporte pelos rios, que necessitam então de uma declividade menor” (LEITE et al, 2023, p. 11).

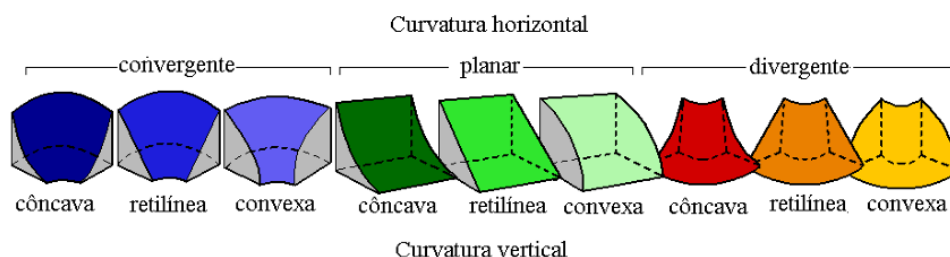
A orientação de vertentes, derivada de 1ª ordem da altitude, se define como o “ângulo azimutal correspondente à maior inclinação do terreno, no sentido descendente” (VALERIANO , 2008, p.31), e varia de 0° a 360°. Esta variável morfológica é fundamental para conhecer a estrutura do escoamento superficial, a incidência de radiação solar e a distribuição da precipitação.

Segundo o mesmo autor (op. cit.), a curvatura vertical, derivada de 2ª ordem da altitude, representa a forma da vertente vista desde o perfil e define se o terreno se apresenta como convexo, retilíneo ou côncavo. Esta variável é medida em graus por metro, sendo valores positivos vinculados a terrenos convexos, valores nulos a vertentes retilíneas e valores negativos a vertentes côncavas.

A curvatura horizontal, derivada de 2ª ordem das curvas de nível, como seu nome indica, representa a forma da vertente desde a perspectiva horizontal. Se expressa em graus por metro e pode ser classificada como convergente, planar e divergente, sendo os valores negativos, baixos ou nulos e positivos, respectivamente.

Ambas curvaturas estão diretamente ligadas a processos de dispersão e acúmulo de água e matéria orgânica no solo devido à ação gravitacional, sendo assim influenciam a distribuição hídrica, como também os processos de pedogênese e morfogênese (VALERIANO , 2008, p.36-39). A conjunção destas duas variáveis (curvatura vertical e horizontal) compõem as chamadas formas do terreno (VALERIANO , 2008, p.41) apresentadas na Figura 7.

Figura 7 – Formas do relevo.



Fonte: Valeriano, 2008.

Conforme Valeriano (2008), existem casos extremos de combinações de curvatura, sendo estes a combinação côncavo-convergente e a convexa-divergente. A primeira combinação apresenta um cenário de máxima concentração e acúmulo do escoamento (sendo este o principal motivo da sua representação com a cor azul) e a segunda combinação, um cenário oposto, de máxima dispersão e escoamento (representado com cores amarelas).

3.5 - A FERRAMENTA GOOGLE EARTH ENGINE

Esta é uma plataforma desenvolvida pela empresa Google LLC (Alphabet Inc.), para executar processamentos geoespaciais a grande escala, mas também em escala local, como o caso do presente estudo.

Há décadas que diferentes constelações de satélites coletam informações georeferenciadas e as armazenam em coleções de imagens, nesse sentido, Solórzano e Perilla (2022), chamam a atenção para o problema da *big data*. Atualmente as informações geoespaciais coletadas são praticamente impossíveis de processar completamente num computador local, sendo um grande desafio para os pesquisadores, que têm acesso a um conjunto amplo de informações, mas não a capacidade de explorar o 100% do potencial delas.

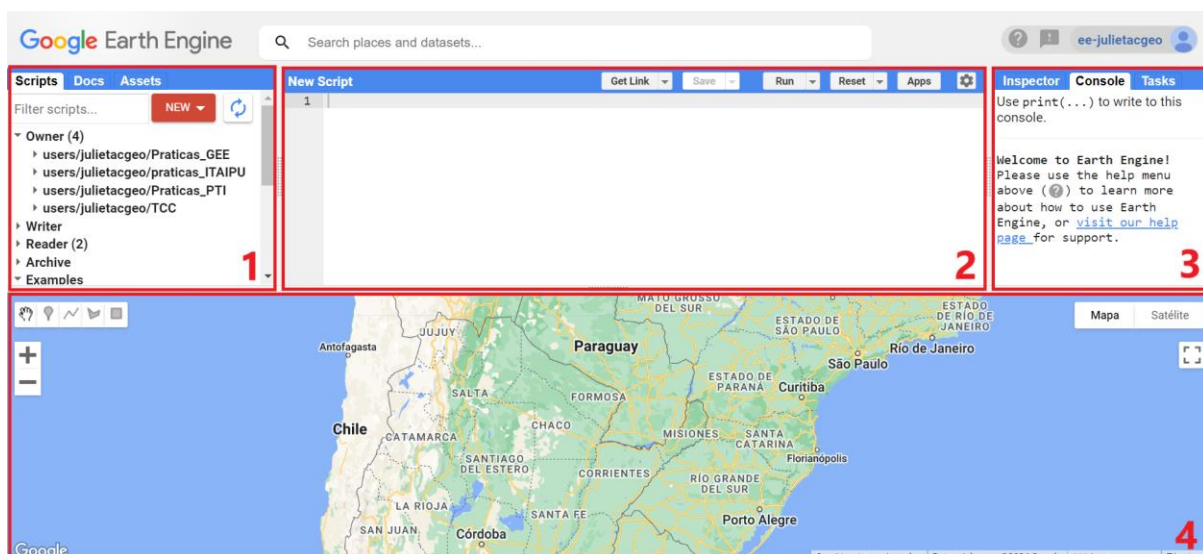
Como uma resposta a esse problema, surge o Google Earth Engine, procurando "aproveitar essa *big data* ao oferecer uma ferramenta que consiga lidar tecnologicamente com o gerenciamento de enormes volumes de informações, permitindo então que os usuários se concentrem na geração de resultados" (SOLÓRZANO e PERILLA, 2022, p. 6, *tradução da autora*). A plataforma é baseada em nuvem e oferece a capacidade de realizar análises geoespaciais em escala planetária, aproveitando os recursos dos supercomputadores da Google para processamento de imagens satelitais. Isso resulta em maior velocidade e reduz a necessidade de recursos computacionais locais. Uma das principais vantagens é a possibilidade de programação em JavaScript, uma linguagem que é acessível para aprendizado, ao mesmo

tempo, poderosa e amplamente adotada na programação. Dessa maneira, obtemos análises e resultados complexos, podendo eles serem compartilhados na forma de aplicativos web sem a necessidade de ser especialistas em programação ou desenvolvedores, como é demonstrado por Şener, M. e Arslanoğlu, M.C. (2023).

Segundo Solórzano e Perilla (2022) o GEE tem três principais elementos: as API, o catálogo de informação e a capacidade computacional. A API é a "interface que permite a comunicação entre nós (usuários) e os servidores do Google, proporcionando acesso e uso da capacidade computacional do Google" (SOLÓRZANO e PERILLA, 2022, p. 7, *tradução da autora*). O principal das APIs do GEE é criar uma interface que possibilite a criação de códigos e aplicativos de forma simples. O Google Earth Engine tem duas opções de API entre as que o usuário tem que escolher. Uma é em *JavaScript* e a outra é em linguagem *Python*, sendo a primeira a mais utilizada por seu fácil acesso via internet, estar mais atualizada, e por ter maior quantidade de material de ajuda disponível (SOLÓRZANO e PERILLA, 2022). Além disso, o GEE possibilita o tratamento de dados e a obtenção de resultados por meio de um ambiente de desenvolvimento interativo (IDE). Após a confirmação do registro, já é possível ter acesso à API.

Na Figura 8, podemos observar a visão geral da plataforma, sendo o quadro nº 1 a tela dos repositórios, o nº 2 a tela de rotinas ou de scripts, o nº 3 a tela de controle, e finalmente o nº 4 o canvas ou a tela de visualização do mapa.

Figura 8 – Visão geral da API do Google Earth Engine.



Fonte: Autora, 2025.

Os conjuntos de dados já vem pré-processados, porém, mantendo algumas informações, dessa forma, o gerenciamento de dados é facilitado. Como afirma Gorelick et al. (2017), no

GEE pode-se encontrar uma vasta coleção de dados geoespaciais para observação da Terra, como usos da terra ou relevo; dados climáticos, como precipitação e temperatura; entre outros conjuntos de dados. É possível solicitar dados que ainda não estejam na plataforma, como também inserir dados de elaboração própria. As coleções são construídas a partir de todas as imagens de um sensor, nelas podemos aplicar diferentes filtros para assim chegar nos resultados que atendam nossas demandas. Cada imagem da coleção é previamente processada, sendo cortadas em blocos mantendo a projeção, resolução e bits de origem, dessa maneira é garantido um acesso mais rápido e também mais eficiente⁶ (GORELICK et al. 2017).

Pensando nas opções de ferramentas que são oferecidas pela plataforma, os autores (op. cit), comentam sobre a possibilidade dos usuários realizarem uma série de operações que se encontram disponíveis na biblioteca do Earth Engine. As operações variam entre cálculo de índices, distâncias e inclinações, classificação de imagens, interpolações, entre outras⁷.

Um estudo atual que implementou esta ferramenta no Brasil, é o de Silva et al. (2023). O estudo teve por objetivo analisar a distribuição espacial e temporal do uso e ocupação da terra do município de Serra do Mel (RN) com foco na dinâmica da cajucultura. Para isso, utilizaram dois índices de vegetação, o NDVI e o SAVI, dessa maneira constataram a biomassa da área de estudo. Em função disso, analisaram a variável de uso e cobertura da terra através de uma classificação supervisionada baseada em pixel com o método de aprendizagem de máquina Random Forest com 50 árvores de decisão. Utilizaram quatro classes temáticas para distinguir os usos identificados na área de estudo: solo exposto, vegetação nativa, área cultivada e área urbana; para as quais foram realizadas, aproximadamente, 60 amostras de treinamento e 100 de validação do tipo ponto.

O Google Earth Pro auxiliou na verificação das amostras considerando as imagens de altíssima resolução disponibilizadas pela plataforma. Uma vez finalizada a classificação, foi aplicada “a operação morfológica Focal Mode” para assim diminuir o efeito “sal e pimenta” e para suavizar os contornos das classes. Além disso, implementou-se bandas de elevação e declividade, através dos dados do satélite Alos Palsar, para complementar as informações do uso e ocupação.

Silva et al. (2023) utilizou dados pluviométricos do município de Serra do Mel, os quais foram disponibilizados pela Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte

⁶ Para mais informações sobre os conjuntos de dados do catálogo do GEE revisar Gorelick et al. (2017, p. 20), tabela 1, onde é apresentada uma grande quantidade de conjuntos de dados.

⁷ Para mais informações veja Gorelick et al. (2017, p. 22) tabela 2, com o resumo dos tipos de operações da biblioteca do cliente.

(EMPARN). Esta variável é relevante para o estudo da cajucultura, um uso específico da terra, devido aos prejuízos que pode trazer a falta ou excesso de chuvas. No estudo de caso, esta variável não foi trabalhada a partir do GEE, porém existem códigos no repositório da plataforma que permitem trabalhar a pluviosidade a partir da quantidade de chuva ou a acumulação das mesmas, entre outras.

Oliveira et al. (2023) realizaram uma pesquisa de relevância significativa, conduzida por pesquisadores brasileiros e publicada em inglês, que apresentou abordagens similares às da presente investigação. Este estudo se destacou como uma referência importante na utilização dos dados do *Rainfall Estimates from Rain Gauge and Satellite Observations* (CHIRPS), realizando um levantamento de outras pesquisas que também empregaram esses dados, além de aplicá-los efetivamente no Google Earth Engine (GEE). Os autores (op. cit.) combinam os dados do CHIRPS com imagens do MODIS e dados do MAPBIOMAS. Após o processamento inicial das informações espaciais no GEE, Oliveira et al. (2023) utilizaram o QGIS® para complementar a análise e a visualização dos dados.

Embora o GEE ofereça diversas vantagens para a manipulação e o processamento de dados de Sensoriamento Remoto, sua utilização implica uma dependência dos serviços da Google. Atualmente, a plataforma e seus dados estão disponíveis de forma aberta e gratuita para universidades e pesquisadores, porém não há garantia de que essa política será mantida no futuro. Diante desse cenário, recomenda-se manter backups dos dados utilizados, garantindo um respaldo caso ocorra alguma interrupção nos serviços ou a plataforma passe a ser tarifada para o desenvolvimento de pesquisas universitárias.

4 - METODOLOGIA

4.1 - MATERIAIS

Para a realização desta pesquisa, foram utilizados os seguintes materiais/ferramentas:

1. Plataforma Google Earth Engine (GEE) com a API em *JavaScript*.
2. Dados do SRTM (USGS/SRTMGL1_003) com resolução espacial de 30 m.
3. Dados de precipitação do CHIRPS DAILY (UCSB-CHG/CHIRPS/DAILY) com resolução espacial de 5000 m.
4. Camada vetorial de Bacias Hidrográficas Ottocodificadas Nível 7 da Agência Nacional das Águas (ANA).
5. Camada vetorial de Rios do Instituto Água e Terra (IAT).
6. Sistema de Informação Geográfico QGIS® (versão 3.38.0).
7. Gestor de Banco de Dados PgAdmin 4®.

8. Drone da série Mavic PRO da DJI®.
9. Software Drone Deploy® e DJI PILOT®.
10. Software WebODM®.

4.2 - PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A camada vetorial da bacia hidrográfica foi baixada do Portal de Metadados do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH). Ela faz parte do banco de dados de ‘Bacias Hidrográficas Ottocodificadas (Níveis Otto 1-7)’, correspondendo ao nível 7. Após o download do arquivo (camada vetorial) ‘.gkpg’, o mesmo foi inserido nas *Assets* do GEE e utilizado para visualização e recorte de todas as imagens utilizadas.

Cabe destacar que existem inconsistências tanto entre as bases de dados internacionais quanto as nacionais. Ao comparar as bacias hidrográficas da ANA com as bacias hidrográficas apresentadas pelo World Wildlife Fund (WWF) no *Watershed Dataset*, encontram-se, além de uma diferença entre os números dos níveis das bacias, uma diferença na delimitação das mesmas bacias hidrográficas. Esta situação se repete na escala nacional, no momento de realizar o *download* dos rios da bacia foram encontradas diferenças importantes entre a base de dados da ANA e a do IAT. Além das diferenças com a base da WWF de rios. No caso da camada de rios foi escolhida a do IAT, já que, por um lado, esta foi elaborada a partir do estabelecido por cada Comitê de Bacias Hidrográficas (CBH) do Paraná (IAT, 2023), e em segundo lugar, porque avaliou-se que é a camada que guarda maior relação com a visualização dos rios nas imagens satelitais recentes.

A BRT foi analisada a partir da hierarquia fluvial e suas características lineares, areais e hipsométricas, como também a partir de duas variáveis: pluviosidade e uso da terra. A seleção das variáveis foi feita tendo como referência os estudos de Silva et al. (2023) e Oliveira et al. (2023). Para isso foi utilizada a plataforma Google Earth Engine (GEE). Essa ferramenta, que trabalha com a linguagem JavaScript, permite a partir da codificação a visualização rápida de grandes conjuntos de dados em áreas extensas, contrastando com outras ferramentas que necessitam uma série de etapas e colocam uma carga significativa no processador do computador local.

4.2.1 - Dados morfométricos e hipsométricos

Na Tabela 1 são apresentados os índices morfométricos que foram utilizados para conhecer as características lineares, areais e hipsométricas da SBRT.

Tabela 1 – Índices morfométricos utilizados.

Índice	Sigla	Descrição	Modelo Matemático	Unidades
Características lineares				
Ordem da bacia	O	Classificação hierárquica dos canais da bacia proposto por Strahler (1952).	SIG	Adimensional
Comprimento total dos rios	Lt	Soma do comprimento de todos os canais da bacia.	SIG	km
Comprimento total do rio principal	L	Comprimento do rio desde a nascente mais distante até a foz.	SIG	km
Densidade de Drenagem	Dd	Relação entre o comprimento total dos rios (L) e a área da bacia (A). Nos indica a eficiência da densidade de drenagem.	$Dd = \frac{L}{A}$	km/km ²
Sinuosidade	Sin	Relação entre o comprimento do rio principal (L) e o comprimento do talvegue (Lt).	$Sin = \frac{L}{Lt}$	Adimensional
Características areais				
Área total da bacia	A	Área territorial na qual se estendem todos os canais da bacia, delimitado por divisores de água do relevo.	SIG	km ²
Perímetro total da bacia	P	Medida do contorno da bacia.	SIG	km
Coefficiente de compacidade	Kc	Relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo com igual área que a bacia.	$Kc = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$	Adimensional

Fator de forma	Kf	É a largura média e o comprimento axial da bacia. Índice utilizado para medir a tendência à enchentes.	$Kf = \frac{A}{L^2}$	Adimensional
Índice de circularidade	Ic	Determinado a partir da área de drenagem (A) e o perímetro (P), demonstra se o formato da bacia é mais circular ou mais alongado.	$Ic = 12,57(\frac{A}{P^2})$	Adimensional
Padrão de drenagem	Pd	Disposição espacial dos canais da bacia.	-	Adimensional
Características Hipsométricas				
Altitude máxima	Hmáx	Maior nível altimétrico da bacia.	SIG	m
Altitude mínima	Hmin	Menor nível altimétrico da bacia.	SIG	m
Amplitude altimétrica	ΔH	Diferença entre a altitude máxima e mínima da bacia.	$\Delta H = H_{máx} - H_{mín}$	m
Índice de rugosidade	Ir	Relação entre a amplitude altimétrica e a densidade de drenagem.	$I_r = \Delta H \times D_d$	Adimensional
Relação de relevo	Rr	Relação entre a amplitude altimétrica e o comprimento do canal principal.	$Rr = \frac{\Delta H}{L}$	m/km

Fonte: CAMPOS et al. (2015); FRANÇA e PINTO (2021); SOUSA (2021); PESSOA NETO et al. (2021; 2023); MIOTO et al. (2014); SILVA et al. (2017); SILVA, COSTA e ZAIDAN (2021). Adaptado: Autora (2025).

O código para calcular os índices morfométricos se encontra no Anexo A, Script 1 – Índices morfométricos. Ao rodar o código todos os resultados dos índices foram impressos no *Console*, conforme a Figura 9.

Figura 9 – Resumo dos resultados dos índices morfométricos calculados no GEE.

Inspector	Console	Tasks
	Densidade de Drenagem (Dd):	0.8417371052426414
	Coeficiente de manutenção (Cm):	1188.0193872548095
	Altura máxima da área (m):	498
	Altura mínima da área (m):	234
	Amplitude altimétrica da área (m):	264
	índice de Rugosidade (Ir):	222.22
	Raço de Relevo (Rr):	5.38
	Área (km ²):	385.68
	Perímetro (km):	104.51
	Coeficiente de compacidade (Kc):	1.49
	Coeficiente de forma (Kf):	0.1601097626018539

Fonte: Autora, 2025.

Uma referência dos valores resultantes de alguns destes índices e sua interpretação para cada bacia foram resumidos e simplificados por Pessoa Neto et al. (2021; 2023) na Tabela 2.

Tabela 2 – Referência dos valores de cada índice morfométrico.

