

DOI: [https:// 10.59824/rmrh.v6.346](https://10.59824/rmrh.v6.346)

**ANÁLISE DA MORFOMETRIA DA BACIA HIDROGRÁFICA BACIA DO RIO LÚRIO,
MOÇAMBIQUE: uma ferramenta para a gestão sustentável dos recursos hídricos**
*MORPHOMETRY ANALYSIS OF THE LURIO RIVER BASIN, MOZAMBIQUE: a tool for
sustainable water resource management*

Isac Toaya Mussama¹Hélio Geraldo Ubisse²Raul Flávio Hilario³Gervásio Castro Morais Magaia⁴Tânia Andicene⁵**RESUMO**

A gestão sustentável dos recursos hídricos exige o conhecimento detalhado das características físicas das bacias hidrográficas, especialmente em regiões onde os recursos naturais enfrentam pressões crescentes. A bacia hidrográfica do rio Lúrio, uma das principais fontes de água que drena as províncias de Niassa, Cabo Delgado, Nampula e Zambézia, regiões de grande importância ecológica e econômica de Moçambique. Apesar de sua importância, a bacia não possui uma análise morfométrica abrangente para subsidiar práticas de conservação e manejo adequadas. Com isso, a pesquisa tem como objetivo analisar a morfometria do Rio Lúrio, contribuindo para o debate sobre os problemas de gestão sustentável dos recursos hídricos na região. Para isso, serão destacadas a densidade de drenagem, fator de forma, coeficiente de compacidade, coeficiente de manutenção, índice de circularidade e razão de alongação. Foram

¹Mestrando em Ciências do Ambiente na Universidade Federal do Tocantins (UFT). Graduação em Engenharia Ambiental e dos Recursos Naturais pela Universidade Zambeze (UniZambeze) – e-mail: isacmussama7@gmail.com *Autor correspondente

²Doutorando em Ciências do Ambiente na UFT. Mestrado em Ambiente e Desenvolvimento Sustentável das Comunidades pela Universidade Save. Graduação em Geografia pela Universidade pela Universidade Mondlane. Docente no Instituto Superior Mutasa (ISMU) – e-mail: hujasubisse@gmail.com

³Doutorando em Ciências Ambientais na UFT. Mestrado em Ambiente e Desenvolvimento Sustentável das Comunidades na Faculdade de Ciências Naturais e Exacta da UniSave Massinga. Licenciatura em ensino de Geografia e História na Universidade Pedagógica Sagrada Família (UniSaf). Bacharelato em ensino Geografia e História na Universidade Pedagógica Sagrada Família (UniSaf) – e-mail: rhilario@isced.ac.mz

⁴Mestrando em Recursos Naturais pela Universidade Federal de Mato Grosso do Sul (UFMS). Graduação em Engenharia de Construções Rurais e Ordenamento do pela UniZambeze. Docente Universitário da UniZambeze – e-mail: gervasio.magaia@ufms.br

⁵Doutorando em Saúde Pública da Universidade de São Paulo (USP). Mestrado em Saúde Pública pela Universidade Católica de Moçambique (UCM). Licenciatura em Administração e Gestão Hospitalar pela Universidade Católica de Moçambique (UCM). Docente da UCM – e-mail: andicenetania@gmail.com

processadas imagens SRTM e Sentinel-2 no software ArcGIS indicando um relevo predominante é plano (75,66%), com altitudes entre 467 e 588 metros (28,63%). Os solos mais representativos são os vermelhos (Rhodic Ferralsols ou Ferralíticos) de textura média (39,99%). Em termos de cobertura vegetal, as pastagens ocupam 71,55% da área, seguidas por vegetação (26,39%), com destaque para vegetação esparsa (43,69%) e bastante esparsa (30,02%). Os resultados morfométricos mostraram que a bacia possui área de 61.370,50 km², densidade de drenagem 0,13 km/km², coeficiente de compactidade 1,90 e formato alongado, indicando baixa capacidade de drenagem. Esses resultados são fundamentais para a gestão sustentável dos recursos hídricos e o planejamento territorial, oferecendo suporte técnico para políticas públicas e intervenções voltadas à conservação ambiental e ao desenvolvimento equilibrado da região.

Palavras-chave: morfometria; gestão hídrica; planejamento territorial.

ABSTRACT

Sustainable water resource management requires a detailed understanding of the physical characteristics of river basins, particularly in regions where natural resources are under increasing pressure. The Lúrio River Basin, one of the most relevant water sources draining the provinces of Niassa, Cabo Delgado, Nampula, and Zambézia, holds significant ecological and economic relevance in Mozambique. Despite its importance, the basin lacks a comprehensive morphometric analysis to inform effective conservation and management practices.

This study aims to evaluate the morphometric characteristics of the Lúrio River Basin, contributing to the debate on sustainable water resource management in the region. Key parameters analyzed include drainage density, form factor, compactness coefficient, maintenance coefficient, circularity index, and elongation ratio. Remote sensing data from SRTM and Sentinel-2 were processed using ArcGIS software, revealing that the predominant terrain is flat (75.66%), with altitudes ranging from 467 to 588 meters (28.63%). The most representative soils are red (Rhodic Ferralsols or Ferralitic), with medium texture (39.99%). In terms of land cover, pastures dominate 71.55% of the basin, followed by vegetation (26.39%), particularly sparse (43.69%), and very sparse vegetation (30.02%).

The morphometric analysis indicates that the basin covers an area of 61,370.50 km², has a drainage density of 0.13 km/km², a compactness coefficient of 1.90, and an elongated shape — characteristics associated with low drainage efficiency. These findings are critical for informing sustainable water resource management and regional land-use planning, providing technical guidance for public policies and strategic environmental conservation efforts aimed at promoting balanced regional development.

Keywords: morphometry; water management; territorial planning.

Data de submissão: 24/01/2025

Data de aprovação: 09/07/2025

1 INTRODUÇÃO

Embora cerca de 77% da superfície terrestre seja coberta por água, a disponibilidade e qualidade desse recurso variam significativamente, limitando o acesso seguro à água potável e compromissos produtivos em diversas regiões do mundo (Tomas *et al.*, 2021; Sjöstrand, 2023). As bacias hidrográficas constituem unidades fundamentais para a compreensão dos processos hidrológicos, uma vez que representam áreas naturais onde a precipitação converge para um ponto de descarga, controlando o fluxo de água e sedimentos (Christopher *et al.*, 2010; Rastogi; Sharma, 2022; López-Ramos *et al.*, 2022; Fischer, 2024). As características físicas dessas bacias como forma geométrica, extensão da rede de drenagem, declividade e volume influenciam diretamente a dinâmica hidrológica, impactando a gestão dos recursos hídricos e a mitigação de riscos ambientais (Zhang *et al.*, 2024; Li *et al.*, 2024).

Recentemente, o avanço em Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e técnicas de sensoriamento remoto têm ampliado a capacidade de análise espacial e temporal das bacias hidrográficas, proporcionando ferramentas para o monitoramento detalhado e a modelagem hidrológica (Song *et al.*, 2024; Li *et al.*, 2024). A gestão eficaz das bacias contribui para a redução dos impactos de processos erosivos, inundações e deslizamentos, aumentando a resiliência ambiental e social das regiões afetadas (Meshram *et al.*, 2018; Benzougagh *et al.*, 2022; Wang & Xie, 2024). Entretanto, em áreas de alta vulnerabilidade, especialmente na África subsaariana, ainda existe carência de estudos morfométricos abrangentes que possam orientar intervenções sustentáveis e a conservação dos ecossistemas hídricos (Khadse *et al.*, 2015; Meshram *et al.*, 2018; Tang & Adesina, 2022).

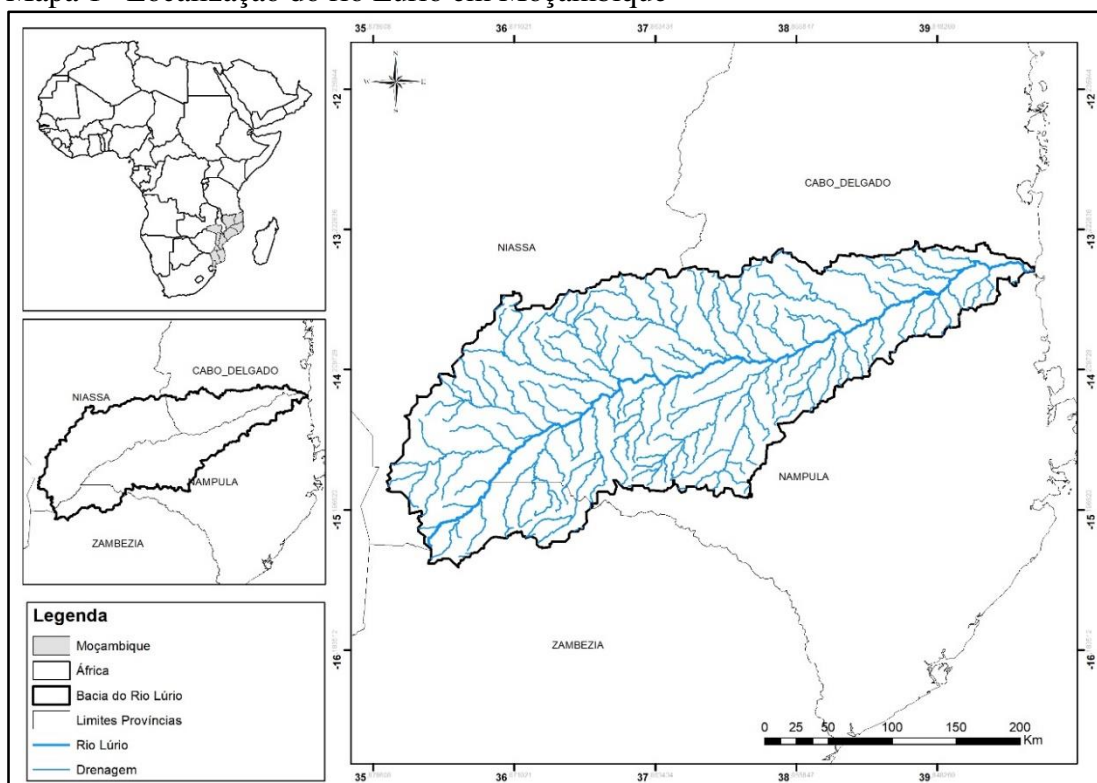
No contexto moçambicano, a bacia hidrográfica do rio Lúrio, que abrange as províncias de Niassa, Cabo Delgado, Nampula e Zambézia, desempenha papel estratégico para a sustentabilidade ambiental e socioeconômica regional. Contudo, enfrenta desafios decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais, erosão do solo e degradação ambiental, comprometendo a segurança hídrica e a qualidade de vida das populações locais (Muchanga, 2016; Nhassengo *et al.*, 2021; Martins *et al.*, 2021). Assim, a presente pesquisa visa analisar a morfometria e as características físicas da bacia, fornecendo subsídios técnicos para o planejamento ambiental e territorial que promovam a gestão integrada e sustentável dos recursos naturais do rio Lúrio.

2. METODOLOGIA

2.1. Caracterização fisiográfica da área de estudo

O Rio Lúrio está localizado no nordeste de Moçambique, na Província de Cabo Delgado. Ele nasce na região montanhosa, na área central da província, e segue em direção ao norte até desaguar no Oceano Índico, perto da cidade de Pemba, que é a capital da província de Cabo Delgado. A bacia hidrográfica do rio Lúrio possui aproximadamente 695,82 km de extensão, desde sua nascente localizada no Monte Malema, a uma altitude superior a 1.000 metros, até sua desembocadura próxima ao Posto Administrativo de Lúrio. Esta bacia constitui a maior unidade hidrográfica inteiramente situada em território moçambicano, abrangendo uma área estimada em cerca de 61.370,50 km² (MAPA 1). Ademais, o rio Lúrio exerce função geoespacial relevante ao delimitar administrativamente as províncias de Zambézia e Nampula ao sul, bem como Niassa e Cabo Delgado ao norte.

Mapa 1– Localização do rio Lúrio em Moçambique



Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

2.1.1. Geologia

A bacia hidrográfica do rio Lúrio situa-se numa região geologicamente complexa, refletindo a diversidade tectônica e litológica do norte de Moçambique. O norte do país é caracterizado principalmente por formações do Proterozóico, enquanto o Sul apresenta formações do Fanerozóico (Vasconcelos, 2010). A área compreende blocos tectônicos distintos, resultantes das colisões que formaram o supercontinente Gondwana, nomeadamente os blocos Gondwana Este, Oeste e Sul, separados por estruturas tectônicas importantes, como o Cinturão do Lúrio (Lúrio Tectonic Belt) e a Zona de Cisalhamento de Sanângoè (Sanângoè Shear Zone).

Na bacia, predominam rochas do bloco litosférico Gondwana Sul, com registros desde o Arcaico até o Neoproterozóico, incluindo greenstone belts compostos por rochas vulcanoclásticas básicas a ultrabásicas, metassedimentos e granitóides (GTK, 2006; Vasconcelos, 2010). As formações paleoproterozóicas associam-se a ambientes marinhos pericratônicos e apresentam complexos metamórficos com gnaisses, quartzitos e calcossilicatos, afetados por múltiplos episódios tectono-metamórficos (GTK, 2008). Os sedimentos fanerozóicos que recobrem a planície costeira incluem o Supergrupo do Karoo e formações relacionadas ao Sistema do Rifte do Leste Africano, evidenciando processos geodinâmicos vinculados à fragmentação do Gondwana e à instalação da Grande Província Ígnea do Karoo (~190 Ma) (Vasconcelos & Jamal, 2010).