Índice	Sigla	Intervalo	Descrição
Características lineares			
Densidade de Drenagem	Dd	< 0,50	Bacia com drenagem pobre
		0,50 - 1,50	Bacia com drenagem regular
		1,51 - 2,50	Bacia com drenagem boa

Sinuosidade	Sin	2,51 - 3,50	Bacia com drenagem muito boa
		> 3,50	Bacia excepcionalmente bem drenada
		≅ 1,00	O rio principal tende a ser retilíneo
		> 2,00	O rio principal tende a ser tortuoso
		< 20,00	O rio principal tende a ser muito retilíneo
Características areais			
Coeficiente de compacidade	Kc	1,00 - 1,25	Bacia com alta propensão a enchentes
		1,26 - 1,50	Bacia com tendência mediana a enchentes
		> 1,50	Bacia não sujeita a enchentes
Fator de forma	Kf	< 0,50	Bacia não sujeita a enchentes
		0,50 - 0,75	Bacia com tendência mediana a enchentes
		0,76 - 1,00	Bacia sujeita a enchentes
Índice de circularidade	Ic	0,36 - 0,50	A bacia possui forma alongada
		0,51 - 0,75	A bacia possui forma intermediária
		0,76 - 1,00	A bacia possui forma circular
Características hipsométricas			
Índice de rugosidade	Ir	< 150,00	Fraca
		150,00 - 550,00	Média
		551,00 - 950,00	Forte
		> 950,00	Muito forte
Relação de relevo	Rr	< 10,00	Baixa
		11,00 - 30,00	Média
		31,00 - 60,00	Alta

Fonte: PESSOA NETO et al. (2021; 2023). Adaptado: Autora (2025).

Em relação às características do hipsométricas, para Villela e Mattos (1975), o relevo, junto com os fenômenos do clima e hidrológicos têm uma forte influência na bacia hidrográfica. A partir da declividade, podemos conhecer a velocidade do escoamento superficial, diretamente relacionado com as enchentes, a infiltração e a erosão. Segundo a

EMBRAPA (1979), a declividade pode ser separada em seis classes que irão caracterizar o relevo, sendo estas apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 – Tipo de relevo em função da declividade.

Declividade	Tipo de Relevo
0 - 3	Plano
3 - 8	Suavemente ondulado
8 - 20	Ondulado
20 - 45	Fortemente ondulado
45 - 75	Montanhoso
> 75	Fortemente montanhoso

Fonte: EMBRAPA (1979). Adaptado: Autora (2025).

Alguns autores e pesquisadores brasileiros, como Florenzano (2011), não consideram a classe ‘Montanhoso’ e ‘Fortemente montanhoso’ pelo fato do Brasil não apresentar este tipo de relevo. Optou-se por manter a classificação com essas duas classes já que esta pode ser utilizada em estudos de diferentes países que sim apresentam relevos com estas características.

A variável de declividade foi trabalhada a partir do SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) disponibilizado pela USGS (United States Geological Survey) na *Image* “USGS/SRTMGL1_003” (FARR et al. 2007) no GEE. Esta imagem foi cortada conforme a área de estudo para um processamento mais rápido e posteriormente se obteve a declividade em graus a partir do método “ee.Terrain.slope()”. Na sequência foi calculada a elevação e a declividade em percentual a partir de operações matemáticas, como é visualizado no Anexo A, Script 2 – Elevação e declividade.

Os dados das formas do relevo foram baixados do site do TOPODATA⁸, o INPE disponibiliza as imagens em quadrantes segundo a latitude e longitude. A área da BRT se encontrava distribuída em duas imagens diferentes, a 22S54 e a 23S54, por esse motivo ambas imagens foram inseridas no GEE, unidas e cortadas segundo os limites da bacia.

4.2.2 - Pluviometria

O regime de chuvas é um fator crucial na análise do comportamento de bacias hidrográficas. Grande parte da literatura consultada (MIOTO et al., 2014; PESSOA NETO et al., 2023, entre outros) destaca a importância dos dados pluviométricos nas análises

⁸ <https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=1Yle0c2VU4waXo-Kzn0RBONZG9NgSYas&ll=-24.09295857964022%2C-50.57665358510667&z=8&entry=yt>

morfométricas, considerando que a chuva é a principal forma de ingresso de água no sistema da bacia. Entretanto, a manipulação desse tipo de dado não é simples e apresenta diversos desafios, desde a coleta até o tratamento, o que justifica a ausência desse recurso em muitos estudos relacionados a análises morfométricas.

A variável de pluviosidade foi trabalhada a partir dos dados do *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data* (CHIRPS) disponibilizados no GEE na *Image Collection* “UCSB-CHG/CHIRPS/DAILY” (FUNK et al., 2015). O CHIRPS possui uma resolução espacial de 5 km, uma das melhores resoluções espaciais disponíveis em comparação a outras missões, como a *Tropical Rainfall Measuring Mission* (TRMM), e a *Global Precipitation Measurement Mission* (GPM). Isso significa que a área analisada é dividida em um maior número de pixels, permitindo maior detalhamento e precisão nos valores obtidos.

Os dados foram filtrados por data (do 01/01/1995 ao 12/31/2024, para obter a pluviosidade dos últimos 30 anos) e região (BRT), e posteriormente foi usado o método “.sum()” para conhecer o dado acumulado anual de chuvas por período. A partir deste dado criamos pontos aleatórios na área de estudo com os métodos “ee.Image.pixelLonLat()” e “sample()”, conforme o Anexo A, Script 3 – Pluviosidade.

4.2.3 - Uso e ocupação da terra

Por fim, a variável de uso e cobertura da terra foi obtida a partir de três fontes distintas e processadas no Google Earth Engine.

Os dados do MapBiomas foram acessados através do script “mapbiomas-user-toolkit-lulc.js”, disponível na aba de scripts do GEE. Utilizou-se a Coleção 9.0 (versão mais atualizada), os dados referentes ao ano de 2021, com 30 metros de resolução espacial.

Os dados da Agência Espacial Europeia foram obtidos da coleção de imagens “ESA/WorldCover/v200”, também disponibilizada no GEE, com uma classificação de uso e cobertura da terra em 10 metros de resolução espacial.

Já os dados da Planet®, provenientes da parceria com o NICFI, foram baixados diretamente da plataforma da empresa após o login com usuário e senha cadastrados no projeto. Seis imagens que cobrem toda a área da Bacia do Ribeirão Tamanduateí (BRT) de março de 2021 e dezembro de 2024 foram baixadas, carregadas nas *Assets* do GEE e, posteriormente, unidas para formar uma única imagem. Para a classificação semi-automática da imagem da Planet®, foram coletados pontos amostrais de quatro classes principais: formação florestal, pastagem, cultivos e construções. Após a primeira classificação se fez necessária uma nova

classe: solo exposto. Esses pontos foram combinados usando o método ".merge()". O 70% das amostras foram utilizadas para treinar o classificador, e a classificação foi realizada com o algoritmo Random Forest (CUTLER et al., 2011). O outro 30% foi utilizado para o teste, essas amostras foram classificadas e comparadas com os resultados das classes verdadeiras. Isso, com o intuito de calcular o Índice Kappa (LANDIS e KOCH, 1977), o qual mede a concordância entre classificação e realidade em campo. Segundo Landis e Koch (1977), podemos classificar a confiabilidade da classificação a partir dos valores apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Interpretação dos valores Kappa.

Valor Kappa	Concordância
< 0,00	Sem relação
0,01 - 0,20	Muito fraca
0,21 - 0,40	Fraca
0,41 - 0,60	Moderada
0,61 - 0,80	Substancial
0,81 - 1,00	Quase perfeita

Fonte: Landis e Koch (1977). Adaptado: Autora (2025).

As imagens das três fontes foram recortadas de acordo com a delimitação da BRT, e a área ocupada por cada classe foi calculada para cada classificação. Por fim, foram gerados três gráficos no GEE, mostrando o percentual da área total correspondente a cada classe, conforme os diferentes conjuntos de dados.

No Anexo A, Script 4 – MapBiomias, Script 5 – ESA, e Script 6 – Planet®, são apresentados os códigos que foram utilizados para chegar nos resultados de uso e cobertura da terra.

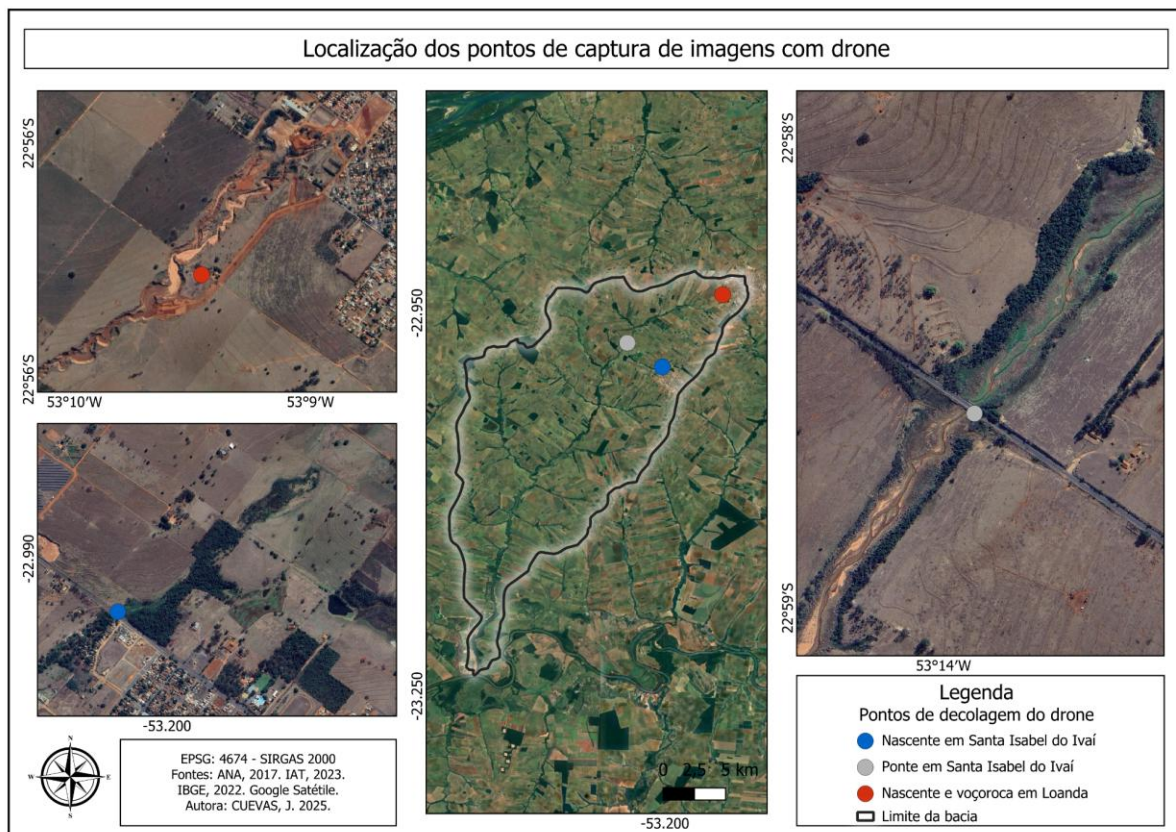
4.2.4 - Trabalho de campo

O trabalho de campo na Geografia, especialmente no contexto do Sensoriamento Remoto, desempenha um papel essencial na construção do conhecimento, sobretudo quando se analisam fenômenos ambientais a partir de uma perspectiva espacial.

Com o objetivo de validar a classificação semi-automática do uso e cobertura da terra elaborada a partir das imagens da Planet® do ano 2024, foram realizadas visitas a três pontos da bacia do Ribeirão Tamanduateí, conforme Figura 10. Os locais escolhidos foram duas nascentes e uma ponte sobre o Ribeirão Tamanduateí. A primeira nascente, situada na zona

periurbana de Loanda (ponto vermelho), apresenta processos de erosão linear. A segunda nascente localiza-se no município de Santa Isabel do Ivaí, às margens da PR-576 (ponto azul). Já a ponte encontra-se sobre a PR-576, no limite entre três municípios (ponto cinza).

Figura 10 – Mapa de localização dos pontos de captura de imagens de drone.



Fonte: Autora, 2025.

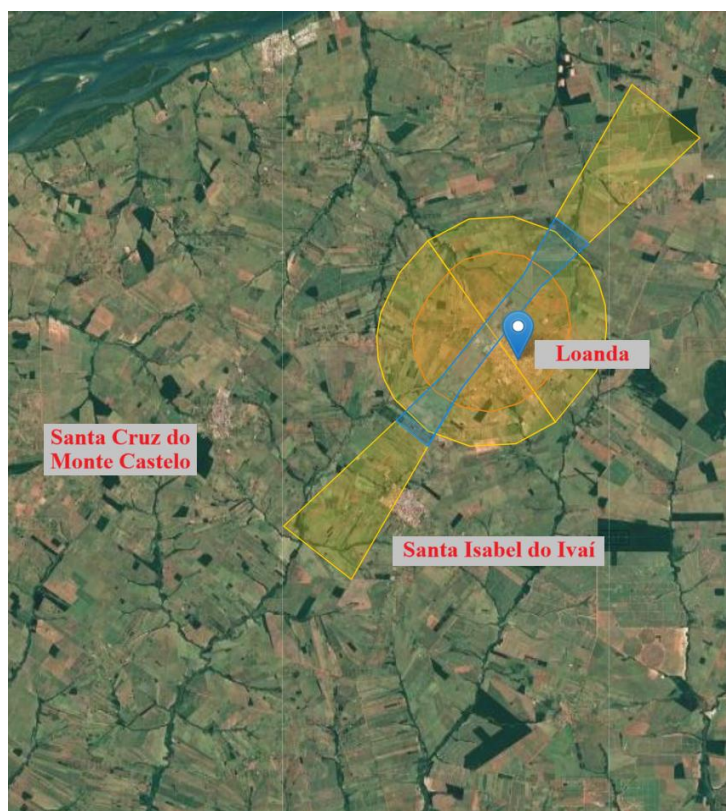
Os três pontos foram selecionados com base em sua relevância para a pesquisa, na viabilidade de acesso e nos recursos disponíveis. Embora fosse interessante realizar um levantamento de imagens no encontro do Ribeirão Tamanduaí com o rio Ivaí, restrições de tempo, acesso e recursos impediram sua execução.

Foram realizados três levantamentos de imagens nos dias 15/02/2025 e 16/02/2025, utilizando o drone MAVIC Pro da DJI®, a uma altitude de 120 metros, com sobreposição horizontal e vertical de 70%. O processamento dos dados foi realizado no software de código aberto WebODM®, permitindo a geração de ortomosaicos. Esses produtos viabilizaram a comparação entre o uso e ocupação da terra observado em campo e as informações fornecidas pela classificação das imagens obtidas dos satélites da Planet®.

As informações da zona GEO (DJI, 2025), disponibilizadas na plataforma DJI FlySafe, indicam as áreas onde é permitido operar drones, bem como zonas de perigo e restrições para sobrevoos. Conforme ilustrado na Figura 11, a cidade de Loanda está situada em uma zona de

restrição reforçada (destacada em laranja), o que impede a realização de voos com Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA's). Ao redor da cidade, há uma zona de advertência (em amarelo), enquanto a zona de autorização (em azul) atravessa as zonas anteriores, permitindo a operação sem restrições.

Figura 11 – Zonas GEO para a bacia do Ribeirão Tamanduateí.



Fonte: DJI, 2025. Adaptado: Autora, 2025.

Devido à proximidade com uma área de máxima restrição, o voo planejado para Loanda foi realizado apenas parcialmente.

4.2.5 - Elaboração de mapas

Todos os dados obtidos e processados no Google Earth Engine e no WebODM® foram exportados em formatos raster e vetorial para utilização no software QGIS® (versão 3.38.0), com o objetivo de produzir mapas temáticos. A construção dos mapas conta também com camadas disponíveis nos sites do IBGE (2022), do IAT (2023) e da ANA (2017).

Especificamente para a elaboração do mapa de pluviosidade, foram baixados do GEE os pontos aleatórios com os valores de pluviosidade em formato *shapefile* e esta camada foi importada para um projeto no QGIS®. Para a interpolação dos pontos, aplicou-se o método “Inverso do Quadrado da Distância” (Barra menu > Raster > Análisis > *Grid - Inverse distance to a Power*) e ajustou-se a simbologia para um gradiente de cores frias (simbologia > graduado

> valor: precipitação > *color ramp*: *blues* > classes: 5 > intervalo igual), visando representar de forma mais adequada o fenômeno da pluviosidade.

Cabe destacar que foi utilizado o pgAdmin 4 como gestor do banco de dados, com a finalidade de organizar todas as camadas utilizadas numa única base e facilitar assim seu uso na produção cartográfica. Esses mapas serviram de apoio na análise e correlação das variáveis estudadas.

5 - RESULTADOS

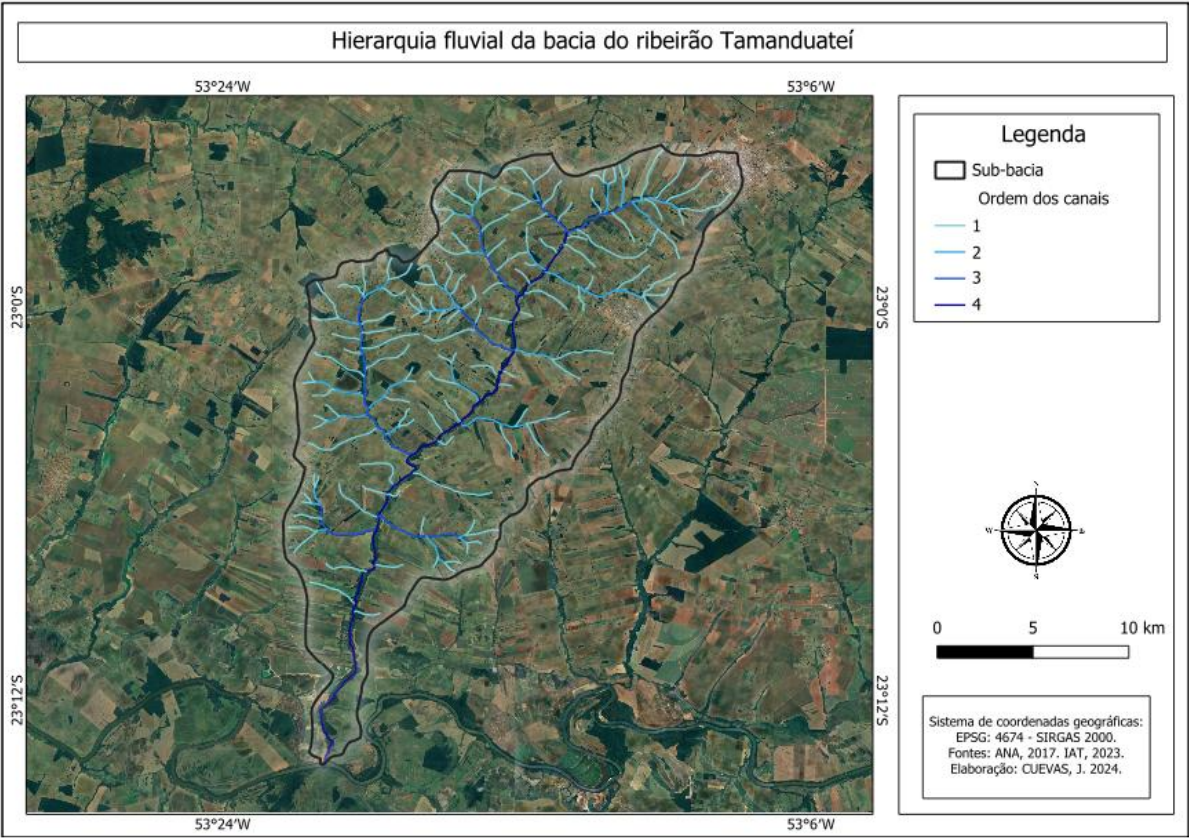
Com o objetivo de caracterizar a área da bacia do Ribeirão Tamanduateí, este capítulo apresenta os resultados obtidos conforme os procedimentos metodológicos (pág. 34-44). Os resultados estão organizados em seis tópicos principais: hierarquia fluvial, análise linear, análise areal, análise hipsométrica, análise pluviométrica e análise de uso e cobertura da terra.

Cada análise apresenta os resultados dos índices morfométricos e espacializa as variáveis selecionadas por meio de mapas, complementados por tabelas e gráficos gerados no GEE, fundamentados nos autores referenciados ao longo deste estudo.