2.1.2. Solos

Os solos da bacia do rio Lúrio refletem a diversidade geomorfológica e litológica local, predominando solos argilosos vermelhos, classificados como Rhodic Ferralsols, típicos de zonas planálticas, variando de cores vermelha a alaranjada e amarelada conforme a topografia (Banze, 2016). Solos arenosos lixiviados, como Ferralic Arenosols e Haplic Arenosols, também ocorrem, sobretudo em dunas costeiras e coberturas arenosas interiores. Nas áreas aluviais, predominam Fluvisols de textura média a pesada, sujeitos a inundações periódicas. Solos hidromórficos variam de arenosos a argilosos, presentes em depressões (“dambos”), com classificações como Gleysols e Phaeozems. Encostas superiores e topos são dominados por solos vermelhos a amarelos, com boa drenagem e textura argilosa, típicos de áreas mais elevadas (GTK, 2008; Banze, 2016).

2.1.3. Clima

O clima na bacia do rio Lúrio é classificado entre semiárido a subúmido seco, com precipitação média anual aproximada de 1.029 mm, variando entre 800 a 1.200 mm em grande parte da região, podendo exceder 1.500 mm localmente, configurando microclimas subúmidos chuvosos. A evapotranspiração potencial anual situa-se entre 1.300 e 1.500 mm, indicando um balanço hídrico deficitário em algumas áreas (Banze, 2016). As temperaturas médias anuais oscilam entre 20 °C e 25 °C, com picos acima de 25 °C durante o período de crescimento agrícola, o que influencia diretamente o regime hidrológico e o potencial produtivo da bacia.

2.1.4. Hidrografia

A bacia do rio Lúrio integra o sistema hidrográfico do norte de Moçambique, caracterizado por rios de regime predominantemente pluvial e intermitente. Os cursos d'água, nascidos em áreas interiores, drenam em direção ao Oceano Índico, atravessando gradientes topográficos variados, desde planaltos até planícies costeiras (Muchangos, 1999). O rio Lúrio é o principal curso d'água da bacia, abastecendo comunidades locais e sustentando atividades agrícolas e pesqueiras. O regime hídrico apresenta variações sazonais acentuadas, o que condiciona o uso dos recursos hídricos e demanda planejamento para garantir a segurança hídrica da população.

2.1.5. Uso da Terra e Cobertura Vegetal

A ocupação do solo na bacia do Lúrio é marcada por uma predominância de agricultura de subsistência, com pequenas propriedades familiares cultivando principalmente culturas como banana, milho, girassol, gergelim, batata-doce e abóbora. Áreas maiores destinam-se ao caju, algodão e tabaco, enquanto zonas com irrigação suportam hortaliças e outras culturas de rendimento (Bolfe *et al.*, 2011). A cobertura vegetal natural está significativamente reduzida nas áreas próximas a grandes vias de transporte, onde a agricultura é intensiva, enquanto regiões mais afastadas apresentam florestas densas decíduas, sempre verdes e abertas, além de formações herbáceas e florestas abertas de baixa altitude. A textura dos solos, geralmente média a pesada, juntamente com a drenagem moderada a boa, influencia os padrões de uso e a dinâmica da vegetação nativa.

2.2. Atividades económicas

A bacia do rio Lúrio, apresenta crescimento sustentado, impulsionado por setores diversificados como recursos naturais, agricultura, pecuária, pesca, mineração e construção civil (GOVERNO DA PROVÍNCIA DE NAMPULA - GPN, 2015). O subsolo de Cabo Delgado é rico em diversos minérios. A província é mundialmente famosa pelos seus rubis de alta qualidade, explorados principalmente no distrito de Montepuez. Além dos rubis, existem depósitos significativos de grafite, ouro, mármore e areias pesadas (Chichango *et al.*, 2022). A exploração madeireira, embora importante, tem sido também um vetor de preocupações ambientais. A base produtiva é majoritariamente agrícola, com cerca de 8% da área total ocupada, destacando-se as culturas alimentares como milho, arroz, mandioca, feijão e hortícolas, e as culturas de rendimento, como castanha de caju, algodão, girassol e tabaco (Banze, 2016).

O crescimento do setor agropecuário foi o mais expressivo, atingindo 12,8% entre 2013 e 2014, seguido pela pesca (12,3%) e construção (11,6%), resultando em um crescimento econômico global de 11,7% no período (GPN, 2015). A produção pecuária apresentou expansão, com destaque para a criação de bovinos, suínos e pequenos ruminantes.

No setor pesqueiro, a produção em 2014 totalizou 56.584 toneladas, sendo 99% provenientes da pesca artesanal. Este volume representa um crescimento de 97,9% em relação ao ano anterior, refletindo a importância socioeconômica do setor.

Os recursos minerais, incluindo ouro, fosfatos, areias pesadas e gemas, são explorados principalmente de forma artesanal. A extração mineral, embora significativa para a subsistência local, é realizada com técnicas rudimentares, contribuindo para o desperdício de recursos hídricos e a degradação ambiental.

Apesar de o uso atual dos recursos hídricos corresponder a menos de 1% do volume disponível estimado em 189 milhões de m³ anuais o rio Lúrio apresenta elevado potencial para o desenvolvimento sustentável, com possibilidades de expansão para os setores agrícola, industrial e energético (Nascimento, 2018).

2.2 Análise morfométrica

Foram utilizados arquivos vetoriais (*shapefiles*) dos limites administrativos disponibilizados pelo Centro Nacional de Cartografia e Teledeteção (CENTRO NACIONAL DE CARTOGRAFIA E TELEDETECÇÃO - CENACARTA, 2016), os quais serviram de base

para a demarcação da área de estudo e elaboração do mapa de localização da bacia. Para a análise topográfica, empregaram-se Modelos Digitais de Elevação (MDE) oriundos do projeto *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), com resolução espacial de 30 metros, acessados por meio da plataforma TOPODATA (TOPODATA, 2023). Esses dados foram fundamentais para a derivação de produtos altimétricos como curvas de nível, modelos de declividade e hipsometria.

Imagens multiespectrais do satélite Sentinel-2, fornecidas pela Agência Espacial Europeia (ESA), foram utilizadas na avaliação do uso e cobertura da terra, bem como na análise da vegetação por meio do cálculo do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI). Para esse fim, utilizaram-se as bandas 4 (vermelho) e 8 (infravermelho próximo), ambas com resolução espacial de 10 metros, assegurando acurácia espectral adequada à detecção de padrões vegetacionais e variações fenológicas (ESA, 2023).