5.1 - HIERARQUIA FLUVIAL

Conforme Christofolletti (1979), como primeiro passo foram calculados o número de canais dentro da bacia e sua respectiva ordem. Na Figura 12, apresentam-se a ordem dos canais fluviais segundo a classificação de Strahler (1952). A BRT é de 4ª ordem, o que indica uma boa drenagem. Observa-se que existe uma grande quantidade de canais de primeira ordem, seguidos pelos de segunda, terceira e quarta ordem. Isto pode ser verificado na Tabela 5, na qual se encontra o número de canais para cada ordem.

Figura 12 – Mapa de hierarquia fluvial da bacia do Tamanduateí.



Fonte: Autora, 2025.

Tabela 5 – Número de canais por ordem hierárquica.

Ordem do canal	Número de canais
1 ^a	130
2 ^a	27
3 ^a	7
4 ^a	1
Total	165

Fonte: Autora, 2025.

5.2 - ANÁLISES LINEAR

Na Tabela 6 são apresentados os resultados das características hidrológicas correspondentes à análise linear, conforme Schumm (1963), Christofolletti (1979), e Pessoa Neto et al. (2021; 2023). Calculou-se o comprimento dos rios, totalizando 324,64 km de rio na área da bacia, sendo que o rio principal se estende por 49,08 km.

Tabela 6 – Resultados do cálculo de índices lineares.

Características da rede hidrográfica*	Resultados
Comprimento total dos rios	324,64 km
Comprimento total do rio principal	49,08 km
Dd	0,84 km/km ²
Cm	1.188,01 m
Sin	1,27

* Características da rede hidrográfica: Dd = Densidade de drenagem; Cm = Coeficiente de manutenção; Sin = Sinuosidade. Fonte: Autora, 2025.

Segundo Villela e Mattos (1975) a densidade de drenagem pode variar entre 0,5 e 3,5 km/km² ou mais, sendo o primeiro grupo considerado como densidades muito pobres e o segundo, correspondendo a bacias muito bem drenadas. O resultado da densidade de Dd da BRT indicou um valor intermediário entre os valores indicados pelos autores, por esse motivo, seguindo a classificação de Pessoa Neto et al. (2021; 2023) (Tabela 2), é possível afirmar que existe uma drenagem regular/moderada. O coeficiente de manutenção (Cm), demonstra numericamente a área necessária para manter um metro de escoamento superficial, sendo necessários 1.188 m para a manutenção do canal no caso analisado.

O resultado da sinuosidade aponta uma tendência do rio principal a adotar um traçado mais tortuoso, o que contribui para a ampliação de sua planície fluvial, facilitando a descarga dos materiais transportados. Conforme afirma Pessoa Neto et al. (2023), a sinuosidade está diretamente relacionada à declividade, sendo mais comum em rios que percorrem áreas de baixa declividade, como ocorre na BRT, aspecto que será aprofundado na análise hipsométrica.

5.3 - ANÁLISE AREAL

A Tabela 7 apresenta os resultados dos índices morfométricos que caracterizam a área e a forma da bacia do Ribeirão Tamanduateí.

Tabela 7 – Resultados do cálculo de índices areais.

Características areais *	Resultados
A	385,68 km ²
P	104,51 km
Kc	1,49
Kf	0,16
Ic	0,44
Pd	Dendrítico

* Características areais: A = Área; P = Perímetro; Kc = Coeficiente de compacidade; Kf = Fator de forma; Ic = Índice de circularidade; Pd = Padrão de drenagem. Fonte: Autora, 2025.

A bacia do Ribeirão Tamanduateí possui uma área total de 385,68 km² e um perímetro de 104,51 km. O coeficiente de compacidade (Kc), que compara a forma da bacia com a de um círculo de mesma área, resultou em um valor de 1,49, o que conforme Pessoa Neto et al. (2021; 2023), reflete uma tendência moderada a enchentes. O fator de forma (Kf), que compara a área da bacia com a área de um retângulo, apresentou um valor baixo (0,16), indicando que a bacia é alongada, característica que reduz sua suscetibilidade a enchentes.

Por fim, o índice de circularidade (Ic) também foi baixo (0,44), corroborando a forma alongada da bacia e reafirmando os padrões identificados pelos demais índices. De acordo com Schumm (1956) e Miotto et al. (2014), bacias com índices de circularidade inferiores a 0,51 tendem a ser alongadas, o que promove que o escoamento demore para chegar até o exutório, favorecendo a infiltração.

O padrão de drenagem é dendrítico, ou seja, ramificado, onde os rios tributários se encontram formando “ângulos agudos” (CHRISTOFOLETTI, 1979, p.82).

Tendo como base estas características geométricas na bacia é possível afirmar que a mesma não está sujeita a enchentes sendo as condições pluviométricas normais.

5.4 - ANÁLISE HIPSOMÉTRICA

Na Tabela 8 são apresentados os índices morfométricos que, em conjunto com a Figura 12 e Figura 13, auxiliam a análise hipsométrica.

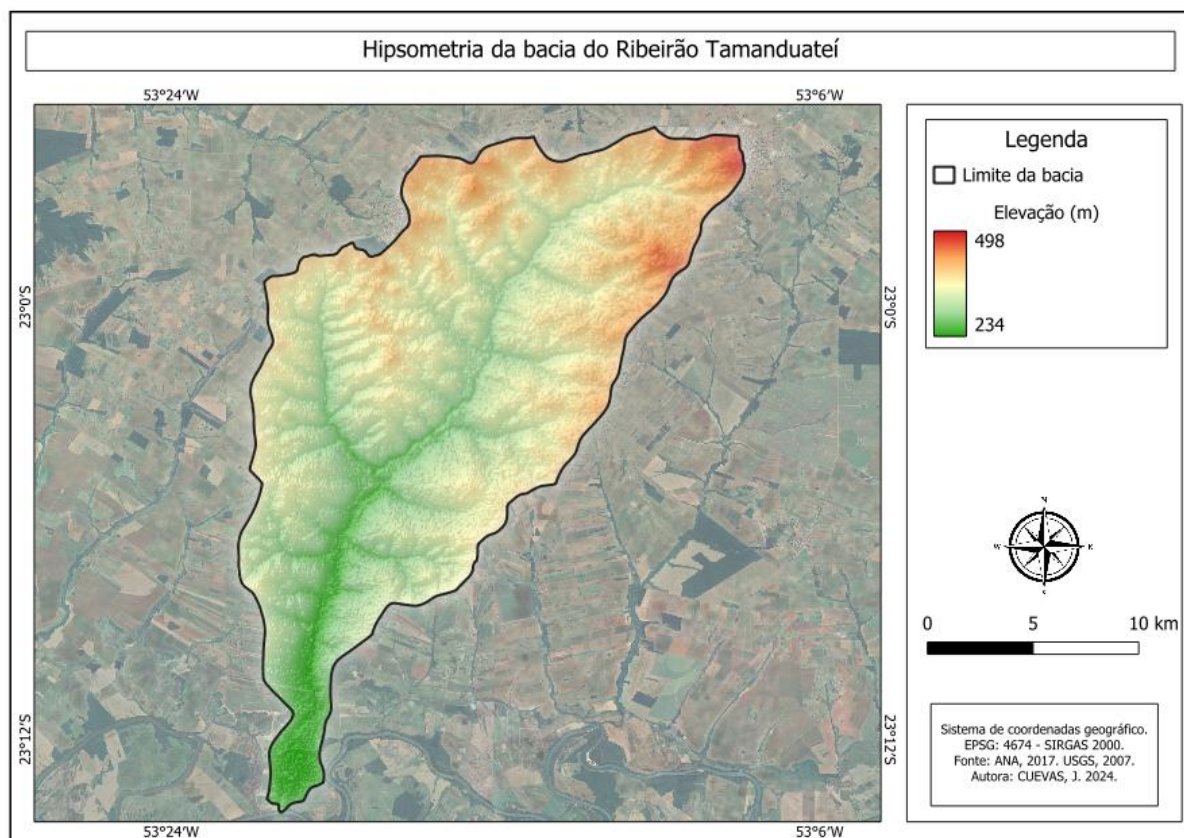
Tabela 8 – Resultados do cálculo de índices hipsométricos.

Características de relevo	Resultados
Hmax	498 m
ΔH	264 m
Hmin	234 m
Dm	3,47 %
Ir	222,22
Rr	5,38

* Características areais: Hmax = Altitude máxima; ΔH = Amplitude altimétrica; Hmin = Altitude mínima; Dm= Declividade média. Ir = Índice de rugosidade; Rr = Relação de relevo. Fonte: Autora, 2025.

A bacia apresenta uma elevação máxima de 498 m, mínima de 234 m e amplitude altimétrica de 264 m, indicando um relevo pouco acentuado e sem grandes variações altimétricas. A partir dos dados do SRTM, foi elaborado o mapa de hipsometria (Figura 13), no qual é possível identificar que as maiores altitudes estão localizadas nas áreas de nascente ao noroeste, abrangendo parte da cidade de Loanda (PR) e áreas próximas. À medida que os rios se aproximam da foz, observa-se uma diminuição da altitude.

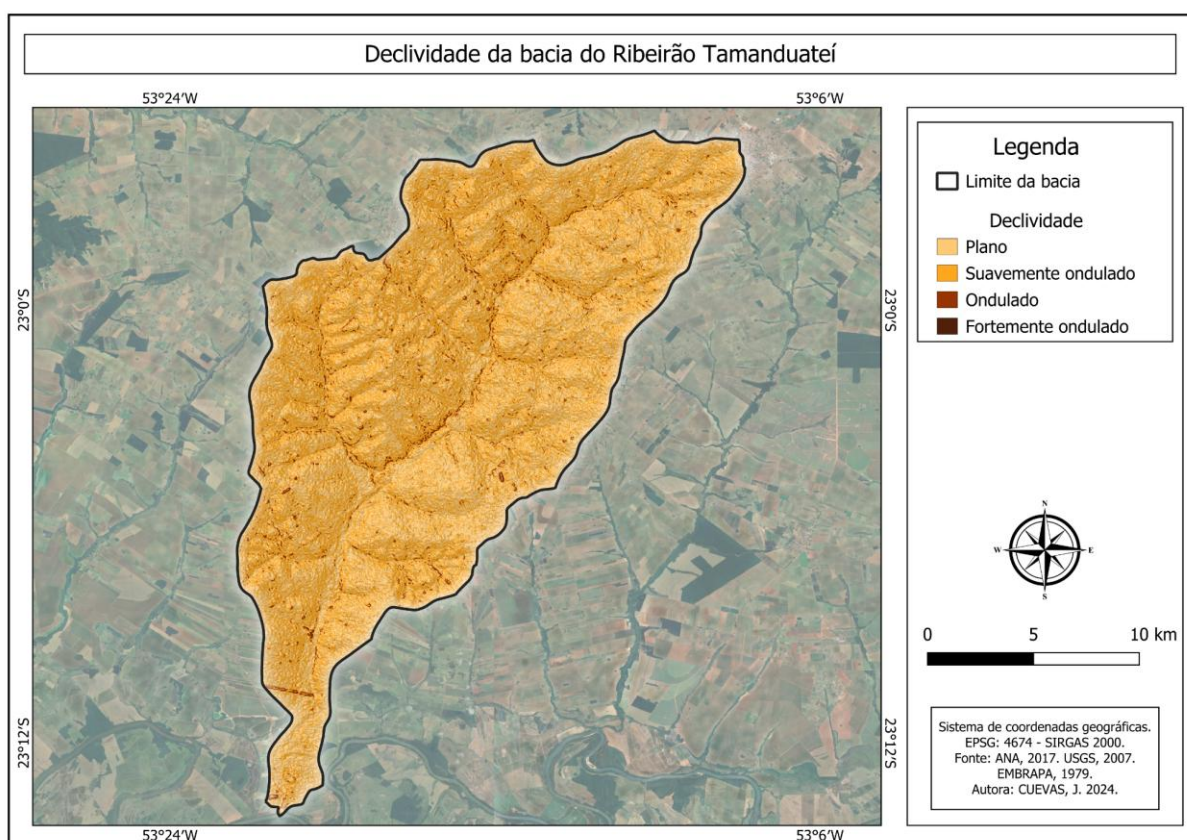
Figura 13 – Mapa de hipsometria da bacia do Tamanduateí.



Fonte: Autora, 2025.

Com a derivação automática dos dados de elevação, via código em Javascript, foi possível calcular a declividade em percentual. A declividade média obtida foi de 3,47%, enquanto a máxima atingiu 24,73%. Como ilustrado na Figura 14, e corroborado pelo valor médio, conforme a classificação de relevo da EMBRAPA (1979), o relevo predominante na bacia é suavemente ondulado. Há também áreas com declividades classificadas como planas (0-3%) e onduladas (8-20%). A declividade máxima, classificada como fortemente ondulada, ocorre principalmente ao longo da calha fluvial do rio principal.

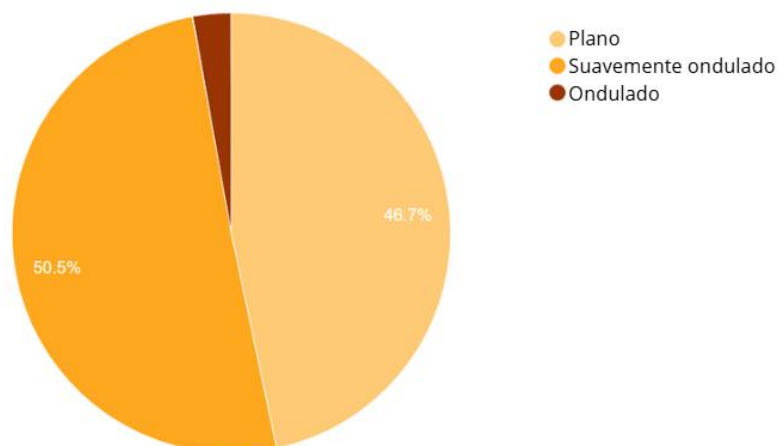
Figura 14 – Mapa de declividade da bacia do Tamanduateí.



Fonte: Autora, 2025.

O Gráfico 1 evidencia que mais de 50% da bacia apresenta declividade entre 3-8%, caracterizada como suavemente ondulada. Além disso, mais de 46% da área é classificada como plana, enquanto 2,8% corresponde a relevo ondulado. A bacia possui apenas 0,01 km² com relevo fortemente ondulado, uma proporção tão pequena que este tipo de relevo não aparece representado no Gráfico. Não foram identificados relevos classificados como montanhosos ou fortemente montanhosos, conforme a EMBRAPA (1979).

Gráfico 1 – Percentual de área por declividade.

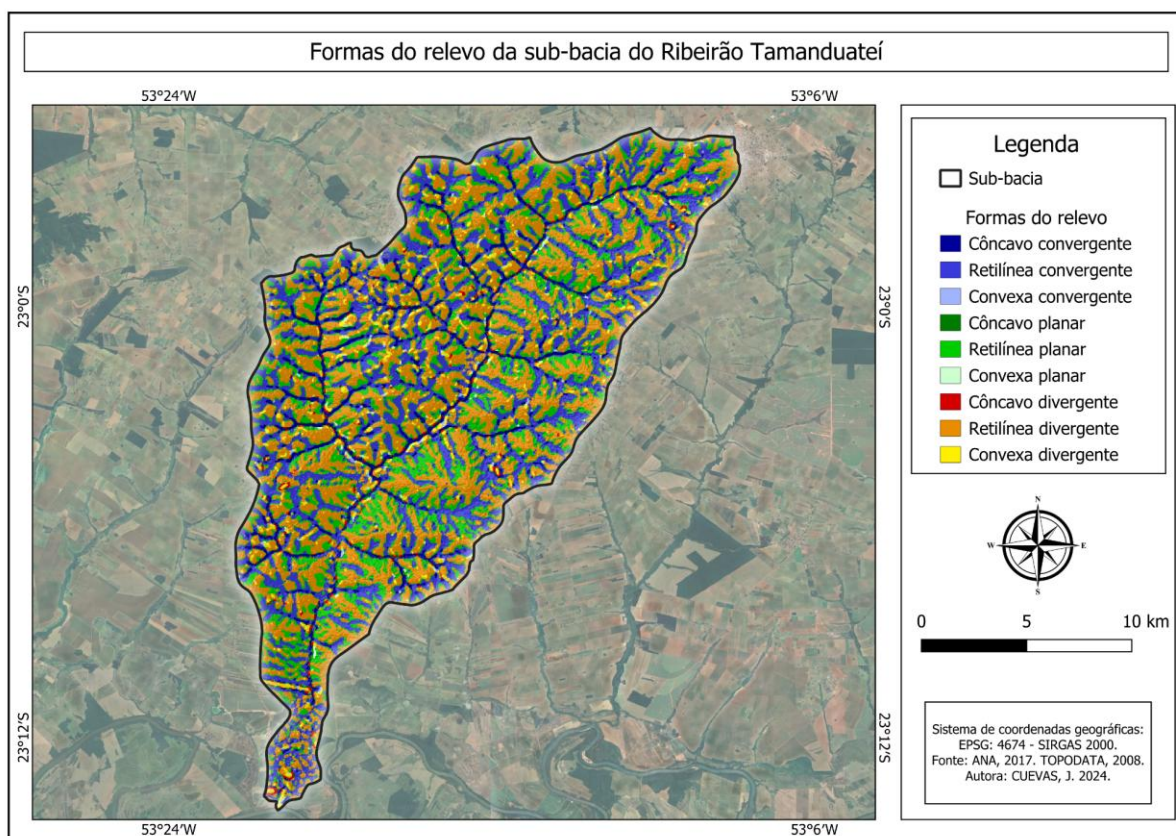


Fonte: Autora, 2025.

Segundo Leite et al. (2023), há uma relação direta entre a rugosidade, a densidade de drenagem e a variação de altitude. Quando a rugosidade apresenta valores muito altos, a densidade de drenagem e a variação de altitude também tendem a ser elevadas, o que caracteriza a presença de vertentes mais longas. Na Bacia do Ribeirão Tamanduateí, o índice de rugosidade calculado foi de 222,22, um valor considerado moderado, coerente com os valores igualmente moderados de densidade de drenagem e variação de altitude observados na área. Já o índice de relação de relevo apresentou um valor baixo (5,38), refletindo a baixa amplitude altimétrica da região.

As formas do relevo (VALERIANO, 2008) na bacia podem ser analisadas através da Figura 15, que espacializa sua distribuição, e do Gráfico 2, que apresenta o percentual de área ocupado por cada tipo de forma.

Figura 15 – Mapa das formas do relevo da bacia do Tamanduateí.



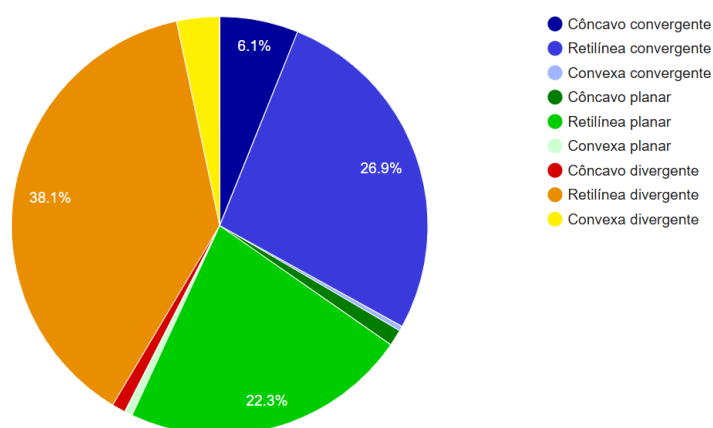
Fonte: Autora, 2025.

Observa-se o predomínio da forma retilínea-divergente, que cobre 38,1% da área total, seguida pelas formas retilínea-convergente (26,9%) e retilínea-planar (22,3%). As formas menos recorrentes são convexa-convergente e convexa-paralela.

A forma retilínea-divergente distribui-se de maneira homogênea por toda a bacia, enquanto as formas retilínea-convergente, convexa-convergente e retilínea-planar acompanham principalmente os canais dos rios.

Ao longo do leito do rio apresenta-se a forma côncavo-convergente, o que confirma o fenômeno de vales em forma de berço, identificado por Nóbrega et al. (2023).

Gráfico 2 – Percentual de área por forma do relevo.

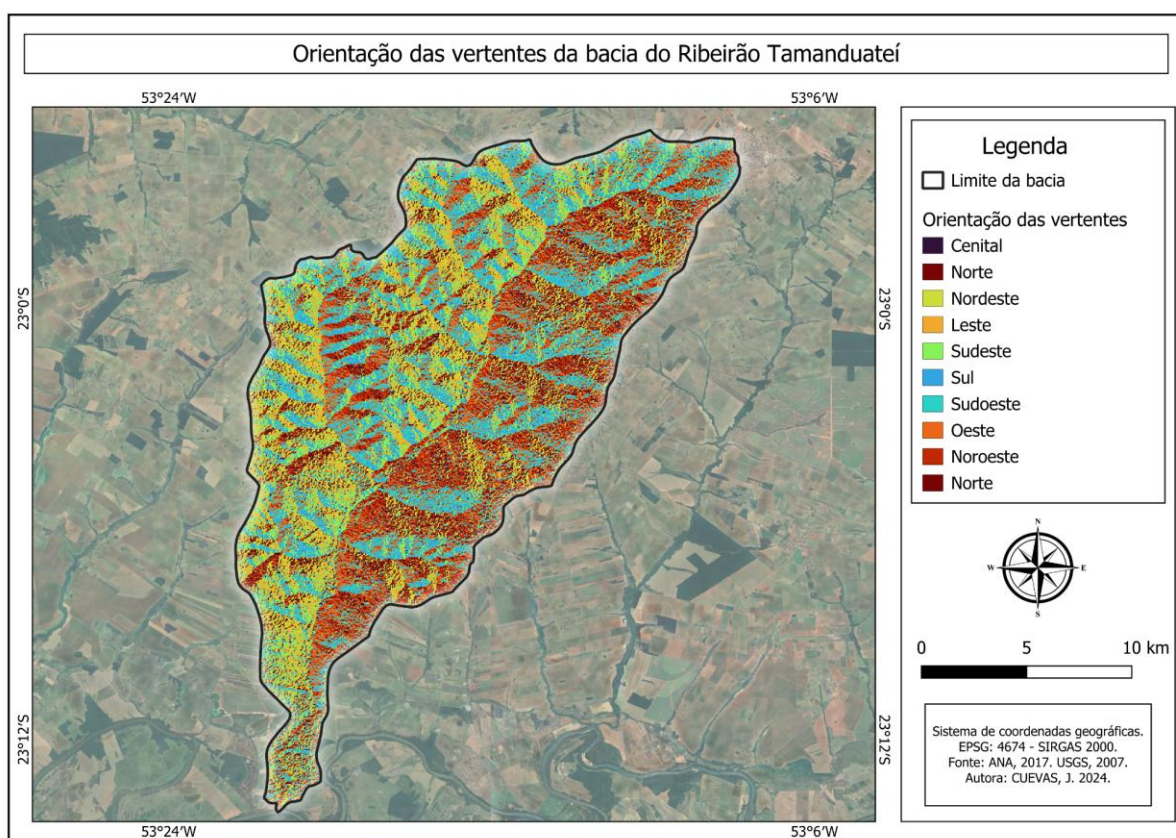


Fonte: Autora, 2025.

Formas de relevo classificadas por Valeriano (2008) como extremos, como côncavo-convergente e convexa-divergente, que representam máxima concentração e máxima dispersão do escoamento, respectivamente, apresentam pouca ocorrência na área de estudo sendo a primeira 6,1% da área total, e a segunda 3,3%.

Em relação à orientação das vertentes, a partir da Figura 16 e do Gráfico 3 observa-se que 39,8% das vertentes estão orientadas ao sul, sudoeste e sudeste, sendo estas as principais orientações de vertentes, respectivamente. As vertentes orientadas ao Noroeste, Nordeste e Norte somam 28,6%, as vertentes orientadas ao oeste totalizam 12,6% da área da bacia, enquanto as orientadas ao leste 10,6%.

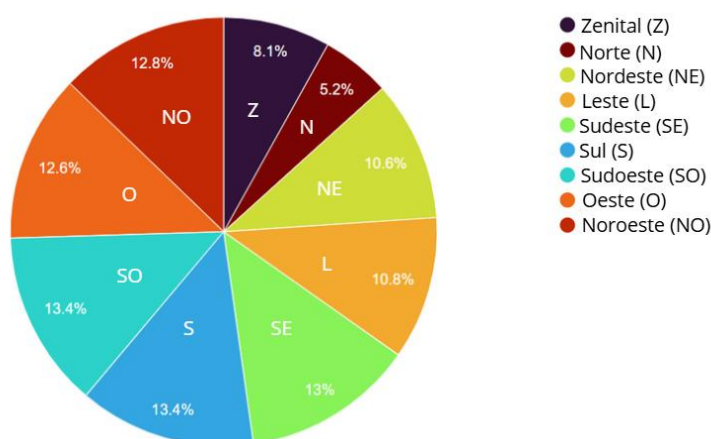
Figura 16 – Mapa de orientação das vertentes da bacia do Ribeirão Tamanduateí.



Fonte: Autora, 2025.

O fato da área de estudo se encontrar no hemisfério sul e próximo do Trópico de Capricórnio, imprime às vertentes orientadas ao norte, maior radiação solar e calor do que as orientadas ao sul, ao longo das estações do ano. Por outro lado, as vertentes orientadas ao oeste, recebem maior luz solar a partir do meio-dia e mantêm-se mais aquecidas ao longo da noite e da madrugada, em comparação com as vertentes orientadas ao leste. Sendo assim, identificou-se que a maior parte da bacia recebe menos iluminação solar e portanto, menos aquecidas, propiciando maiores níveis de sombra e umidade (Tonello et al. 2006). A orientação de vertentes guarda grande relação com a pluviosidade e os fenômenos atmosféricos, como será analisado na próxima seção.

Gráfico 3 – Percentual de área por orientação das vertentes.



Fonte: Autora, 2025.

5.5 - ANÁLISE DE PLUVIOSIDADE

Aparecido et al. (2016) a cerca de do clima no Paraná, afirmaram que a pluviosidade aumenta com o incremento da latitude, influenciada pelas massas polares. Além das massas polares antárticas, Monteiro (1968), coloca que a região é também influenciada pelas massas de ar equatorial continental (mantém a região aquecida) e tropical continental (aporta umidade e pluviosidade), (BALDO, 2006).

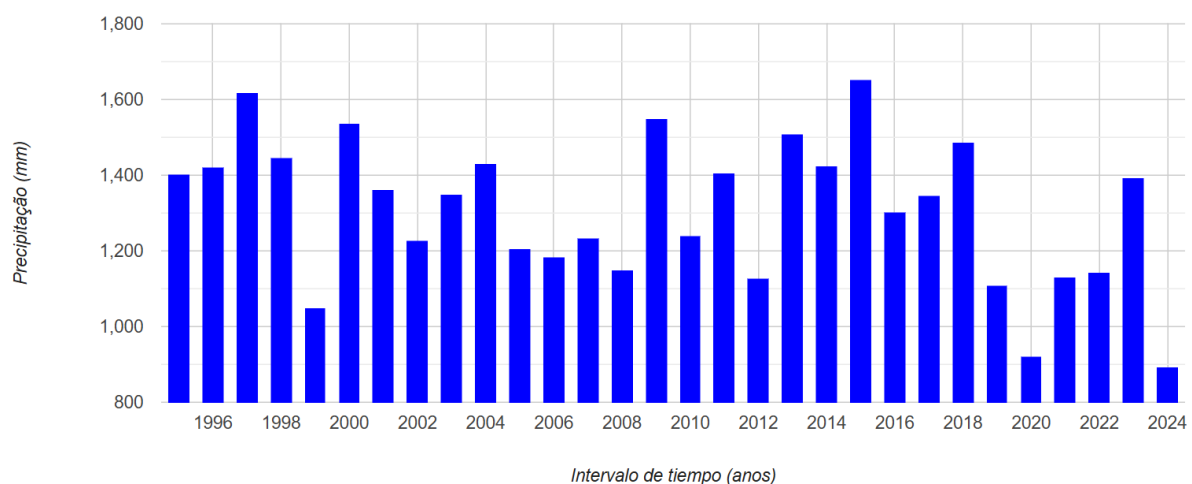
A partir do estudo de Aparecido et al. (2016), que se baseia no o banco de dados do *European Center for Medium-Range Weather Forecast* (ECMWF), identificou-se que a precipitação anual da região da BRT varia entre 1.200 e 1.400 mm.

O Gráfico 4, apresenta a precipitação anual acumulada nos últimos 30 anos na bacia, com base nos dados do CHIRPS. Estes revelam uma pluviosidade mínima de 893 mm (em 2024), máxima de 1.650 mm (em 2015) e uma média 1.311 mm, corroborando os valores apresentados por Aparecido et al. (2016) para a região. Destacam-se os baixos índices de pluviosidade nos anos de 2020 (923 mm) e 2024 (893 mm), períodos marcados por secas severas, os quais podem ser relacionados com ao fenômeno El Niño-Oscilación del Sur (ENOS), acontecendo o aquecimento ou resfriamento do oceano Pacífico equatorial, somado a mudanças na circulação atmosférica tropical. Segundo Baldo (2016), este fenômeno tem dois extremos, El Niño (aumento da temperatura e diminuição da pressão na parte Leste do Pacífico) e La Niña (resfriamento da temperatura e aumento da pressão).

Segundo o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) o El Niño foi classificado como forte nos períodos de 1997-1998 e 2015-2016, ou seja, nesses intervalos de tempo “a anomalia de temperatura da

superfície do mar (TSM) foi superior a 1,5°C em algum dos meses pertencentes à série” (CPTEC/INPE, 2016). O Gráfico 4 evidencia a relação entre esse fenômeno e a pluviosidade, destacando 1997 e 2015 como os anos de maior precipitação na BRT. Entre 2020 e 2023, ocorreu um evento plurianual de La Niña, seguido pela manifestação do El Niño de junho de 2023 a junho de 2024. No entanto, diferentemente do esperado, o El Niño dessa vez teve um impacto negativo na pluviosidade, tornando 2024 o ano com o menor índice de precipitação registrado na BRT. Cabe destacar que os efeitos naturais do ENOS estão inseridos no contexto das mudanças climáticas de origem antrópica, as quais contribuem para o aumento da temperatura (impulsionada pela emissão de gases de efeito estufa) e os eventos climáticos extremos (OMM, 2024).

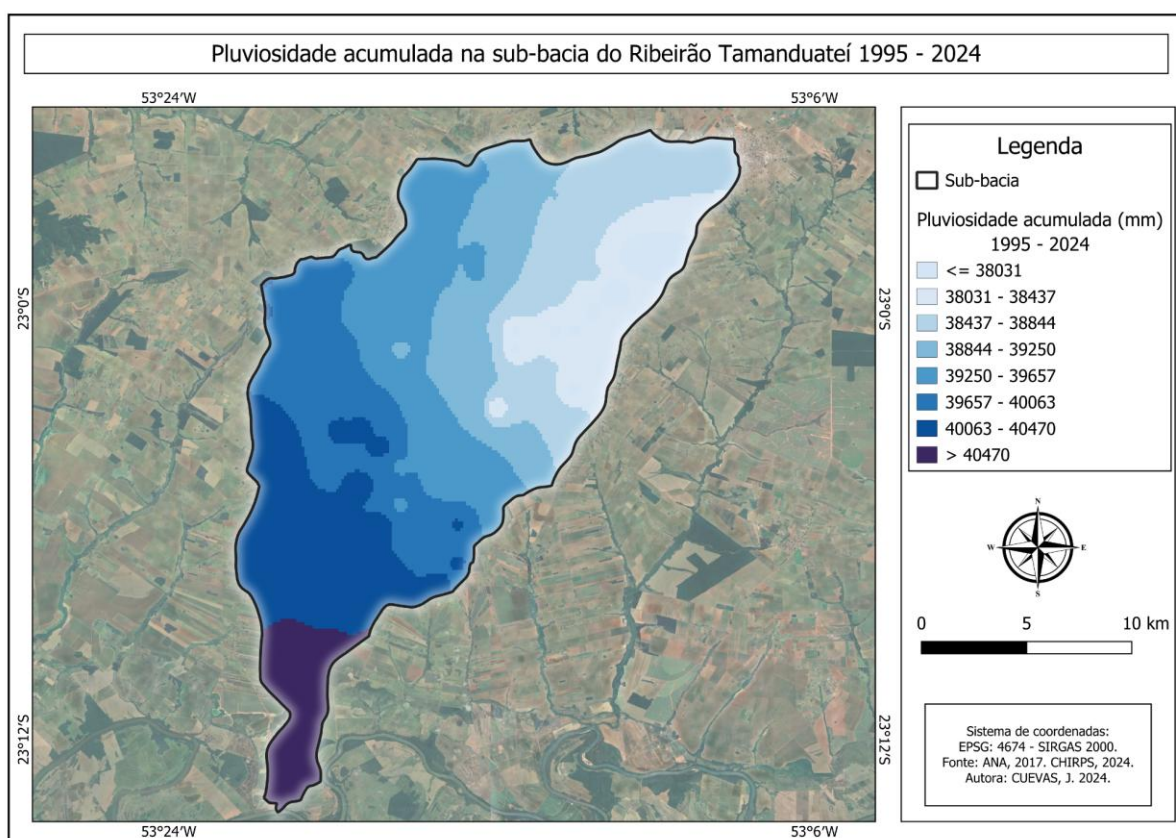
Gráfico 4 – Precipitação anual acumulada por ano de 1995 até 2024 na BRT.



Fonte: Autora, 2025.

A Figura 17 espacializa a distribuição da pluviosidade anual entre os anos de 1995 e 2024, evidenciando um padrão de aumento no sentido nordeste-sudoeste. Como resultado, o trecho final do rio, próximo ao exutório, concentra as maiores precipitações dentro da bacia, região mais influenciada pela Frente Polar Atlântica, por ficar mais ao sul. Essa dinâmica possui impactos diretos no uso e cobertura da terra, tema que será discutido na próxima seção.

Figura 17 – Mapa de pluviosidade acumulada (1995 - 2024).



Fonte: Autora, 2025.

5.6 - ANÁLISE DO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA

5.6.1 - Uso e cobertura da terra via MapBiomass, ESA e Planet® (2021)

O Paraná é tradicionalmente voltado à produção agropecuária, destacando-se a criação de gado para consumo de carne e o cultivo de diversas culturas agrícolas. Nóbrega et al. (2023), afirma que nos começos da colonização do noroeste paranaense, o café e a cana tiveram destaque, mas, nas últimas décadas, a soja e o milho se consolidaram como principais culturas.

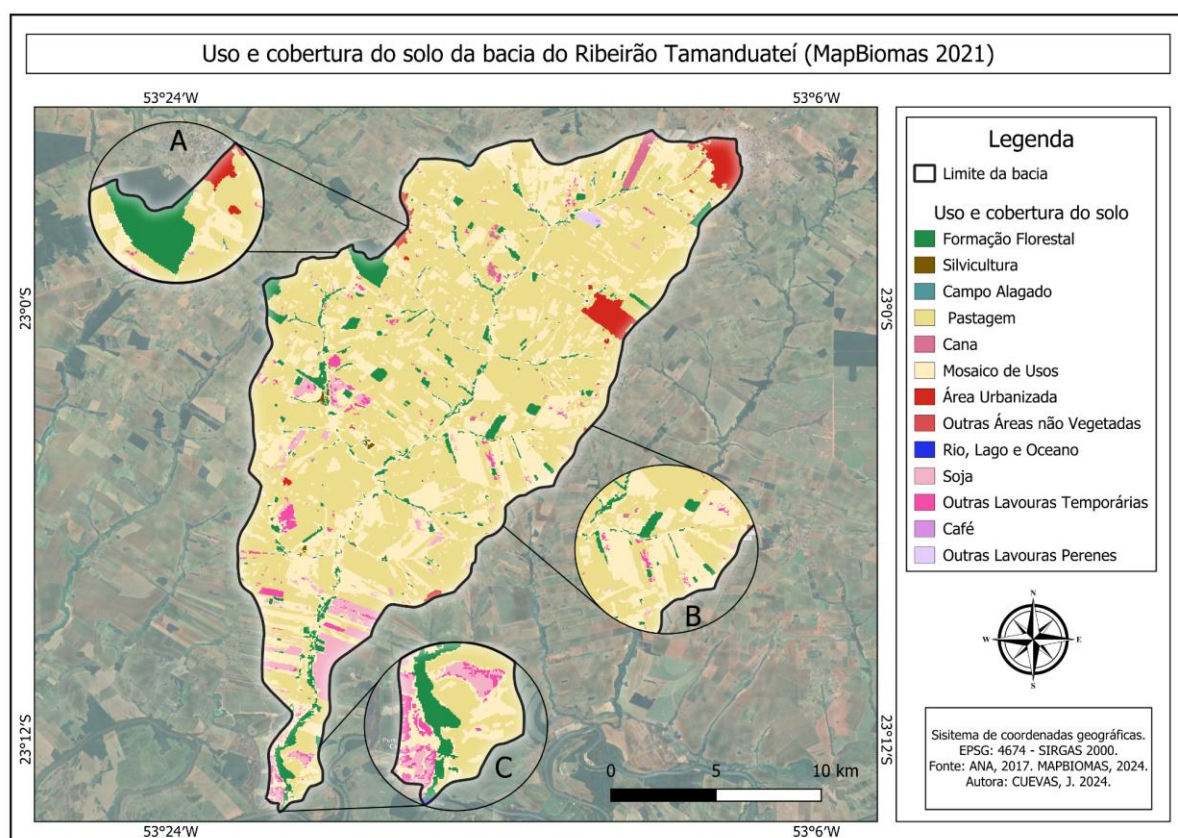
O MapBiomass é uma ferramenta essencial para analisar as dinâmicas de uso e ocupação da terra ao longo do tempo, já que conta com uma classificação anual desde 1987 até 2023, composta por 39 diferentes usos e cobertura da terra. Para auxiliar nas análises, as classes de uso e cobertura da terra encontrados na bacia foram descritos no Anexo B.

Na Figura 18, são apresentados as 14 classes de uso identificados no ano de 2021 na BRT. Observa-se uma predominância de pastagens e mosaicos de usos, distribuídos por toda a área. As cidades de Loanda - PR (nordeste da bacia, na nascente do rio principal), Santa Isabel

do Ivaí - PR (ao sul de Loanda) e parte de Santa Cruz do Monte Castelo -PR (a oeste de Loanda) destacam-se em vermelho no mapa.

As áreas de formação florestal, representadas em verde escuro, seguem o curso principal do Ribeirão e seus maiores afluentes (matas ciliares). Essas áreas se concentram de forma contínua no trecho final do rio (zoom C na Figura, 18), enquanto nos trechos à montante aparecem de maneira fragmentada. Em Santa Cruz de Monte Castelo (PR), destaca-se uma grande área florestal próxima à zona urbana, identificada pelo Google Earth Pro como pertencente à Sociedade Rural do município (zoom A na Figura, 18).

Figura 18 – Mapa de uso e cobertura da terra da bacia do Ribeirão Tamanduateí (MapBiomas).



Fonte: Autora, 2025.

A Tabela 9 apresenta os usos da terra em ordem decrescente em função do total de área ocupada por cada um deles. A pastagem predomina, com 226,37 km², mais do que o dobro do segundo maior uso, o mosaico de usos. Segundo o MapBiomas (2024), o mosaico de usos refere-se a áreas onde não é possível diferenciar claramente entre pastagem e agricultura,

classificação que traz incertezas para a análise. A diferença entre o mosaico e a formação florestal, o terceiro maior uso, também é marcante, com uma área quase seis vezes maior.