A extração, classificação e interpretação dos dados espectrais foram conduzidas utilizando a plataforma *Esri Landscape Monitoring System* (Esri, 2022), que fornece mosaicos periódicos e corrigidos de imagens Sentinel-2, otimizados para análise temática de cobertura vegetal e uso da terra. Os dados foram processados e integrados em um banco de dados geoespacial construído no software ArcGIS, o qual permitiu a manipulação vetorial e raster, bem como a geração de mapas temáticos de alta precisão.

A análise morfométrica da bacia foi conduzida com base em parâmetros obtidos a partir do MDE e dos arquivos vetoriais de rede hidrográfica e limites da bacia, processados no ambiente SIG. Conforme exemplificado na Tabela 1, utilizou-se a Calculadora de Campo (*Field Calculator*) do ArcGIS® para derivar métricas como área, perímetro, índice de compacidade, fator de forma, densidade de drenagem e índice de circularidade (Christofoletti, 1974; Chorley *et al.*, 1985). Esses parâmetros são fundamentais para a compreensão do comportamento hidrológico da bacia, auxiliando na identificação de áreas prioritárias para conservação e uso sustentável dos recursos naturais.

Tabela 1 – Características morfométricas de bacias hidrográficas

(Continua)

Índice	Equação	Variáveis
Densidade de Drenagem (Dd)	$Dd = \frac{Lt}{A}$	Lt é o comprimento total do curso d'água; e A é área da bacia hidrográfica.

ator de Forma	$K_f = \frac{A}{L_x^2}$	A é a área da bacia (km ²); L _x é o comprimento do rio principal (km).
Coefficiente de Compacidade (K _c)	$K_c = 0,282 \frac{P}{\sqrt{A}}$	K _c é o coeficiente de compacidade, adimensional; P é o perímetro da bacia, km; e A é a área de drenagem, km ²
Coefficiente de Manutenção (C _m)	$C_m = \left(\frac{1}{Dd}\right) \cdot 100$	C _m , é o coeficiente de manutenção, m ² m ⁻¹
Índice de Circularidade	$IC = \frac{A}{A_c}$	I _c é o índice de circularidade; A _c é a área do círculo com o mesmo perímetro da bacia em (Km ²).
Razão de Elongação	$R_e = 1,1284 \frac{\sqrt{A}}{L_x}$	A é a área da bacia (km ²); L _x é o comprimento do rio principal (km).

Fonte: Villela e Mattos, (1975); Pallard *et al.*, (2009); Nardini *et al.*, (2013); Silva e Tonello, (2014); Melo Neto e Mello (2015)

A metodologia adotada está em conformidade com práticas consolidadas de análise ambiental e planejamento territorial apoiadas por geotecnologias (Silva *et al.*, 2023; Lopes *et al.* 2022), assegurando a reprodutibilidade dos procedimentos e a confiabilidade dos resultados obtidos.

3 REVISÃO DE LITERATURA

A morfometria de bacias hidrográficas constitui uma ferramenta essencial para o entendimento dos processos hidrológicos, geomorfológicos e ambientais que ocorrem em uma determinada região. O estudo sistemático das características físicas das bacias permite inferir o comportamento hidrodinâmico dos cursos d'água, a susceptibilidade a eventos extremos, como inundações, e as condições de uso e ocupação do solo.

Segundo Villela e Mattos (1975), os parâmetros morfométricos, como densidade de drenagem, fator de forma, índice de circularidade e razão de alongação, fornecem subsídios objetivos para a classificação e comparação entre diferentes bacias. Os autores destacam a importância da densidade de drenagem como indicador da capacidade de escoamento superficial e do grau de dissecação do relevo.

A abordagem morfométrica evoluiu com o passar do tempo, incorporando técnicas modernas e geotecnologias. Pallard *et al.* (2009) ressaltam que os parâmetros morfométricos, quando integrados com sistemas de informações geográficas (SIG), proporcionam análises mais precisas e especializadas, fundamentais para o planejamento ambiental e a gestão de recursos hídricos.

Estudos como os de Nardini *et al.* (2013) demonstram a aplicação dos índices morfométricos na identificação de áreas de risco e na delimitação de zonas prioritárias para a conservação. Da mesma forma, Silva e Tonello (2014) argumentam que a morfometria permite inferir o grau de estabilidade hidrológica da bacia e, conseqüentemente, sua resiliência frente às mudanças climáticas e à ação antrópica.

A análise morfométrica também é abordada por Melo Neto e Mello (2015), que enfatizam a importância de se considerar o contexto geológico e pedológico na interpretação dos índices. A variabilidade dos parâmetros morfométricos, segundo os autores, está diretamente relacionada às características físicas e climáticas da região estudada.

Mais recentemente, a utilização de geotecnologias tem se consolidado como base metodológica para estudos morfométricos. Silva *et al.* (2023) e Lopes *et al.* (2022) destacam que a adoção de ferramentas digitais e métodos padronizados assegura a reprodutibilidade das análises, além de aumentar a confiabilidade dos resultados. Essas práticas têm sido amplamente reconhecidas como fundamentais para subsidiar o ordenamento territorial e o gerenciamento sustentável dos recursos hídricos.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

De maneira geral, a bacia que possui uma área total de 61.370,50 km² é delimitada por um perímetro de 1.682,90 km, seu talvegue principal apresenta uma extensão de 695,82 km, enquanto a soma de todos os talvegues 7.707,93 km. A análise morfométrica da bacia revela características hidrológicas fundamentais para a compreensão de seu comportamento hidrodinâmico e da disponibilidade de recursos hídricos, sendo essas variáveis essenciais para o planejamento e gestão territorial. Segundo Buffington & Montgomery (2021), a morfometria de uma bacia é um indicativo direto do seu potencial hidrológico e de suas respostas aos eventos extremos, como inundações e estiagens.

Um dos parâmetros analisados foi a densidade de drenagem (Dd), cujo valor calculado foi de 0,13 km/km², indicando uma rede hidrográfica pouco densa. Este valor sugere

uma baixa subdivisão da rede de drenagem, geralmente associada a terrenos mais permeáveis e/ou áreas com menor índice de precipitação superficial concentrada. Segundo os critérios estabelecidos por Villela e Mattos (1975) e atualizados por Santos *et al.* (2022), valores de Dd inferiores a 0,5 km/km² caracterizam bacias com drenagem deficiente ou com solos altamente infiltrantes, sendo coerente com regiões tropicais secas ou com cobertura vegetal densa.

O fator de forma (Ff) da bacia, calculado em 0,13, indica uma morfologia extremamente alongada, o que implica um tempo de concentração mais elevado, ou seja, maior intervalo entre o início de um evento pluviométrico e o pico da vazão fluvial. Essa característica reduz a susceptibilidade a inundações rápidas, pois distribui o escoamento ao longo do tempo. Complementarmente, o coeficiente de compacidade (Kc) foi determinado em 1,90, sugerindo que a bacia se distancia significativamente de uma forma circular, o que reforça sua tendência a respostas hidrológicas mais lentas (Júnior, 2022).