Outro ponto de destaque é a pequena diferença entre as áreas de formação florestal e soja, sendo esta última 8,45 km² menor. Ao somar todas as áreas de cultivo (soja, outras lavouras temporárias, cana, outras lavouras perenes, silvicultura e café), obtém-se um total de 18,78 km², o que corresponde a aproximadamente $\frac{1}{12}$ da área destinada à pastagem. Esses dados apontam que, na bacia do Ribeirão Tamanduateí, os cultivos citados acima desempenham um papel secundário em comparação à pecuária.

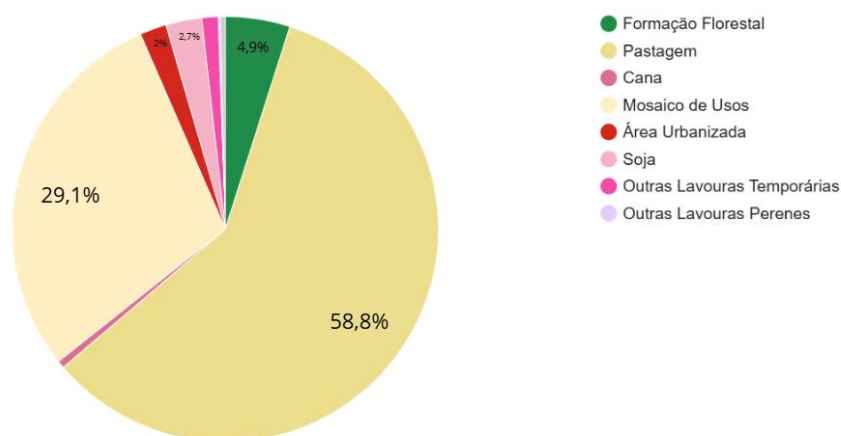
Tabela 9 – Classes de uso da terra (MapBiomas 2021) ordenado de forma decrescente por km².

Tipo de uso	Área (km²)
Pastagem	226,37
Mosaico de Usos	112,14
Formação Florestal	18,86
Soja	10,41
Área Urbanizada	7,85
Outras Lavouras Temporárias	4,81
Cana	2,22
Outras Lavouras Perenes	0,56
Silvicultura	0,41
Café	0,37
Campo Alagado	0,31
Outras Áreas não Vegetadas	0,26
Rio, Lago e Oceano	0,09
Não observado	0,02

Fonte: Autora, 2025.

O Gráfico 5 apresenta os percentuais de cada tipo de uso em relação à área total da bacia, evidenciando que 58,8% da área é destinada à pastagem, 29,1% ao mosaico de usos e 4,9% à cobertura com formação florestal.

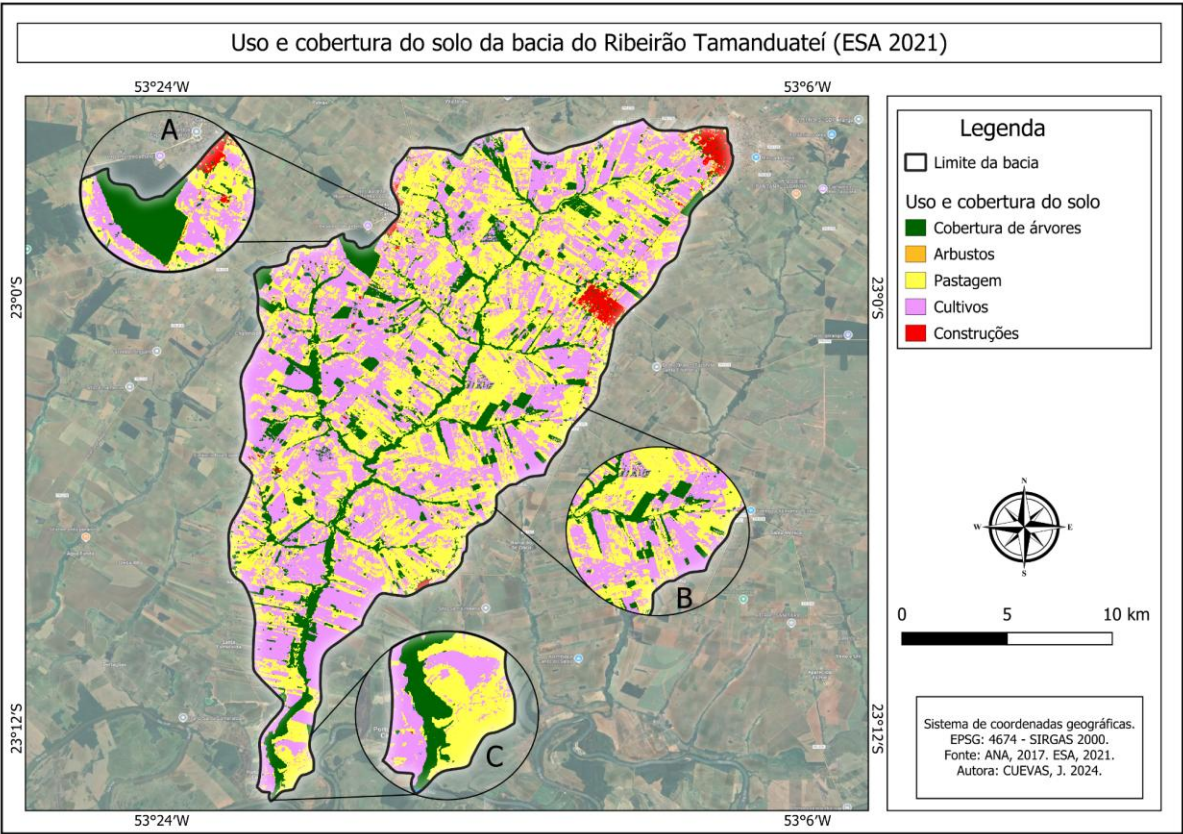
Gráfico 5 – Percentual de área por uso da terra em 2021 (MapBiomias).



Fonte: Autora, 2025.

A partir da análise dos resultados obtidos, especificamente pela incerteza que implica uma grande quantidade de área classificada como mosaico de usos, foi consultada a classificação de uso e cobertura da terra de 2021 da Agência Espacial Europeia, com 10 m de resolução espacial e com uma quantidade de classes menor (11) em comparação com a do MapBiomias (39). A Figura 19 apresenta a classificação de uso e ocupação da terra da ESA para a BRT.

Figura 19 – Mapa de uso e cobertura da terra da bacia do Ribeirão Tamanduateí (ESA).



Fonte: Autora, 2025.

Em comparação com o mapa de uso e cobertura da terra do MapBiomas, a Figura 19, com os dados da ESA, apresenta um panorama bastante diferente. Observou-se que a bacia apresenta um área de cultivos maior e uma área de cobertura de árvores (matas ciliares) mais contínua ao longo dos canais fluviais. Esses aumentos foram verificados nessas duas classes a partir da Tabela 10, a qual são comparados a quantidade de km² por classe entre os dados do MapBiomas e da ESA.

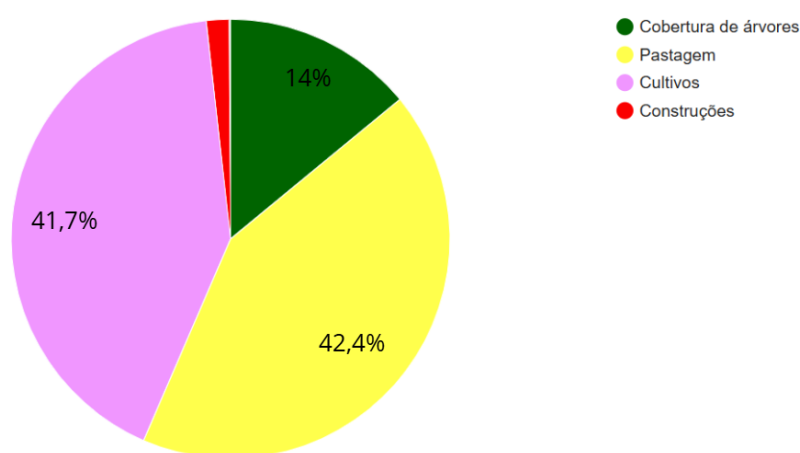
Tabela 10 – Comparação entre os dados do MapBiomas e da ESA.

	Map Biomas	ESA	Diferença de área
Tipo de uso	Área (km²)		
Pastagem	226,37	163,30	63,07
Cultivos	18,78	160,54	141,76
Formação Florestal/ Cobertura de árvores	18,86	54,03	35,17
Área Urbanizada/Construções	7,85	6,41	1,44

Fonte: Autora, 2025.

Os dados do MapBiomias indicam uma forte presença de pastagem na área, o que de forma simples a vista não chama a atenção, pelo histórico uso da terra na região voltado à pecuária, porém com uma proporção de cultivos que gera dúvidas, por ser tão escassos. Em comparação, os dados da ESA, com 63,07 km² de pastagem menos e com 141,76 km² de cultivos a mais, do que o MapBiomias, apresentou uma relação entre pastagem e cultivos mais equilibrada, o qual pode ser observado no Gráfico 6.

Gráfico 6 – Percentual de área por uso do solo 2021 (ESA).

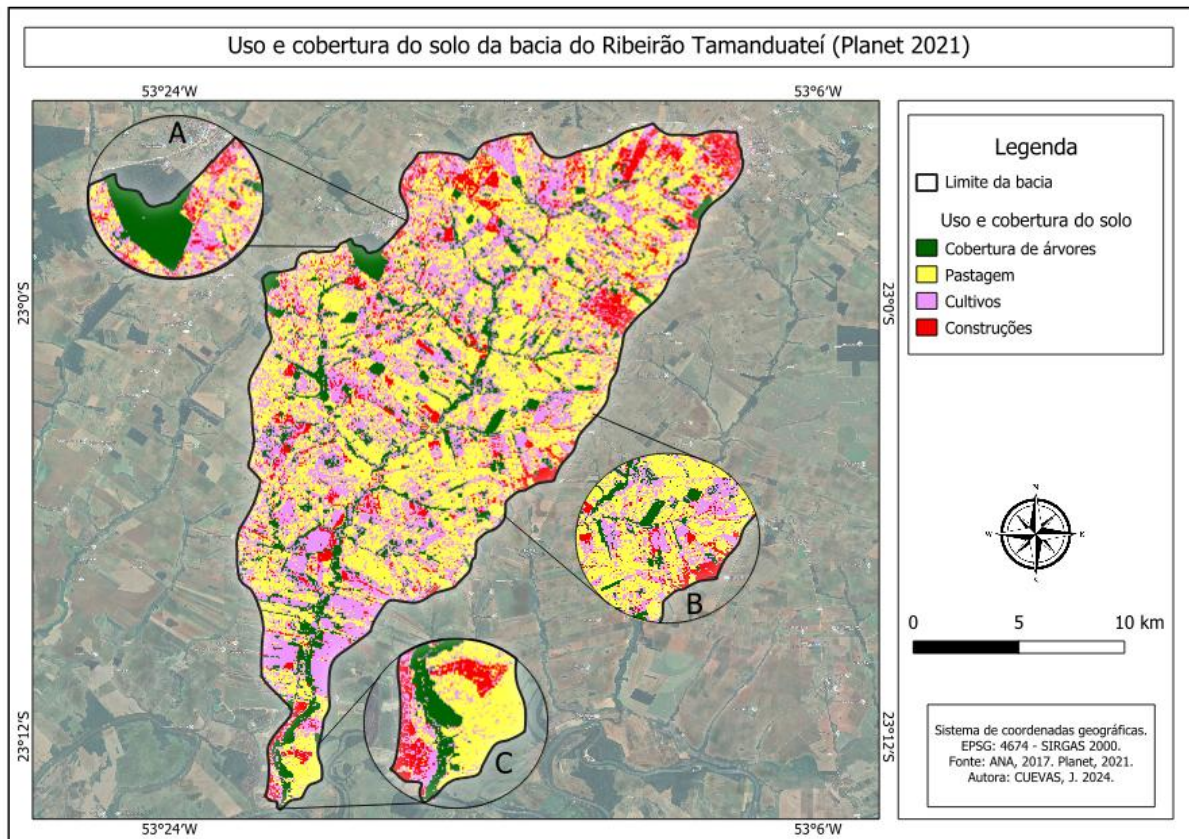


Fonte: Autora, 2025.

Em relação à formação florestal/cobertura de árvores, os dados da ESA mostram uma maior quantidade de área desta classe em comparação aos dados do MapBiomias, de 35,17 km², o que representa uma diferença percentual de 9,1%. Por outro lado, a área urbanizada ou as construções nas duas bases de dados não apresentam uma grande disparidade, sendo que o MapBiomias tem 1,44 km² a mais do que a ESA nessa classe.

Para obter uma maior precisão na identificação do uso e cobertura da terra na BRT, foi realizada uma nova classificação semi-automática no Google Earth Engine, utilizando imagens da Planet® de 2021, com resolução espacial de 4,7 metros. O resultado dessa classificação é apresentado na Figura 20, na qual se obteve um índice Kappa de 0,69, o que, segundo Landis e Koch (1977), indica uma concordância substancial ou muito boa entre as amostras de validação e o resultado da classificação.

Figura 20 – Mapa de uso e cobertura da terra da bacia do Ribeirão Tamanduateí 2021 (Planet®).



Fonte: Autora, 2025.

Na Figura 20, observaram-se semelhanças com a classificação da ESA (Figura 19), especialmente na identificação de áreas de cobertura arbórea e cultivos. Contudo, destaca-se uma maior presença da classe construções (áreas em vermelho), que representam, além das zonas construídas, o solo exposto. Essa diferença pode ser evidenciada ao comparar o zoom C das Figuras 19 e 20. Na Figura 19 (ESA 2021), nota-se a predominância de cultivos à esquerda, e em menor proporção à direita, da vegetação ciliar (verde). Já na Figura 20 (Planet® 2021), essas mesmas áreas aparecem quase inteiramente em vermelho, sugerindo que os cultivos podem ter sido colhidos, deixando o solo exposto.

A maior resolução espacial das imagens da Planet® permite identificar detalhes mais específicos, como estradas e pequenas áreas de solo exposto, que não são detectáveis nas classificações de menor resolução.

Tabela 11 – Classes de uso da terra (Planet® 2021) ordenado de forma decrescente por km².

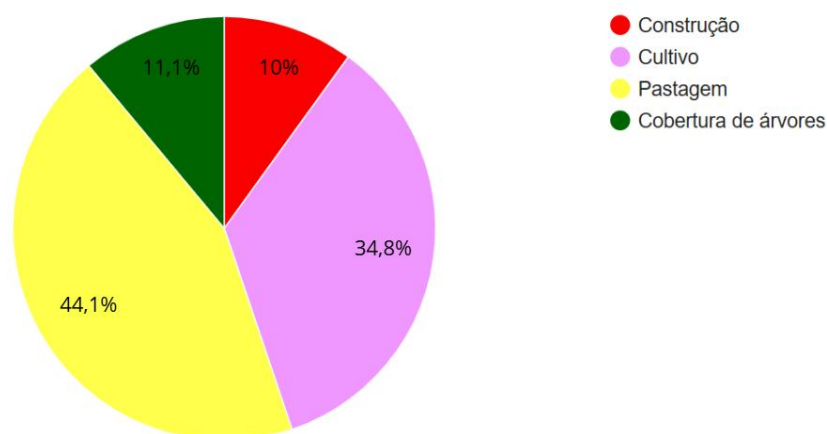
Tipo de uso	Área (km²)
Pastagem	169,72
Cultivos	133,96
Cobertura de árvores	62,60
Construções/solo exposto	38,42

Fonte: Autora, 2025.

Essa expansão da classe de construção/solo exposto é confirmada na Tabela 11, que apresenta a área em km² para cada classe de uso e cobertura da terra. Nota-se uma diferença significativa nessa classe, que é 32,01 km² maior na classificação da Planet® em comparação com a classificação da ESA. Por outro lado, a classe cultivos na ESA apresenta 26,58 km² a mais, enquanto a cobertura de árvores na classificação semi-automática é 8,57 km² maior do que na classificação da ESA.

O Gráfico 7 mostra o quanto os valores da Tabela 11 representam do total da área da BRT.

Gráfico 7 – Percentual de área por uso da terra 2021 (Planet®).



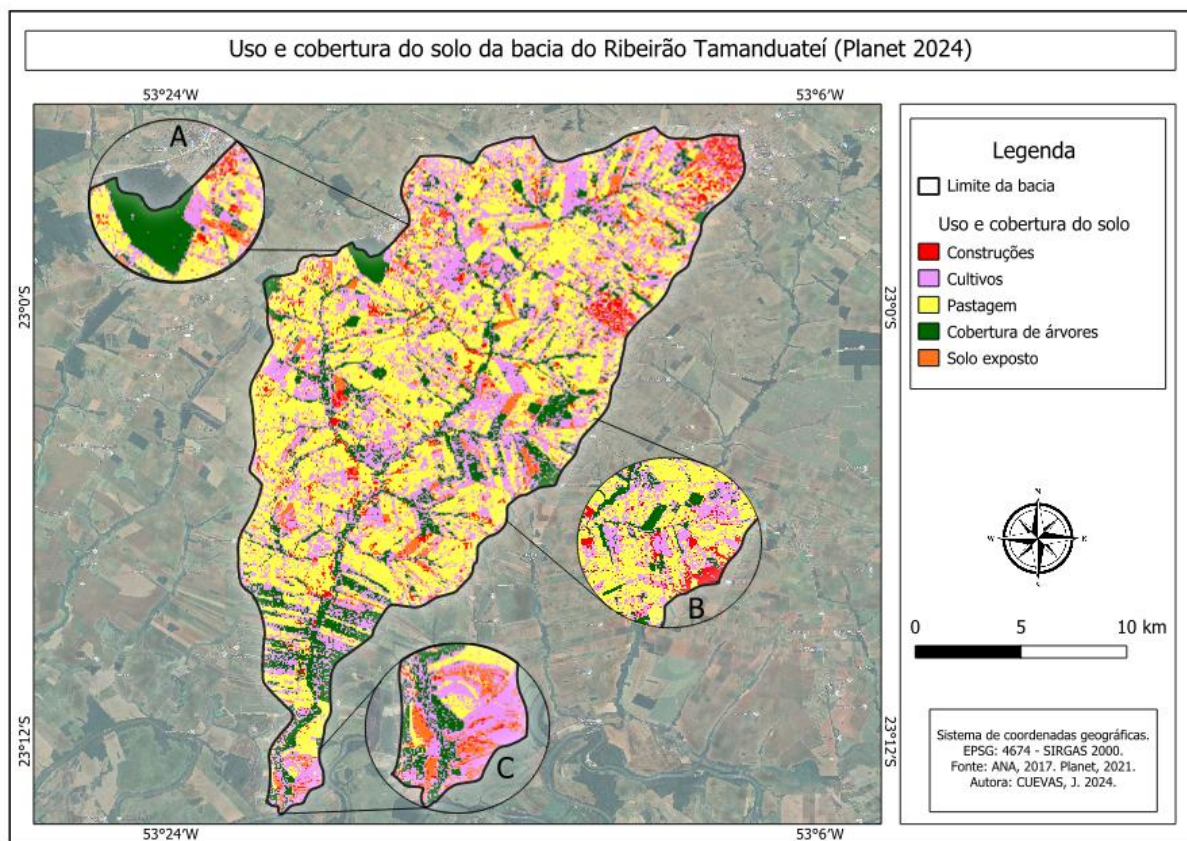
Fonte: Autora, 2025.

5.6.2 - Validação de dados com imagens de drone e observação em campo

Para se obter maior precisão em relação ao uso e ocupação da terra, mais atualizado foi realizada a classificação semi-automática a partir de uma imagem da Planet® de 2024. Visto que a classificação de 2021 indicou zonas de solo exposto como construções. Na classificação

de 2024 foi implementada a classe de solo exposto, para ter uma acurácia melhor, o que foi constatado a partir do índice Kappa que subiu para 0,72, ainda indicando uma concordância muito boa. A Figura 21, apresenta o mapa de uso e cobertura da terra para o ano 2024, no qual se observam áreas de solo exposto (em laranja) que na Figura 20 tinham sido classificadas como construções.

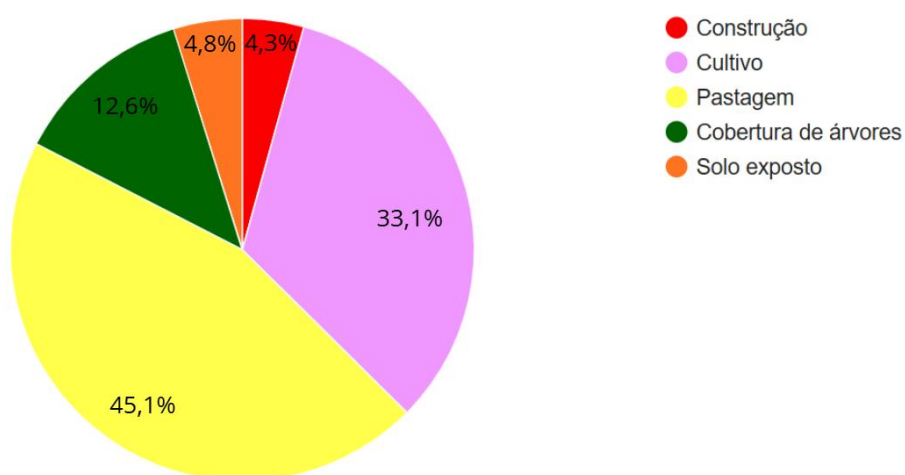
Figura 21 – Mapa de uso e cobertura da terra da bacia do Tamanduateí 2024 (Planet®).



Fonte: Autora, 2025.

No Gráfico 7 a classe de construção representava 10% do total da área, já no Gráfico 8 verificou-se que houve uma redução desta classe por mais da metade (4,3%). Também houve uma pequena diminuição na classe de cultivo, isso se deve a que com a nova classe, áreas que antes tinham sido identificadas como cultivos na nova classificação foram definidas como solo exposto.

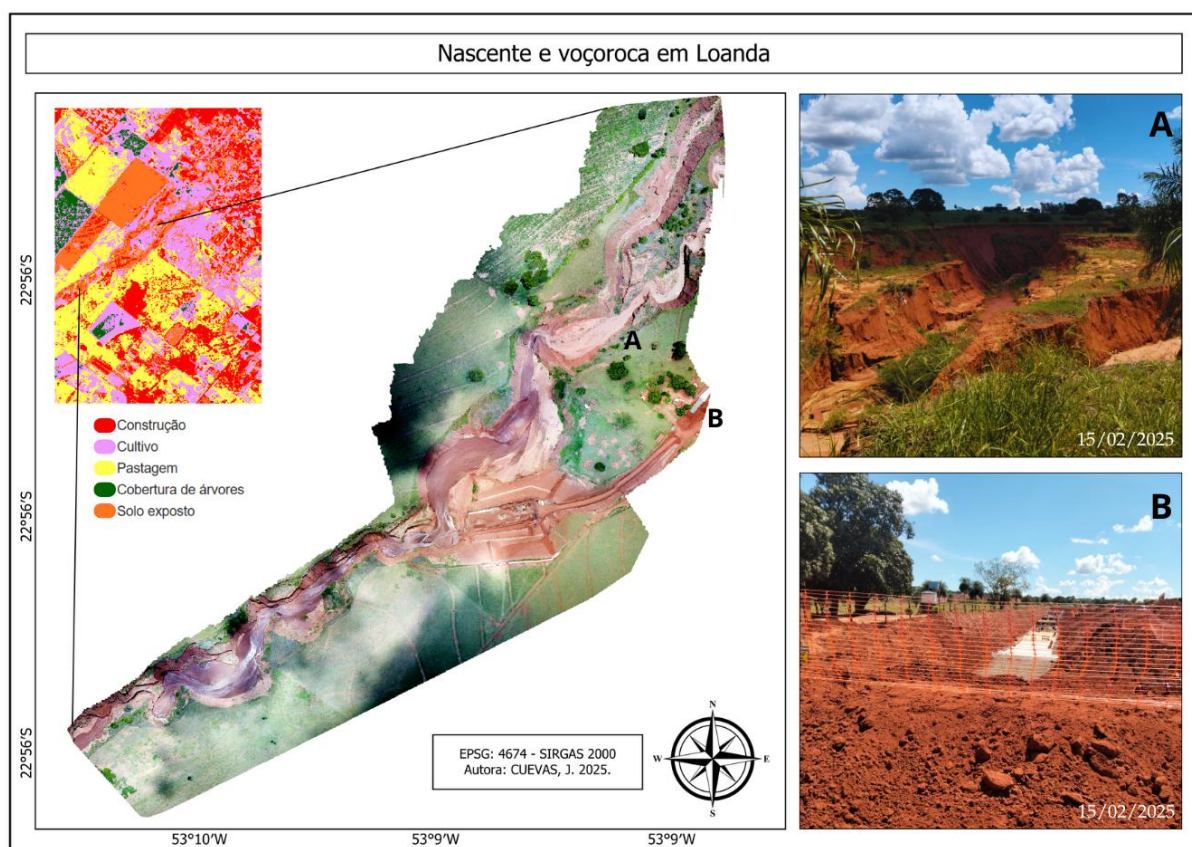
Gráfico 8 – Percentual de área por uso da terra 2024.



Fonte: Autora, 2025.

Os resultados da classificação semi-automática de uso e cobertura da terra em 2024 foram validados em campo por meio de imagens de drone coletadas em três locais. O primeiro, ilustrado na Figura 22, corresponde a uma área periurbana situada nas proximidades da malha urbana de Loanda.

Figura 22 – Mapa da nascente e voçoroca em Loanda (PR).



Fonte: Autora, 2025.

Nesse local, a classificação (Figura 21) indicou predominantemente solo exposto, o que foi confirmado pela observação em campo. Na imagem A da Figura 22, nota-se a presença de solo descoberto e áreas esparsas de grama. Além disso, foram identificados processos avançados de erosão linear, resultando na formação de uma voçoroca com mais de 2 km de extensão. A área ao redor é ocupada por campos de pastagem, o que também foi detectado na classificação (representados em amarelo na Figura 21) e pode ser visualizado nas bordas da voçoroca.

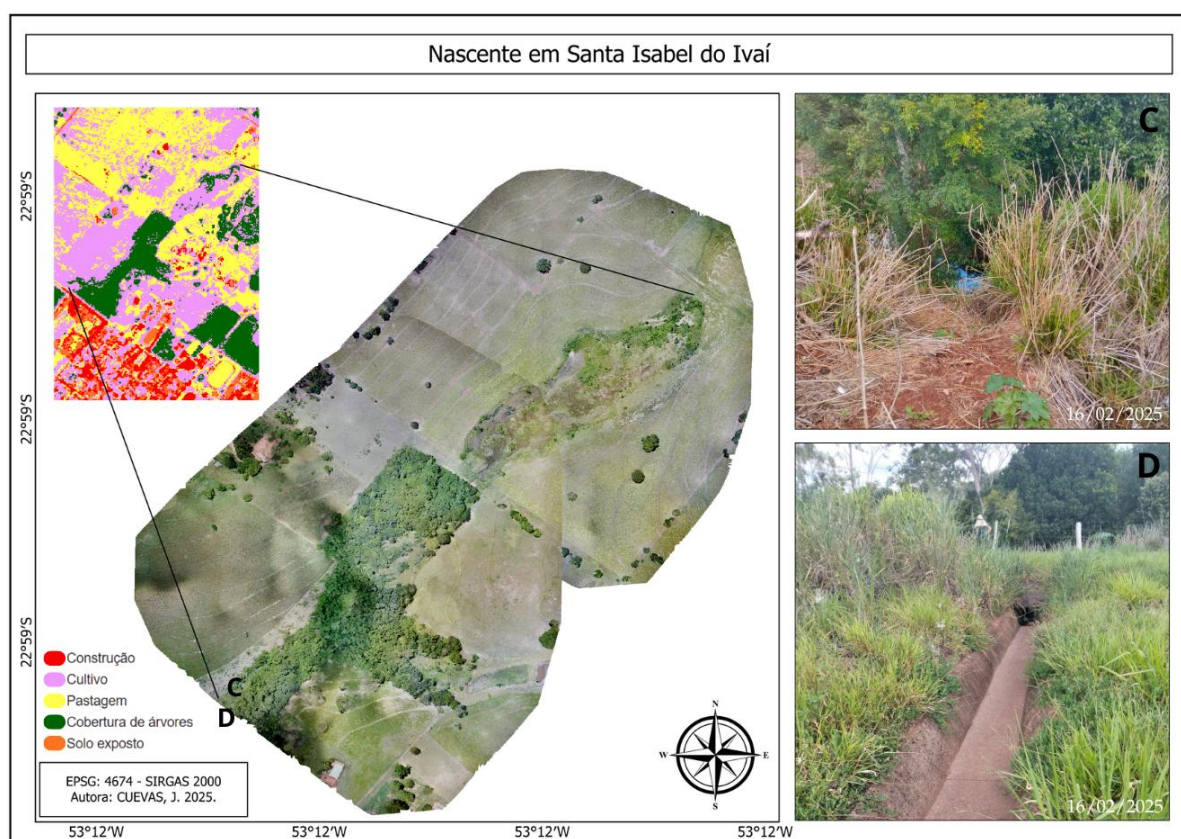
Atualmente, a Itaipu Binacional, em parceria com o Governo do estado, está implementando o asfaltamento do canal de drenagem que conduz a água da cidade de Loanda. A imagem B da Figura 31 evidencia um trecho do canal já pavimentado, o qual vem sendo utilizado para desviar o fluxo de água e direcioná-lo a jusante, evitando que ele contribua para o avanço da voçoroca.

O segundo levantamento de imagens, apresentado na Figura 23, foi realizado em uma nascente localizada em Santa Isabel do Ivaí, às margens da PR-576, em frente a um assentamento informal.

Na classificação, observa-se, em verde, o primeiro trecho de mata ciliar (de baixo para cima), bem definido nas bordas da nascente, seguido por uma área classificada como cultivos e, posteriormente, por pequenas manchas verdes. As imagens do drone (16/02/2025) confirmam parcialmente essa distribuição, evidenciando uma vegetação densa ao redor da nascente no trecho inicial, que logo é interrompida, apresentando poucas árvores. No entanto, o intervalo entre as áreas de cobertura arbórea, classificado como cultivos, não corresponde a essa classe. O mesmo ocorre com as áreas à esquerda e à direita da nascente, que pertencem a propriedades privadas cobertas apenas por grama, possivelmente utilizadas para pastagem.

A imagem C da Figura 23 revela um solo arenoso com pouca vegetação rasteira, com uma declividade até o ponto onde a água pode ser observada, com uma vegetação mais densa ao fundo. Já a imagem D da Figura 23 evidencia a presença de uma calha de escoamento que conduz a água da nascente até a rua. Moradores locais relataram dificuldades relacionadas ao manejo da água e às condições do solo na região.

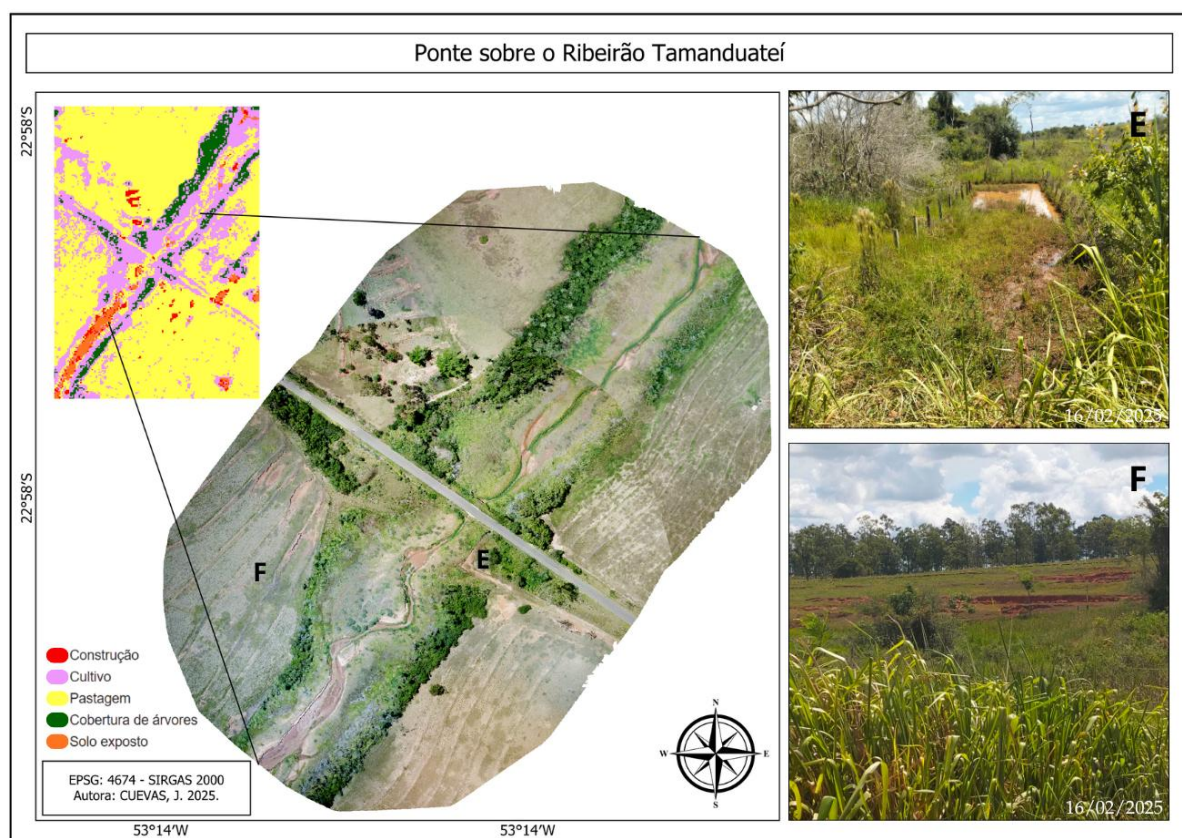
Figura 23 – Mapa da nascente em Santa Isabel do Ivaí (PR).



Fonte: Autora, 2025.

A Figura 24 apresenta o levantamento realizado em uma ponte sobre o Ribeirão Tamanduateí, localizada na PR-576, que delimita os territórios de três municípios. Ao norte da estrada está Loanda, enquanto ao sul, à esquerda do rio, encontra-se Santa Cruz do Monte Castelo, e à direita, Santa Isabel do Ivaí.

Figura 24 – Mapa da ponte sobre o Ribeirão Tamanduateí.



Fonte: Autora, 2025.

A classificação semi-automática apresentou uma correspondência significativa com as observações de campo, embora tenha mostrado algumas imprecisões, especialmente na classe de cultivos. Essa categoria foi identificada na planície de inundação do rio, uma área com vegetação escassa, onde o curso d'água apresenta meandros e margens arenosas. Consequentemente, a classificação indicou a presença de solo exposto (em laranja), sobretudo na porção sul do rio, onde é possível enxergar partes do leito do rio e a concentração de areia nas margens é maior.

A cobertura arbórea nas margens do rio foi bem representada tanto na classificação conforme as imagens de drone. Além disso, a pastagem foi a classe predominante na área, o que foi confirmado em campo.

Na imagem E da Figura 24, observa-se um acúmulo de água próximo ao rio. Já na imagem F, identifica-se a construção de terraços, uma técnica comum na região para aumentar a infiltração da água da chuva e reduzir a erosão da terra.

6 - DISCUSSÃO

A partir dos resultados obtidos pode-se afirmar que a bacia hidrográfica do Ribeirão Tamandateí apresenta características que indicam uma boa drenagem natural. O padrão de drenagem dendrítico, associado ao relevo suavemente ondulado, favorece um escoamento relativamente regular, reduzindo a possibilidade de inundações.

A morfometria da bacia reforça essa condição já que o coeficiente de compacidade (K_c) e o fator de forma (K_f) indicaram uma bacia alongada, o que retarda o escoamento e favorece a infiltração. O índice de circularidade (I_c) obtido confirma essa forma alongada e a menor propensão a enchentes, desde que não ocorra excesso de precipitação. A declividade média e a amplitude altimétrica, revelaram um relevo de baixa energia, contribuindo para o padrão de escoamento mais lento e facilitando a formação de áreas de acumulação de água com tempo propício, para sua infiltração, em função das constatações morfométricas.

As características pluviométricas reforçam esse cenário, já que a região apresenta precipitação anual entre 1.200 e 1.400 mm, com um gradiente crescente no sentido nordeste-sudoeste. O trecho final da bacia, mais ao sul, está mais exposto à influência da Frente Polar Atlântica (FPA), concentrando as maiores precipitações, o que impacta diretamente o uso e cobertura da terra, principalmente nas áreas de várzea (planícies de inundação), onde encontrou-se uma concentração dos cultivos. Isso relaciona-se a maior disponibilidade de água na porção sul, que facilita a implantação de sistemas de irrigação, favorecendo a ampliação das áreas de cultivo e o aumento da produtividade agrícola, como evidenciado nos mapas de uso e cobertura da terra.

A análise do uso e cobertura da terra revelou diferenças importantes entre as fontes de dados utilizadas (MapBiomas, ESA e Planet®). Os dados do MapBiomas apontaram o predomínio de pastagens, além de um grande número de áreas classificadas como mosaico de usos, que dificultam a distinção entre pastagem e agricultura. Em comparação, a classificação da ESA indicou uma maior presença de cultivos e uma área mais contínua de cobertura arbórea ao longo dos cursos d'água.

A classificação semi-automática no Google Earth Engine, com imagens da Planet® de alta resolução, confirmou algumas dessas tendências, mas também trouxe novos elementos. A classe de construções foi maior em comparação à ESA, evidenciando áreas de solo exposto onde os cultivos já haviam sido colhidos, enquanto a cobertura arbórea foi maior do que na ESA, mostrando a relevância das imagens de alta resolução para identificar detalhes mais precisos, como estradas e pequenas áreas de vegetação fragmentada.

Se o estudo tivesse se baseado apenas nos dados do MapBiomias, poderia-se concluir que a pecuária desempenha um papel significativamente mais relevante que a agricultura. No entanto, buscando uma análise mais precisa dessa "realidade" apresentada pelos dados do MapBiomias, a classificação semi-automática revelou que a área de pastagem corresponde a 169,72 km², enquanto a área de cultivos totaliza 133,96 km², mostrando uma diferença não tão expressiva entre os dois usos. Tendência que também foi evidente nos dados da ESA.

Assim, embora a agricultura seja o segundo maior uso da terra, isso não significa que tenha um papel secundário na dinâmica da bacia. A variabilidade dos dados ressalta a importância de integrar diferentes fontes para obter uma análise mais precisa e confiável da dinâmica da paisagem e dos usos do território. Nesse sentido, destaca-se o Índice Kappa, que auxiliou na hora de quantificar, quão confiáveis foram as classificações, sendo 0,65 para 2021 e 0,72 para 2024, ambos índices interpretados como uma concordância muito boa entre amostras e classificação. Essa melhora no índice resulta do refinamento feito nas amostras, que para esta classificação se incluiu a categoria de solo exposto.

Além do Índice Kappa, o trabalho de campo foi fundamental para validar as amostras que foram criadas por interpretação óptica. Como foi verificado nas Figuras 22, 23 e 24, a classificação e o observado em campo tiveram uma concordância satisfatória, porém com a presença de erros, principalmente na classe de cultivos, o qual poderia ser solucionado refinando ainda mais os pontos amostrais dessa classe.