O índice de circularidade (Ic) foi calculado em 0,27, valor que também confirma a natureza alongada da bacia. Conforme observado por Pereira *et al.* (2019), valores mais baixos de Ic indicam maior alongamento, o que influencia positivamente na capacidade de absorção de águas pluviais, reduzindo o risco de enchentes repentinas.

Outro índice relevante é o coeficiente de manutenção (Cm), com valor de 7.961,99, representando a área necessária para manter 1 km de curso d'água. Altos valores de Cm, como neste caso, geralmente estão associados à presença de solos com elevada capacidade de infiltração ou baixa densidade de fluxo superficial (Christofolletti, 1974; Junior & Andreoli, 2015).

A razão de alongação (Re) foi calculada em 0,40, reforçando a alongação da bacia, o que está diretamente correlacionado a um menor potencial de resposta rápida a eventos extremos. Finalmente, a relação entre o comprimento total da bacia e sua área (L/A) resultou em 2,16, valor típico de bacias com forma alongada, de maior tempo de resposta hidrológica e, portanto, com menor risco de inundações intensas e repentinas.

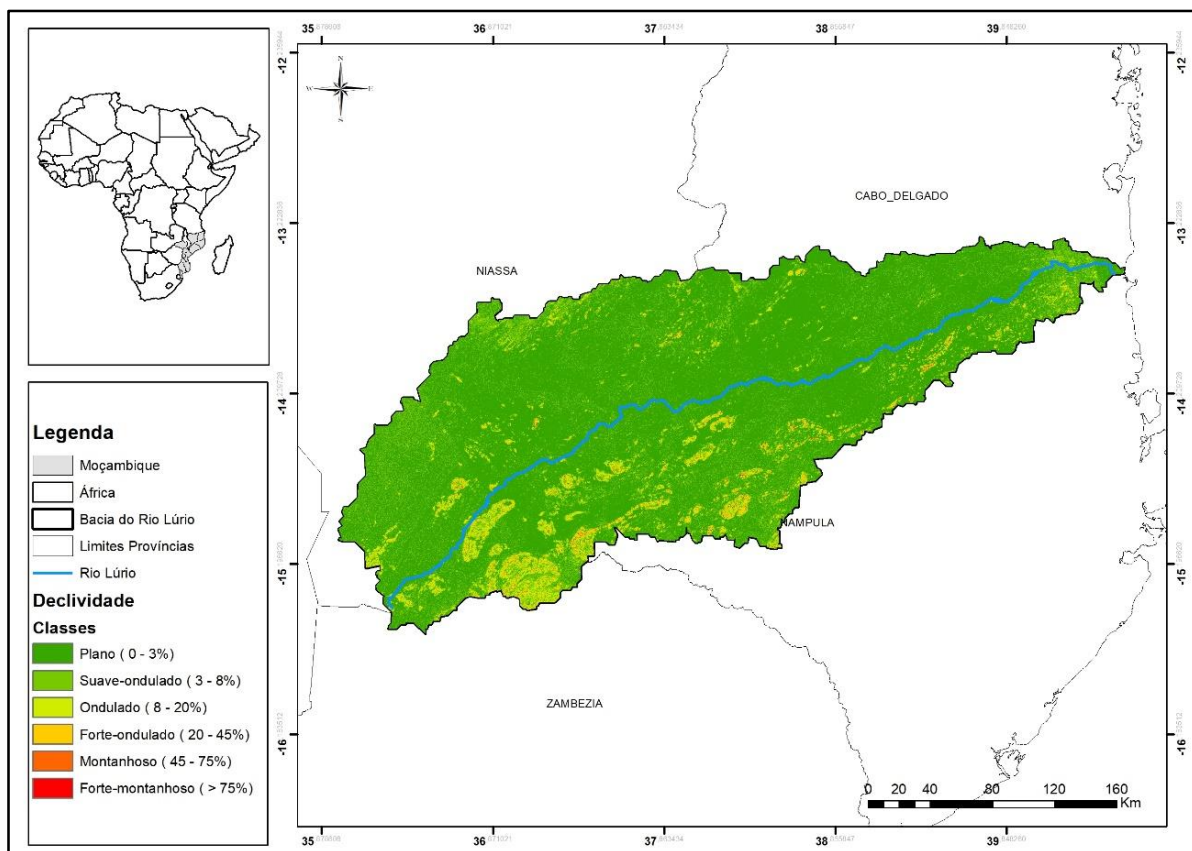
Tabela 2 – Características Físicas da Bacia Hidrográfica do Rio Lúrio, Moçambique

Parâmetros e unidades	Resultados
Área (km ²)	61.370,50
Perímetro (km)	1.682,90
Talvegue Principal (km)	695,82
Somatória dos talvegues (km)	7.707,93
Dens. Drenagem (km/km ²)	0,13
Fator de Forma (Kf)	0,13
Coeficiente de Compacidade (Kc)	1,90
Coeficiente de Manutenção (Cm)	7.961,99
Índice de Circularidade	0,27
Razão de Elongação	0,40
Índice entre o Comprimento e a Área da Bacia	2,16

Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

Em 75,66% ou (46.413,78 km²) de área da bacia é composta por terrenos planos, com declividade entre 0 e 3% (TABELA 3 e MAPA 2). Áreas com declividade suave-ondulada (3-8%) ocupam 18,38%, correspondendo a 11.273,41 km², terrenos ondulados (8-20%) abrangem 4,25% (2.610,17 km²), enquanto áreas de declividade forte-ondulada (20-45%) representam 1,38% (849,04 km²). Existem também áreas montanhosas, com declividades entre 45 e 75%, que ocupam 0,27% (165,45 km²), e terrenos classificados como forte-montanhosos, com declividade superior a 75%, constituem apenas 0,06% (34,02 km²). A predominância de áreas planas indica baixo potencial erosivo e alta aptidão agrícola, mas os setores com maior declividade exigem manejo conservacionista para evitar degradação ambiental e perda de solo (Ross, 2012; Embrapa, 2021).

Mapa 2 – Classes de declividades da bacia hidrográfica do Rio Lúrio



Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

Aproximadamente 18,38% da área é composta por terrenos suavemente ondulados (declividade de 3–8%), utilizados em práticas como agricultura de subsistência e cultivo de feijão, mandioca e milho. Esses usos, no entanto, exigem estratégias adequadas de controle de erosão e gestão da drenagem, a fim de manter a produtividade e conservação do solo (Ross, 2012).

Terrenos com declividade superior a 8% ocupam apenas 5,9% da bacia, sendo mais suscetíveis à erosão e degradação, mas ainda assim importantes para a preservação da vegetação nativa e ecossistemas sensíveis. As áreas montanhosas (>45% de declividade) representam apenas 0,33%, limitando significativamente os desafios para ocupação humana e expansão produtiva.