Com base nos resultados obtidos, pode-se afirmar que a bacia do Ribeirão Tamanduateí apresenta ótimas condições morfométricas, pluviométricas e de drenagem, o que indica uma baixa tendência a enchentes, pelo maior tempo de infiltração, e uma boa aptidão para atividades agropecuárias e agrícolas. Contudo, devido às características naturais dos solos da região, a bacia é naturalmente suscetível a processos de erosão linear, como a formação de ravinas e voçorocas, fato que já é perceptível na nascente do rio principal e que autores como Stipp (2006), Santos (2007) e Nóbrega (2023) já tinham alertado na região.

As observações em campo revelaram áreas onde o solo se apresenta predominantemente arenoso, além da compactação evidente em regiões utilizadas para pastagem. Essa suscetibilidade à erosão é intensificada pelo predomínio da atividade pecuária, que contribui para a degradação do solo por meio do pisoteamento e da compactação. Além disso, a expansão urbana e a consequente impermeabilização do solo agravam os processos erosivos, sobretudo devido à drenagem inadequada das águas pluviais.

Diante desse cenário, medidas já estão sendo implementadas pela Itaipu Binacional. Entre as ações adotadas, destacam-se o melhoramento do canal de drenagem, visando um

escoamento mais eficiente da água e a redução do impacto sobre o solo, e o plantio de mudas e árvores nas bordas das voçorocas, contribuindo para a estabilização das margens e a contenção do avanço da erosão. Essas iniciativas são essenciais para minimizar a degradação do solo e garantir maior estabilidade ambiental à região.

Cabe destacar que, como já foi mencionado, a região do Noroeste Paranaense é naturalmente suscetível à erosão linear. Por isso, é fundamental identificar esses processos erosivos a tempo, de modo a evitar que a degradação alcance níveis críticos, como o observado na voçoroca de Loanda, na bacia do Ribeirão Tamanduateí. A adoção de práticas preventivas e conservacionistas é indispensável para conter a progressão da erosão e preservar os recursos naturais da região.

7 - CONSIDERAÇÕES FINAIS

O Google Earth Engine mostrou-se uma ferramenta central para a análise espacial e temporal, permitindo o desenvolvimento de códigos para identificar e quantificar variáveis morfométricas, pluviométricas e de uso e ocupação da terra da área de estudo. A flexibilidade da plataforma possibilitou tanto a espacialização dos fenômenos quanto a realização de cálculos, classificações e a criação de gráficos e tabelas, elementos fundamentais para a análise detalhada das características da bacia em tempo muito mais ágil. Os mapas permitiram uma visão espacial clara das variáveis analisadas, enquanto os gráficos foram essenciais para quantificar as proporções de cada classe e facilitar a interpretação dos resultados.

Um aspecto importante da plataforma é a integração de diversos bancos de dados, que facilitam o acesso a imagens de satélite e *shapefiles*, além da possibilidade de incorporar dados próprios. Essa característica aumenta a reprodutibilidade da pesquisa, uma vez que basta substituir a camada de limite da bacia no código para aplicar o mesmo método em uma área diferente.

Apesar das inúmeras vantagens, um dos maiores desafios foi lidar com inconsistências entre diferentes bancos de dados, tanto nacionais quanto internacionais. Essas diferenças apareceram em vários momentos do estudo, como na delimitação da bacia e, principalmente, na caracterização do uso e cobertura da terra. Para obter uma classificação confiável, foi necessário recorrer a três fontes distintas e validar os resultados em campo por meio de imagens de RPA's. Embora desafiador, esse processo foi enriquecedor, proporcionando uma experiência valiosa no trabalho com dados de diferentes resoluções, o que pode ser útil para outros pesquisadores que enfrentem desafios semelhantes. Além disso, o uso de softwares livres e gratuitos como QGIS®, Google Earth Engine, aplicativos de voo (RPA's) e de processamento de imagens (WebODM®), garantiram acessibilidade do estudo e viabilização de sua reprodutibilidade por outros pesquisadores sem custos adicionais.

A partir do estudo das características morfométricas (lineares, areais e hipsométricas), pluviométricas e do uso e ocupação da terra da Bacia do Ribeirão Tamanduateí foi possível constatar que a mesma apresenta uma tendência de baixa a enchentes, pluviosidade também moderada e condições favoráveis às atividades agropecuárias e agrícolas. No entanto, as características naturais do solo tornam a região suscetível a processos de intemperismo e erosão linear, como a formação de ravinas e voçorocas, como já tinha sido observado por Nóbrega et al. (2023), no seu estudo sobre as voçorocas no Noroeste do Paraná. Esse cenário de

suscetibilidade é agravado pelo predomínio de pastagens e pela expansão urbana, demandando estratégias de manejo sustentável para evitar a degradação ambiental.

Como próximos passos, aventa-se o desenvolvimento de um estudo sobre a suscetibilidade da área à processos erosivos, implementando o método do Processo Analítico Hierárquico (AHP) de critérios ponderados, uso das linguagens R e Python, atreladas ao geoprocessamento e aplicação destes em novas plataformas de dados abertos em formato de *Webmaps*.

Isto permitiria identificar as áreas mais vulneráveis dentro da bacia, contribuindo para uma gestão mais eficiente dos recursos naturais e para a mitigação de riscos ambientais com índices que poderiam aumentar a acurácia dos elementos selecionados, visando a tomada de decisão, por gestores públicos e/ou empreendedores do território.

8 - BIBLIOGRAFIA

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH)**. Portal de Metadados. 2024. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/>. Acesso: 20 mai. 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Catálogo de metadados**. 2024. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/metadata/b228d007-6d68-46e5-b30d-a1e191b2b21f>. Acesso: 20 mai. 2024.

APARECIDO, L. E. de O. et al. **Köppen, Thornthwaite and Camargo climate classifications for climatic zoning in the State of Paraná, Brazil**. Ciência e Agrotecnologia, v. 40, n. 4, p. 405–417, ago. 2016. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/cagro/a/nfcXCJMXKD35kv6DppjpPMY/?lang=en>. Acesso em: 22 jan. 2025.

BALDO, M. C. **Variabilidade pluviométrica e a dinâmica atmosférica na bacia hidrográfica do rio Ivaí-PR**. 2006. 153 f. Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2006.

IBGE. **Bacias e divisões hidrográficas do Brasil**. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. - Rio de Janeiro : IBGE, 2021. 160 p. - (Relatórios Metodológicos, ISSN 0101-2843 ; v. 48). Cooperação: Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). ISBN 978-65-87201-80-1. Disponível em: <https://metadados.snirh.gov.br/geonetwork/srv/spa/catalog.search#/metadata/3d87216f-e45e-41d8-9837-074c1608fb1e>. Acesso em: 28 mai. 2024.

CAMPOS, S. et al. **Geoprocessamento aplicado na caracterização morfométrica da microbacia do Ribeirão Descalvado – Botucatu, SP**. Irriga, Botucatu, Edição Especial, 20 anos Irriga + 50 anos FCA, p. 52-65, 2015 ISSN 1808-3765.

CAMPOS, S.; CAMPOS, M.; SOUZA, T. L.; LEME, M. C.; CURY, L. D. Sistema de informação geográfica aplicado na discriminação morfométrica de bacias hidrográficas. In: AMÉRICO-PINHEIRO, Juliana Heloisa Pinê Américo-Pinheiro; BENINI, Sandra Medina. **BACIAS HIDROGRÁFICAS: fundamentos e aplicações**. 1. ed. Tupã: ANAP, 2018. cap. 2, p. 41 - 55. ISBN 978-85-68242-82-7. Disponível em: https://www.feis.unesp.br/Home/Pos-Graduacao/profagua/bacias_hidrograficas_fundamentos_e_aplicacoes_juliana_heloisa_pin_e_americo_pinheiro_sandra_medina_benini_orgs.pdf. Acesso em: 20 out. 2024.

CLIMATE HAZARDS CENTER. **CHIRPS: Rainfall Estimates from Rain Gauge and Satellite Observations**. UC Santa Barbara. California, 2025. Disponível em: <https://www.chc.ucsb.edu/data/chirps>. Acesso em: 12 jan. 2025.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo, Edgard Blücher, Ed. da Universidade de São Paulo, 1974.

CPTEC/INPE. **Condições atuais do enos: neutralidade**. El Niño e La Niña. 2016. Disponível em: <http://enos.cptec.inpe.br/>. Acesso em: 12 jan. 2025.

CUTLER, A. CUTLER, D. STEVENS, J. Random Forests. 2011. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/236952762_Random_Forests. Acesso em: 04 fev. 2025.

DJI. **Informações da zona GEO**. 2025. Disponível em: <https://fly-safe.dji.com/nfz/nfz-query>. Acesso em: 16 fev. 2025.

European Space Agency (ESA). **About WorldCover**. 2025. Disponível em: <https://esa-worldcover.org/en/about/about>. Acesso em: 29 jan. 2025.

FARR, T. G. et al. **The shuttle radar topography mission: Reviews of Geophysics**, v. 45, no. 2, RG2004, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1029/2005RG000183>. Acesso em: 07 abr. 2024.

FIGUEIREDO, D. **Conceitos básicos de Sensoriamento Remoto**. 2015.

FITZ, P. R. **Geoprocessamento sem complicações**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008.

FLORENZANO, T. G. **Iniciação em sensoriamento remoto**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007.

FLORENZANO, T. G. **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011.

FRANÇA, E. M. S., PINTO, J. E. S. S. **Análise de parâmetros morfométricos na microbacia do riacho Flamengo em Garanhuns, PE**. Caderno de Geografia, v. 31, n. 64, 2021. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/349419850_Analise_Analise_de_parametros_morfometricos_na_microbacia_do_riacho_Flamengo_em_Garanhuns_PE. Acesso em: 15 out. 2024.

FUNK, C. et al. **The climate hazards infrared precipitation with stations-a new environmental record for monitoring extremes**. Scientific Data 2, 150066, 2015. Disponível em: doi:10.1038/sdata.2015.66. Acesso em: 07 abr. 2024.

GORELICK, N.; HANCHER, M.; DIXON, M.; ILYUSHCHENKO, S.; THAU, D.; MOORE, R. **Google Earth Engine: planetary-scale geospatial analysis for everyone**. Remote Sensing

of Environment, v. 202, p. 18-27, 2017. ISSN 0034-4257. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>. Acesso em: 13 maio 2024.

IAT. **Enquadramento Base Hidrográfica do Paraná**. Catálogo de dados. GeoPR. 2023. Disponível em: <https://geopr.iat.pr.gov.br/portal/home/item.html?id=544f8c62791c468f80785312bce3b6a5>. Acesso em: 05 set. 2024.

IAT. **Grandes Bacias Hidrográficas**. Catálogo de dados. GeoPR. 2024. Disponível em: <https://www.geoparana.pr.gov.br/Pagina/Catalogo-de-Dados>. Acesso em: 05 set. 2024.

IBGE. **Manual técnico de pedologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2015. 430 p. il. (Manuais técnicos em geociências, ISSN 0103-9598; n. 4). Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=295017>. Acesso em: 06 abril 2024.

ITCG. **Mapa de clima**. 2008. Disponível em: https://www.iat.pr.gov.br/sites/agua-terra/arquivos_restritos/files/documento/2020-07/mapa_climas_a3.pdf. Acesso em: 01 nov. 2024.

JENSEN. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/7955588/mod_resource/content/1/Sensoreamento%20Remoto%20do%20Ambiente%20-%20Capi%CC%81tulo%201.pdf Acesso em: 01 dez. 2024.

LANDIS, J.R.; KOCH, G.G. **The measurement of observer agreement for categorical data**. Biometrics, v.33, n.1, p. 159-174, 1977. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/2529310?origin=crossref>. Acesso em: 15 jan. 2025.

LEITE, R. V. et al. **Caracterização morfométrica da bacia do rio pirapetinga, resende - RJ**. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/geouerj/article/view/69217/46087>. Acesso em: 10 dez. 2024.

LIU, W. T. H. **Aplicações de sensoriamento remoto**. Campo Grande: Ed. UNIDERP, 2006.

MAPBIOMAS. **Códigos da legenda**. Uso e cobertura da terra. 2024. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/codigos-de-legenda/>. Acesso em: 18 oct. 2024.

MAPBIOMAS. **Coleção 9.0 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil**. 2024. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas/>. Acesso em: 30 jul. 2024.

MAPBIOMAS. **Descrição das classes da legenda da coleção 9 do mapbiomas brasil.** 2024. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/wp-content/uploads/sites/4/2024/08/Legenda-Colecao-9-Descricao-Detalhada-PDF-PT.pdf>. Acesso em: 03 jan. 2025.

MAPBIOMAS. **O Projeto.** 2024. Disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/o-projeto/>. Acesso em: 30 jul. 2024.

MENESES, P. R.; ALMEIDA, T. (org.). **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto.** Brasília: 2012.

MIOTO C. L. et al. **Morphometric Characterization of Watersheds Using Free GIS Softwares.** Anuário do Instituto de Geociências, v. 37, n. 2, p. 16–16, 28 nov. 2014. DOI: https://doi.org/10.11137/2014_2_16_22. Acesso em: 20 out. 2024.

MONTEIRO, C. A. F. **Clima.** In: INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (Ed.). Geografia do Brasil: Grande Região Sul. Rio de Janeiro, v.4, n.18,Tomo I., p.114-166, 1968.

NÓBREGA, M. T. de; SILVEIRA, H.; CUNHA, J. E. da .; BECKAUSER, M. C. .; BONIFÁCIO, C. M. .; BALDO, M. C. As voçorocas no Noroeste do Paraná: locais preferenciais de ocorrência na paisagem. Revista Brasileira de Geomorfologia, [S. l.], v. 24, n. 00, 2023. DOI: 10.20502/rbgeomorfologia.v24i00.2367. Disponível em: <https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/2367>. Acesso em: 20 mar. 2025.

OLIVEIRA, J. G. J. et al. **Space-temporal detection of environmental changes in the Brazilian semiarid through Google Earth Engine and GIS.** Journal of South American Earth. Sciences, v. 127, p. 104403, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2023.104403>. Acesso em: 02 mai. 2024.

OMM. <https://wmo.int/es/media/news/se-preve-que-el-nino-de-paso-la-nina-este-mismo-ano> 2024.

PESSOA NETO, A. G.; SOARES, A. E.; SILVA, S.; MONTENEGRO, S. **Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Jaboatão, em Pernambuco, utilizando Modelos Digitais de Elevação provenientes de sensor LiDAR.** Journal of Hyperspectral Remote Sensing, 2021. 11. 242. 10.29150/2237-2202.2021.252364. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/363396860_Caracterizacao_morfometrica_da_bacia_hidrografica_do_rio_Jaboatao_em_Pernambuco_utilizando_Modelos_Digitais_de_Elevacao_provenientes_de_sensor_LiDAR. Acesso em: 15 out. 2024.

PESSOA NETO, A. G.; SILVA, S. R.; BARBOSA, I. M. B. R. **Caracterização Morfométrica da Bacia Hidrográfica do Rio Duas Unas, em Pernambuco.** Revista Brasileira de Geografia Física, [S. l.], v. 16, n. 6, p. 3149–3167, 2023. DOI: 10.26848/rbgf.v16.6.p3149-3167.

Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/index.php/rbgfe/article/view/258933>. Acesso em: 15 out. 2024.

PGADMIN. **Desktop Deployment — pgAdmin 4 8.13 documentation**. 2024. Disponível em: https://www.pgadmin.org/docs/pgadmin4/development/desktop_deployment.html. Acesso em: 13 nov. 2024.

PGADMIN-ORG. **pgadmin4**. 2017. Disponível em: <https://github.com/pgadmin-org/pgadmin4/blob/master/README.md>. Acesso em: 13 nov. 2024.

PLANET. **Company**. 2025a. Disponível em: <https://www.planet.com/company/>. Acesso em: 03 fev. 2025.

PLANET. **NICFI Program - Satellite Imagery and Monitoring**. 2025b. Disponível em: <https://www.planet.com/nicfi/>. Acesso em: 03 fev. 2025.

POSTGRESQL. PostgreSQL: About. 2019. Disponível em: <https://www.postgresql.org/about/>. Acesso em: 13 nov. 2024.

RODERJAN, C.; GALVÃO, F.; KUNIYOSHI, Y. S.; HATSCHBACH, G.G. As unidades fitogeográficas do Estado do Paraná. *Ciência & Ambiente*. 24. 75-92, 2002. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/285892213_As_unidades_fitogeograficas_do_Estado_do_Parana. Acesso em: 10 mar. 2025.

SANTOS, L. J. C.; OKA-FIORI, C.; CANALI, N. E.; FIORI, A. P.; SILVEIRA, C. T. da; SILVA, J. M. F. da; ROSS, J. L. S. **Mapeamento Geomorfológico do Estado do Paraná**. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, [S. l.], v. 7, n. 2, 2006. DOI: 10.20502/rbg.v7i2.74. Disponível em: <https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/74>. Acesso em: 20 mai 2024.

SANTOS, L. J. C.; OKA-FIORI, C.; CANALI, N. E.; FIORI, A. P.; SILVEIRA, C. T. da; SILVA, J. M. F. da. **Mapeamento da vulnerabilidade geoambiental do estado do Paraná**. *Revista Brasileira de Geociências*, [s. l.], p. 812-820, 2007. DOI: 10.25249/0375-7536.2007374812820. Acesso em: 24 mai 2024.

SCHUMM, S. A. 1956. **Evolution of drainage systems and slopes in badlands of Perth Amboy**. *Geological Society of America Bulletin*, 67: 597-646.

ŞENER, M.; ARSLANOĞLU, M.C. **Morphometric analysis in Google Earth Engine: An online interactive web-based application for global-scale analysis**. *Environmental Modelling & Software*, Volume 162, 2023. ISSN 1364-8152. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2023.105640>. Acesso em: 20 jun 2024.

SILVA, C. S. P.; ARRAES, K. A.; MOTTA FILHO, L. M. S.; BARBOSA, A. H. S.; MOREIRA, M. M. **Análise espaço-temporal da cajucultura no semiárido potiguar: um**

estudo do município de Serra do Mel-RN. Caderno de Geografia, v. 33, n. 72, 2023. ISSN 2318-2962. DOI: 10.5752/p.2318-2962.2023v33n.72p.72. Acesso em: 24 mai 2024.

SILVA, C. V. T.; RIBEIRO FILHO, J. C.; SILVA, P. C. M.; LEMOS FILHO, L. C. A.; BRASIL, J. B. **Caracterização morfométrica, uso e ocupação de uma bacia hidrográfica.** Revista Engenharia Na Agricultura - REVENG, 25(5), 436–444. 2017. DOI: <https://doi.org/10.13083/reveng.v25i5.828>. Acesso em: 15 out. 2024.

SILVA, I. C. O.; ALVES, R. E.; RODRIGUES, T. L. **Análise de variáveis morfométricas extraídas a partir de imagem srtm para elaboração de mapa pedológico.** Jataí, Goiânia: Geoambiente on-line, 2013. ISSN: 1679-9860.

SILVA, J. L. de S.; COSTA, R. M.; ZAIDAN, R. T. **Aplicação da análise morfométrica de bacias hidrográficas como subsídio ao entendimento dos processos crescentes de inundações na malha urbana da cidade de Ubá-Mg.** Caminhos de Geografia, Uberlândia, v. 22, n. 82, p. 201–214, 2021. DOI: 10.14393/RCG228255911. Disponível em: <https://seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/55911>. Acesso em: 15 out. 2024.

SOLÓRZANO, J. V. V.; PERILLA, G. A. S. **Cómo usar Google Earth Engine y no fallar en el intento.** 2022. DOI: <https://doi.org/10.22201/ciga.9786073066969e.2022>. Acesso em: 01 jun 2024.

STIPP, M. E. F. **A ocupação do solo e a problemática da arenização e do voçorocamento no município de Paranavaí/PR.** Tese (Doutorado em Geografia Física) — Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006. DOI: <https://doi.org/10.11606/T.8.2007.tde-04062007-145520>. Acesso em: 24 maio 2024.

SOUSA, Henrique Ferreira. **Evolução da ocupação urbana e da morfometria na Bacia Hidrográfica do Rio Anhangabaú (São Paulo - SP) entre os anos de 1930 e 2020.** 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021. Disponível em: <https://bdta.abcd.usp.br/directbitstream/089d3671-5552-4d34-9f25-c7fc4233e2b6/2021.HenriqueFerreiraSousa.TGI.pdf>. Acesso em: 20 out. 2024.

TONELLO, K. et al. **Morfometria da bacia hidrográfica da cachoeira das Pombas, Guanhões - MG.** R. Árvore, Viçosa-MG, v.30, n.5, p.849-857, 2006 Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/rarv/a/Lst9NTwexpCs8dGtd638x4f/?format=pdf&lang=pt>>. Acesso em: 10 dez. 2024.

TORRES, F. T. P. **Introdução à hidrogeografia.** São Paulo: Cengage Learning, 2012. (Textos básicos de geografia) ISBN: 9788522112241.

USGS - U.S. GEOLOGICAL SURVEY. **Earth Explorer**. 2023. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 11 jun. 2024.

VALERIANO, M. M. **Topodata: Guia Para Utilização De Dados Geomorfológicos Locais**. São José dos Campos, SP. 2008. Disponível em: <http://mtc-m16c.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m18@80/2008/07.11.19.24/doc/publicacao.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2024.

VILLELA, S. M; MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil. 1975. 245p.

9 - ANEXOS

ANEXO A – Códigos utilizados.

Script 1 – Índices morfométricos

```
//Bacia
var baloanda = ee.FeatureCollection('projects/ee-julietacgeo/assets/bacia_tamanduatei_otto_n7');

//Rios
var rios = ee.FeatureCollection('projects/ee-julietacgeo/assets/ribeirao_tamanduatei_dissolve');
var RioUnic = rios.first()
var ComprimentoTot = RioUnic.geometry().length().divide(1000); // Comprimento em quilômetros (número)
var ComprimentoFormatado = ComprimentoTot.format('%2f'); // Opcional, para exibir com 2 casas decimais
print('Comprimento do rio:', ComprimentoFormatado); // Exibir o comprimento

//Palette
var palettes = require('users/gena/packages/palettes');

//Map.addLayer(bacias);
Map.addLayer(baloanda);
Map.addLayer(rios, {color: 'blue'});
Map.centerObject(baloanda, 10);

// ÁREA E PERÍMETRO

var unicaFeicao = baloanda.first();

var area = unicaFeicao.geometry().area(); // Área em metros quadrados
var perimetro = unicaFeicao.geometry().perimeter(); // Perímetro em metros

var A = area.divide(1000000);
var P = perimetro.divide(1000);

//*****CARACTERISTICAS DA REDE DE DRENAGEM *****
// DENSIDADE DE DRENAGEM
var Ltot = ComprimentoTot;
var Dd = Ltot.divide(A);

print('Densidade de Drenagem (Dd):', Dd);

//COEFICIENTE DE MANUTENÇÃO

var numero1 = ee.Number(1)
var cm1 = numero1.divide(Dd)
var Cm = cm1.multiply(1000)

print('Coeficiente de manutenção (Cm):', Cm);
```

```

//SINUOSIDADE

var rioprinc = ee.Number(49.08)
var linha = ee.Number(38.48)
var Sin = rioprinc.divide(linha)

print('Sinuosidade (Sin):', Sin);

//*****CARACTERISTICAS DE RELEVO *****

//SRTM
var srtm = ee.Image("USGS/SRTMGL1_003").clip(baloanda)
var palette_srtm = palettes.kovesi.rainbow_bgyr_35_85_c72[7];
var parVizSrtm = {min: 243, max: 490, palette: palette_srtm};

Map.addLayer(srtm, parVizSrtm, "SRTM")

// ALTITUDE MÁXIMA
var Amax = srtm.reduceRegion({
  reducer: ee.Reducer.max(),
  geometry: baloanda,
  scale: 30,
  maxPixels: 1e8
});

print('Altura máxima da área (m):', Amax.get('elevation'));

// ALTITUDE MÍNIMA
var Amin = srtm.reduceRegion({
  reducer: ee.Reducer.min(),
  geometry: baloanda,
  scale: 30,
  maxPixels: 1e8
});

print('Altura mínima da área (m):', Amin.get('elevation'));

// AMPLITUDE ALTIMETRICA

var getmax = Amax.get('elevation');
var getmin = Amin.get('elevation');

var Amaxnum = ee.Number(getmax);
var Aminum = ee.Number(getmin);

var AA = Amaxnum.subtract(Aminum);

print('Amplitude altimétrica da área (m):', AA);

//DECLIVIDADE DO RIO PRINCIPAL

//INDICE DE RUGOSIDADE

```

```

var ir1 = AA.multiply(Dd);
var ir = ir1.format("%.2f")

print('Índice de Rugosidade (Ir):', ir);

//RAÇÃO DO RELEVO
var Rrel = AA.divide(49.08)
var Rr = Rrel.format("%.2f")
print('Ração de Relevo (Rr):', Rr)

//*****CARACTERISTICAS GEOMETRICAS *****

// ÁREA E PERÍMETRO

var unicaFeicao = baloanda.first();

var area = unicaFeicao.geometry().area(); // Área em metros quadrados
var perimetro = unicaFeicao.geometry().perimeter(); // Perímetro em metros

// Convertendo a área para quilômetros quadrados (1 km² = 1.000.000 m²) e o o perímetro para quilômetros (1
km = 1.000 metros)
var A = area.divide(1000000);
var P = perimetro.divide(1000);

// Formatação dos valores com duas casas decimais usando o método format()
var areaFormatada = A.format("%.2f");
var perimetroFormatado = P.format("%.2f");

print('Área (km²):', areaFormatada);
print('Perímetro (km):', perimetroFormatado);

// COEFICIENTE DE COMPACIDADE KC

var kc1 = P.divide(A.sqrt());
var kc2 = kc1.multiply(0.28);

// Garantindo que o resultado de KC não seja nulo ou inválido
var kc = kc2.format("%.2f");
print('Coeficiente de compacidade (Kc):', kc);

// FATOR DE FORMA
var numero = ee.Number(49.08);
var L2 = numero.pow(2);
var kf = A.divide(L2)
print('Coeficiente de forma (Kf):', kf);

// INDICE DE CIRCULARIDADE
var ic1 = P.pow(2)
var ic2 = A.divide(ic1);
var ic = ic2.multiply(12.57);
print('Índice de Circularidade (ic):', ic);

```

Script 2 – Elevação e declividade

```
//Selecionar o SRTM (30m) e recortar na área da Itaipu
var roi = ee.FeatureCollection('projects/ee-julietacgeo/assets/bacia_tamanduatei_otto_n7');

var SRTM = ee.Image("USGS/SRTMGL1_003").clip(roi)

//Calcular declividade
var decliv = ee.Terrain.slope(SRTM)

//Declividade para percentual
var porcentagem_SRTM = decliv.divide(180).multiply(Math.PI).tan().multiply(100).rename("Porcentual");

//Adicionar as imagens ao mapa e centralizar na área
Map.addLayer(SRTM, {palette:["white", "yellow", "orange", "red", "brown"], min:0, max: 1298}, "SRTM")
Map.addLayer(porcentagem_SRTM, {palette:["white", "yellow", "orange", "red", "brown"],min:0, max: 2},
"Declividade")
Map.centerObject(roi)

//Exportar a SRTM no Drive
Export.image.toDrive({
  image: SRTM,
  folder: 'GEE',
  description: 'elevacao',
  region: roi,
  scale: 30,
  maxPixels: 1e13
})

//Exportar a declividade percentual no Drive
Export.image.toDrive({
  image: porcentagem_SRTM,
  folder: 'GEE',
  description: 'declividade',
  region: roi,
  scale: 30,
  maxPixels: 1e13
})
```

Script 3 – Pluviosidade

```
var baloanda = ee.FeatureCollection('projects/ee-julietacgeo/assets/bacia_tamanduatei_otto_n7')

//Selecionando coleção
var chirps = ee.ImageCollection("UCSB-CHG/CHIRPS/DAILY")
    .filterBounds(geo)
    .filter(ee.Filter.date('1995-01-01', '2024-12-31'));

print('chirps', chirps.size())

//Acumulando os dados de precipitação por pixel
var precipitation = chirps.select('precipitation').sum().clip(geo);
```

```

//Definiendo valores de visualização
var precipitationVis = {
  min: 638.10,
  max: 770.77,
  palette: ['#bcdcfce', '#b3f8ff', 'cyan', 'blue', 'purple'],
};

//Definiendo valores de visualização classificação
var precipitationVis2 = {
  min: 1,
  max: 5,
  palette: ['#bcdcfce', '#b3f8ff', 'cyan', 'blue', 'purple'],
};

//Acionando o layer
Map.addLayer(precipitation, precipitationVis, 'Precipitação');

//Criando amostras aleatóreas
var samples = precipitation.addBands(ee.Image.pixelLonLat())
  .sample({region: geo, numPixels:200,
    scale:1000, projection: 'EPSG:4326'})
  .map(function(sample){
    var lat = sample.get('latitude');
    var lon = sample.get('longitude');
    var prec = sample.get('precipitation');
    return ee.Feature(ee.Geometry.Point([lon, lat]), {prec: prec});
  });

//Imprimir para visualizar as imagens
print('Imprimir amostras: ', samples)

//Adicione os valores das amostras
Map.addLayer(samples, {color: 'blue'}, 'Sample Point');

//Exportar os pontos
Export.table.toDrive({
  collection: samples,
  description: 'Pontos_valores_pluv24',
  folder: 'GEE',
  fileNamePrefix: 'pontos_2024',
  fileFormat: 'SHP'
})

```

Script 4 – MapBiomias

```

// Definir o recorte espacial
var roi = ee.FeatureCollection('projects/ee-julietacgeo/assets/bacia_tamanduatei_otto_n7');

// Definir o recorte temporal
var ano = 2023;

// Chamar a coleção para o ano 2023

```

```

var mb23 = ee.Image('projects/mapbiomas-
public/assets/brazil/lulc/collection9/mapbiomas_collection90_integration_v1').clip(roi).select('classification_'
+ ano);

// Visualizar as propriedades
print(mb23);

// Visualizar a coleção e selecionar os anos
Map.addLayer(mb23, vis, 'MapBiomas col 9 - ' + ano, true);
Map.centerObject(roi, 10);

//Exportar no Drive
Export.image.toDrive({
  image: mb23,
  folder: 'GEE',
  description: 'LULC23',
  region: roi,
  scale: 30,
  maxPixels: 1e13
})

```

Script 5 – ESA

```

//Selecionar a imagem da ESA e recortar na área da Itaipu
var roi = ee.FeatureCollection('projects/ee-julietacgeo/assets/bacia_tamanduatei_otto_n7');
var ESA = ee.ImageCollection("ESA/WorldCover/v200").first().clip(roi);

//Adicionar as imagens ao mapa e centralizar na área
Map.addLayer(ESA);
Map.centerObject(roi, 10);

// Dicionário de mapeamento no servidor
var classNames = ee.Dictionary({
  10: 'Cobertura de árvores',
  20: 'Arbustos',
  30: 'Pastagem',
  40: 'Cultivos',
  50: 'Construções',
  60: 'Vegetação nua',
  70: 'Snow and ice',
  80: 'Corpos de água',
  90: 'Zona herbácea úmida',
  95: 'Manguezais',
  100: 'Musgo e líquen'
});

// Função para calcular área por classe
var Areaxclasse = function(image, region) {
  var areaImage = ee.Image.pixelArea().addBands(image);
  var areas = areaImage.reduceRegion({
    reducer: ee.Reducer.sum().group({
      groupField: 1,
      groupName: 'classe',
    }),
    geometry: region.geometry(),
    scale: 10,
  });

```

```

        maxPixels: 1e10
    });

    var classeAreas = ee.List(areas.get('groups'));

    // Converter a lista de grupos em um FeatureCollection
    var featureCollection = ee.FeatureCollection(classeAreas.map(function(item) {
        var areaDict = ee.Dictionary(item);
        var classNumber = ee.Number(areaDict.get('classe')).toInt();
        var className = classNames.get(classNumber);
        var area = ee.Number(areaDict.get('sum')).divide(1e6); // km²
        return ee.Feature(null, {
            'classe': className,
            'area_km2': area
        });
    }));

    return featureCollection;
};

// Calcular as áreas por classe
var resultados = Areaxclasse(ESA, roi); // Passamos "roi" como a imagem e "sbrt" como a região

// Criar gráfico de pizza
var chart = ui.Chart.feature.byFeature({
    features: resultados,
    xProperty: 'classe',
    yProperties: ['area_km2']
})
.setChartType('PieChart')
.setOptions({
    title: 'Percentual de Área (km²) por tipo de uso de solo',
    colors: ['#006400', '#ffbb22', '#ffff4c', '#f096ff', '#fa0000', '#b4b4b4', '#f0f0f0', '#0064c8', '#0096a0', '#00cf75',
    '#fae6a0'],
    legend: { position: 'right' }
});

// Exibir o gráfico no console
print(chart);

//Exportar a imagem no Drive
Export.image.toDrive({
    image: ESA,
    folder: 'GEE',
    description: 'lulc_esa',
    region: roi,
    scale: 10,
    maxPixels: 1e13
});

```

Script 6 – Classificação semi-automática Planet

```

var roi = ee.FeatureCollection('projects/ee-julietacgeo/assets/bacia_tamandatei_otto_n7');
//var image = ee.Image('projects/ee-julietacgeo/assets/planet_brt_2021_12').clip(roi);
var image = ee.Image('projects/ee-julietacgeo/assets/imagen_planet_BRT').clip(roi);

//armar as classes
var classes = construcoes.merge(cultivos).merge(pastagem).merge(cobertura_arvores).merge(solo_exposto);
print(classes)

```

```

var treinamento = image.sampleRegions({
  collection: classes,
  properties: ['classe', 'label'],
  scale: 4.7})
print(treinamento)

// Amostra de treinamento e teste (70% para treinamento, 30% para teste)
var withRandom = treinamento.randomColumn('random', 123);
var trainingSample = withRandom.filter(ee.Filter.lt('random', 0.7));
var testSample = withRandom.filter(ee.Filter.gte('random', 0.7));

// Treinamento do classificador
var classificador = ee.Classifier.smileRandomForest(250).train({
  features: trainingSample,
  classProperty: 'classe',
  inputProperties: ['b4', 'b3', 'b2', 'b1']
});

var classificacao = image.classify(classificador)
print(classificacao)

Map.addLayer(classificacao, {palette: ['#fa0000', '#f096ff', '#ffff4c', '#006400', '#ff7420'], min: 1, max:5},
'Classificação');

var nombres = ['construcoes', 'cultivos', 'pastagem', 'cobertura_arvores', 'solo_exposto'];
var renombre = classificacao.eq([1, 2, 3, 4, 5]).rename(nombres);
print(renombre)

// Classificar as amostras de teste
var classifiedTest = testSample.classify(classificador);

// Calcular a matriz de confusão
var confusionMatrix = classifiedTest.errorMatrix('classe', 'classification');
print('Matriz de Confusão', confusionMatrix);

// Calcular métricas de acurácia
print('Acurácia geral:', confusionMatrix.accuracy());
print('Coeficiente Kappa:', confusionMatrix.kappa());
print('Exatidão do Usuário (por classe):', confusionMatrix.consumersAccuracy());
print('Exatidão do Produtor (por classe):', confusionMatrix.producersAccuracy());

//Cálculo de área
var area = renombre.multiply(ee.Image.pixelArea().divide(1e6));
var areaxclasse = area.reduceRegion({
  reducer: ee.Reducer.sum(),
  geometry: roi,
  scale: 4.7,
  maxPixels: 1e13

});

var areatotal = ee.Number(areaxclasse)
print(areatotal)

//Área x classe
// Dicionário de mapeamento no servidor
var classNames = ee.Dictionary({
  1: 'Construção',
  2: 'Cultivo',
  3: 'Pastagem',

```

```

4: 'Cobertura de árvores',
5: 'Solo exposto'
});
// Função para calcular área por classe
var Areaxclasse = function(image, region) {
  var areaImage = ee.Image.pixelArea().addBands(clasificacao); // Certifique-se de que "image" é do tipo Image
  var areas = areaImage.reduceRegion({
    reducer: ee.Reducer.sum().group({
      groupField: 1, // Campo de agrupamento (o índice de classe)
      groupName: 'classificação', // Nome do campo da classe
    }),
    geometry: roi,
    scale: 4.7,
    bestEffort: true,
    maxPixels: 1e10,
    tileScale: 16
  });
  var classeAreas = ee.List(areas.get('groups'));

  // Converter a lista de grupos em um FeatureCollection
  var featureCollection = ee.FeatureCollection(classeAreas.map(function(item) {
    var areaDict = ee.Dictionary(item);
    var classNumber = ee.Number(areaDict.get('classificação')).toInt();
    var className = classNames.get(classNumber); // Mapeia o número para o nome usando o dicionário
    var area = ee.Number(areaDict.get('sum')).divide(1e6); // km²
    return ee.Feature(null, {
      'classificação': className, // Usa o nome da classe
      'area_km2': area
    });
  }));

  return featureCollection;
};
// Calcular as áreas por classe
var resultados = Areaxclasse(Areaxclasse, roi);
// Criar gráfico de pizza
var chart = ui.Chart.feature.byFeature({
  features: resultados,
  xProperty: 'classificação',
  yProperties: ['area_km2']
})
.setChartType('PieChart')
.setOptions({
  title: 'Percentual de área correspondente a cada uso do solo',
  colors: ['#fa0000', '#f096ff', '#ffff4c', '#006400', '#ff7420'],
  legend: { position: 'right' }
});
// Exibir o gráfico no console
print(chart);

//Export
Export.image.toDrive({
  image: clasificacao.clip(roi),
  description: 'classificacao_planet_2024_SE',
  folder: 'GEE',
  region: roi,
  scale: 4.7,
  maxPixels: 1e13
})

```

ANEXO B – Legenda dos tipos de uso presentes na bacia conforme o MAPBIOMAS (2023).

Tipo de uso	Descrição
Pastagem	Áreas de pastagem plantadas, diretamente relacionadas à atividade agropecuária. As áreas de pastagem natural, por sua vez, são predominantemente caracterizadas como formações campestres ou campo alagado, podendo ser submetidas ou não a práticas de pastejo.
Mosaico de Usos	Áreas de uso agropecuário onde não foi possível distinguir entre pastagem e agricultura. Pode incluir áreas de ocupação periurbana, como chácaras, sítios e condomínios.
Formação Florestal	Floresta Ombrófila Densa, Aberta e Mista e Floresta Estacional Semi-Decidual, Floresta Estacional Decidual e Formação Pioneira Arbórea.
Soja	Áreas cultivadas com a monocultura da soja (primeira safra).
Área Urbanizada	Áreas com significativa densidade de edificações e vias, incluindo áreas livres de construções e infraestrutura.
Outras Lavouras Temporárias	Áreas ocupadas com cultivos agrícolas de curta ou média duração, geralmente com ciclo vegetativo inferior a um ano, que após a colheita necessitam de novo plantio para produzir.
Cana	Áreas cultivadas com a monocultura da cana-de-açúcar.
Outras Lavouras Perenes	Áreas ocupadas com cultivos agrícolas de ciclo vegetativo longo (mais de um ano), que

permitem colheitas sucessivas, sem necessidade de novo plantio. Nessa versão, o mapa abrange majoritariamente áreas de caju, no litoral do nordeste.

Silvicultura	Espécies arbóreas plantadas para fins comerciais (ex. pinus, eucalipto, araucária).
Café	Áreas cultivadas com a monocultura do café.
Outras Áreas não Vegetadas	Áreas de superfícies não permeáveis (infra-estrutura, expansão urbana ou mineração) não mapeadas em suas classes.
Campo Alagado	Vegetação com influência fluvial e/ou lacustre.
Rio, Lago e Oceano	Rios, lagos, represas, reservatórios e outros corpos d'água.
Não observado	Áreas bloqueadas por nuvens ou ruído atmosférico, ou com ausência de observação.

Fonte: MAPBIOMAS (2023). Adaptado: Autora (2025).