De forma geral, o relevo da bacia é amplamente favorável ao uso agrícola e à implantação de infraestrutura rural, desde que se adotem práticas de manejo sustentável,

sobretudo nas áreas com declive acentuado (Santos *et al.*, 2021).

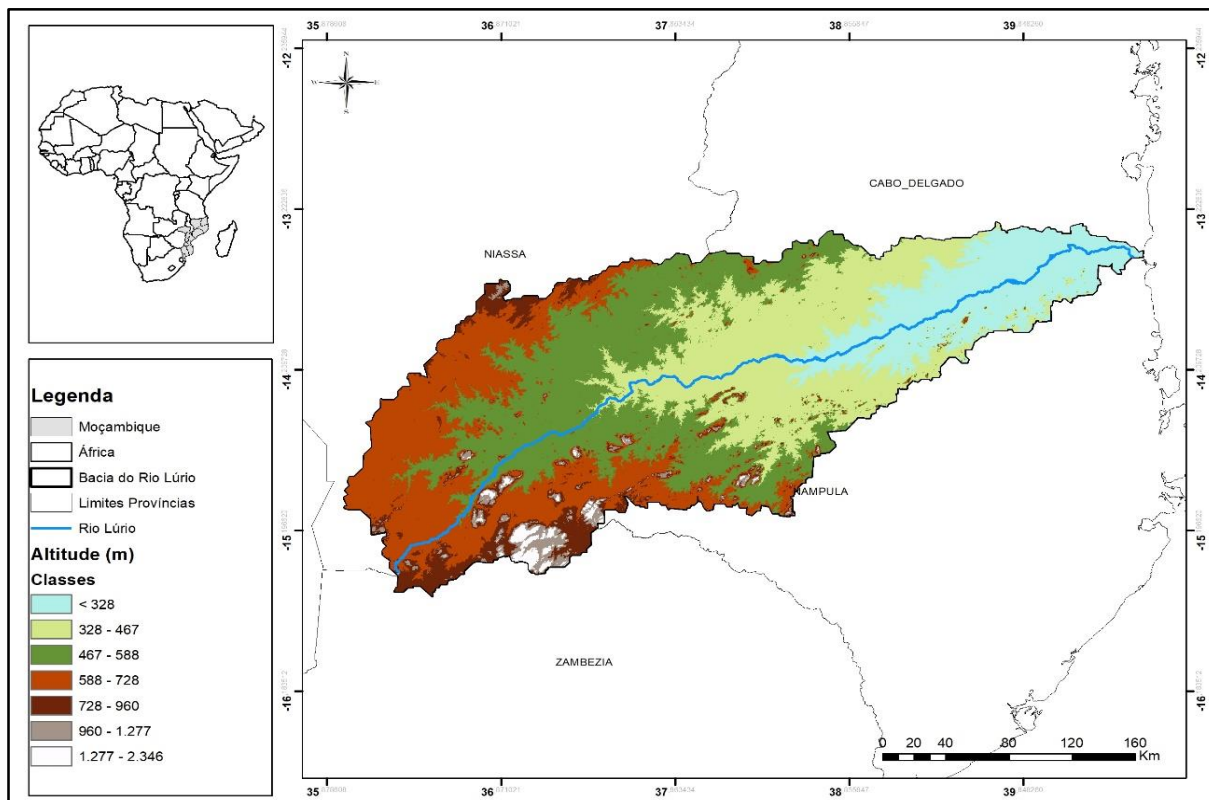
Tabela 3 – Área ocupada pelas classes de declividade da bacia do Lúrio

Declividade	Área ocupada	
	Área (km²)	%
Plano (0 - 3%)	46.413,78	75,66%
Suave-ondulado (3 - 8%)	11.273,41	18,38%
Ondulado (8 - 20%)	2.610,17	4,25%
Forte-ondulado (20 - 45%)	849,04	1,38%
Montanhoso (45 - 75%)	165,45	0,27%
Forte-montanhoso (> 75%)	34,02	0,06%
Total	61.345,86	100,00%

Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

A bacia do rio Lúrio apresenta predominância de altitudes moderadas, conforme Mapa 3 e Tabela 4, com 28,63% de sua área situada entre 467 e 588 metros (17.564,37 km²), caracterizando-se como a faixa altimétrica dominante (MAPA 3). Altitudes entre 328 e 467 metros ocupam 24,46% da bacia (15.006,63 km²), enquanto terrenos entre 588 e 728 metros compreendem 23,50% (14.416,90 km²). As áreas mais elevadas, entre 728 e 960 metros, são menos representativas, abrangendo apenas 5,57% da superfície total (3.414,05 km²).

Mapa 3 – Classes de altitude da bacia hidrográfica do Rio Lúrio



Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

Essa distribuição altimétrica reflete um relevo suavemente ondulado a moderado, que favorece a ocupação agrícola e o escoamento superficial, sendo também determinante para o comportamento hidrológico e potencial erosivo da bacia (Werneck, 2023).

Tabela 4 – Área ocupada pelas classes de altitude da bacia do Lúrio

(Continua)

Altitude	Área ocupada	
	Área (km ²)	%
< 328	9.114,68	14,86%
328 - 467	15.006,63	24,46%
467 - 588	17.564,37	28,63%
588 - 728	14.416,90	23,50%
728 - 960	3.414,05	5,57%
960 - 1.277	1.238,85	2,02%

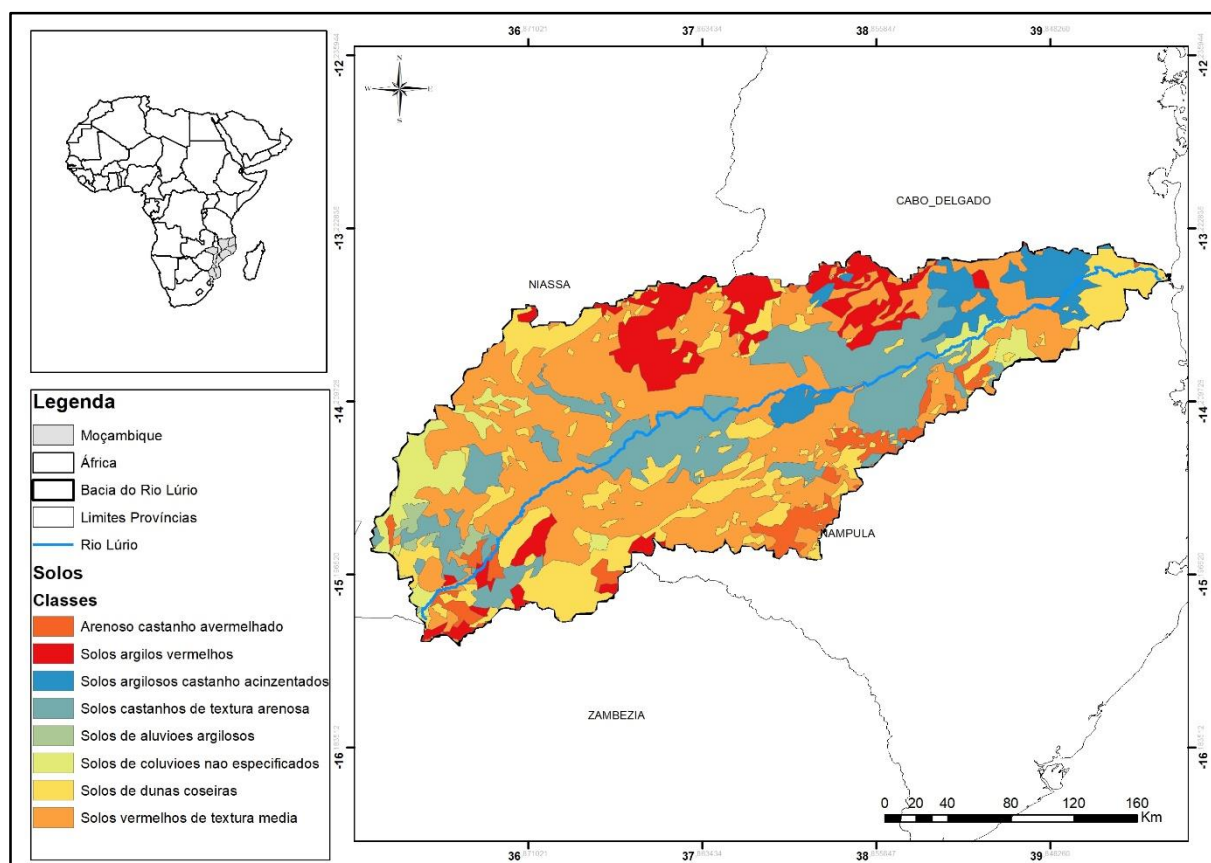
(Conclusão)

1.277 - 2.346	590,37	0,96%
Total	61.345,86	100,00%

Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

A bacia hidrográfica do Rio Lúrio apresenta uma diversidade significativa de tipos de solo, cuja distribuição espacial exerce influência direta sobre o uso do solo, produtividade agrícola, manejo ambiental e conservação dos recursos naturais na região. A caracterização dos solos foi realizada com base em levantamentos pedológicos detalhados, permitindo a identificação dos principais grupos edáficos e sua extensão territorial (TABELA 1).

Mapa 4 – Mapas das classes de solos da bacia hidrográfica do Rio Lúrio



Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

Foram obtidas as classes de solos para a bacia hidrografia do rio Lúrio para cada, com as respectivas áreas (TABELA 5). A bacia do Rio Lúrio apresenta predominância de solos

vermelhos de textura média (Argissolos/Latossolos), que ocupam cerca de 40% da área total (24.533 km²), caracterizados por boa profundidade e capacidade moderada de retenção hídrica, favorecendo a agricultura sustentável (Cunha, 22; Santos, 2024). Solos arenosos (Neossolos Quartzarênicos), abrangendo aproximadamente 34% da bacia, apresentam baixa fertilidade e demanda manejo cuidadoso para evitar degradação (Lopes *et al.*, 2017).

Outros solos importantes incluem os Latossolos/Nitossolos argilosos (10%) e Cambissolos (5%), com maior potencial agrícola devido à maior fertilidade (Madari *et al.*, 2009). Pequenas áreas são cobertas por solos aluviais e regolíticos, essenciais para a dinâmica hídrica local. A diversidade pedológica requer práticas específicas para garantir o uso sustentável dos recursos naturais na região (Francisco *et al.*, 2022).

Tabela 5 – Área ocupada pelas classes de solos da bacia do Lúrio

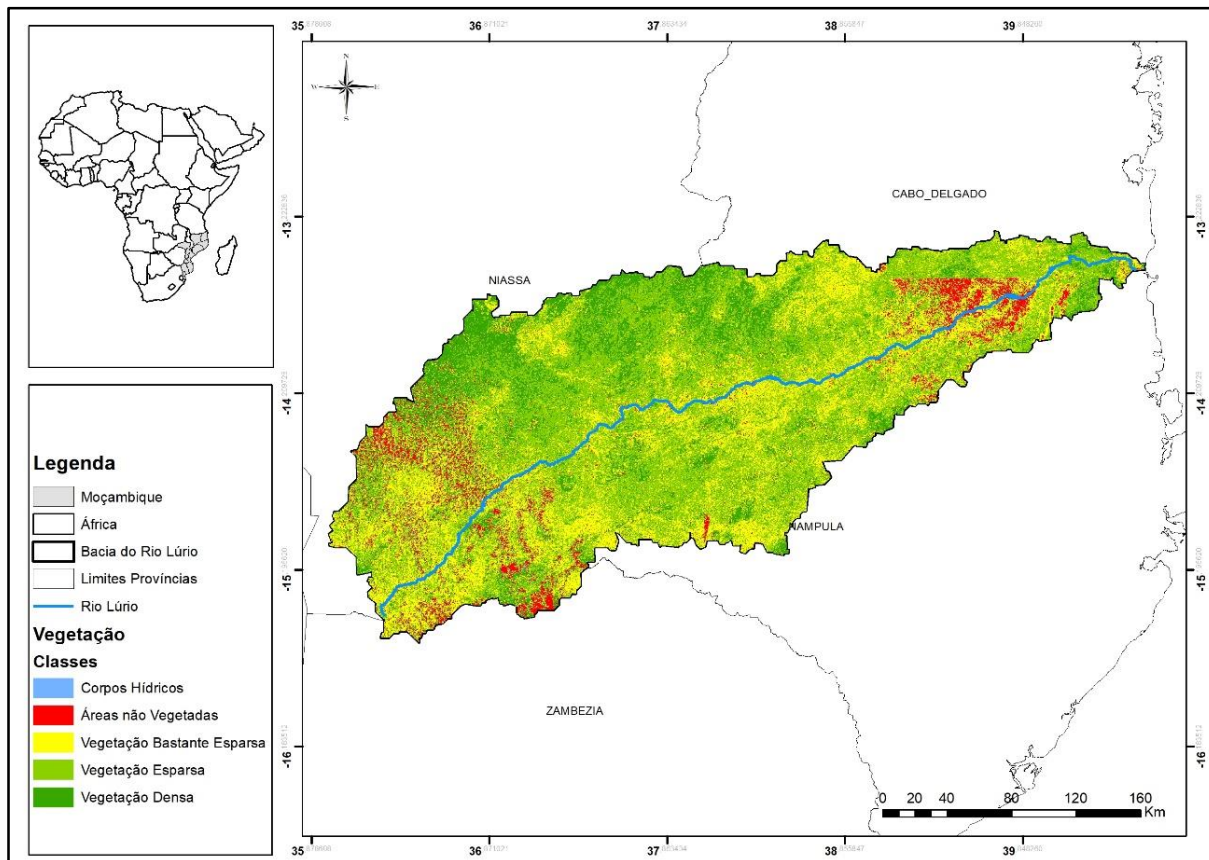
Solos		Área ocupada	
		Área (km ²)	%
Arenoso castanho avermelhado	Argissolo/Latossolo	2.617,75	4,27%
Solos argilosos vermelhos	Latossolo/Nitossolo	6.141,50	10,01%
Solos argilosos castanho acinzentados	Cambissolo Háplico	3.312,82	5,40%
Solos castanhos de textura arenosa	Neossolo Quartzarênico	10.943,29	17,84%
Solos de aluviões argilosos	Gleissolo Háplico	507,21	0,83%
Solos de coluviões não especificados	Neossolo Regolítico	3.153,06	5,14%
Solos de dunas cosseiras	Neossolo Quartzarênico	10.137,61	16,53%
Solos vermelhos de textura media	Argissolo/ Latossolo	24.532,62	39,99%
Total		61.345,86	100,00%

Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

Segundo o mapa 5 e a Tabela 5, as áreas desprovidas de vegetação somam 3.920,03 km², representando 6,39% do total. A vegetação esparsa está segmentada em duas classes: flora bastante dispersa, com 18.414,26 km² (30,02%), e flora dispersa, abrangendo 26.804,27 km² (43,69%). Regiões com vegetação densa ocupam 11.751,34 km², correspondendo a 19,16% da área total. Os corpos hídricos da bacia cobrem 455,95 km², equivalendo a 0,74% da área total.

Essa distribuição espacial da cobertura vegetal é essencial para a análise dos processos ecológicos, hidrológicos e do manejo do uso do solo na região.

Mapa 5 – Mapas das classes de vegetação da bacia hidrográfica do Rio Lúrio



Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

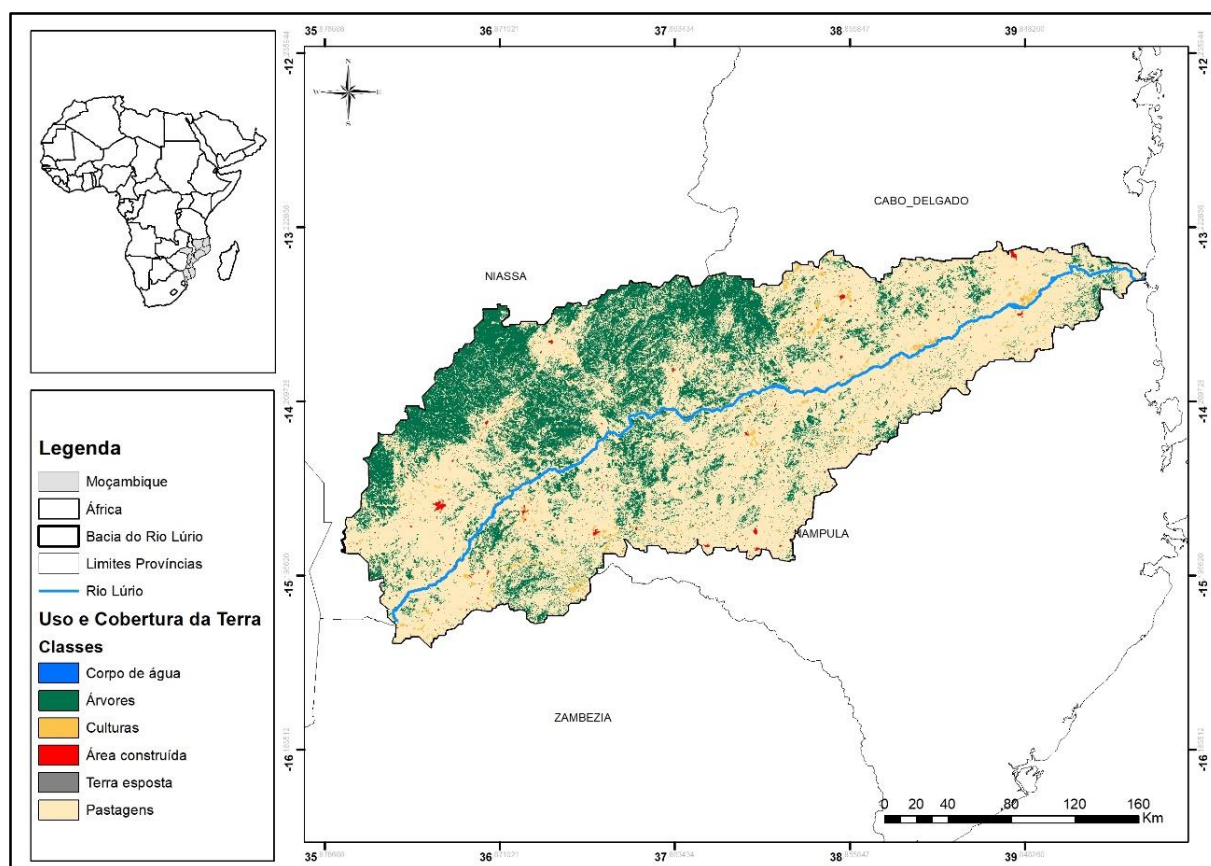
Tabela 6 – Área ocupada pelas classes de vegetação da bacia do Lúrio

Vegetação	Área ocupada	
	Área (km ²)	%
Corpos Hídricos	455,95	0,74%
Áreas não vegetadas	3.920,03	6,39%
Vegetação Bastante Esparsa	18.414,26	30,02%
Vegetação Esparsa	26.804,27	43,69%
Vegetação Densa	11.751,34	19,16%
Total	61.345,86	100,00%

Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

A análise do uso e ocupação do solo na bacia do rio Lúrio, segundo Mapa 6 e Tabela 7, mostra que a maior parte da área é ocupada por pastagens, correspondendo a 71,55% (43.894,35 km²) do total. A cobertura arbórea abrange 26,39% da área, equivalente a 16.190,05 km². As áreas destinadas a culturas agrícolas representam apenas 1,47% (899,41 km²). As áreas urbanizadas ocupam 0,36% (222,11 km²), os corpos d'água correspondem a 0,13% (81,79 km²), e as superfícies de terra exposta constituem a menor fração, com 0,09% (58,14 km²) da bacia.

Mapa 6 – Classes de uso e ocupação do solo da bacia hidrográfica do Rio Lúrio



Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

Tabela 7 – Área ocupada pelas classes de uso e ocupação da terra da bacia do Lúrio

Uso e cobertura da terra	Área ocupada	
	Área (km ²)	%
Corpo de água	81,79	0,13%
Árvores	16.190,05	26,39%
Culturas	899,41	1,47%
Área construída	222,11	0,36%
Terra exposta	58,14	0,09%
Pastagens	43.894,35	71,55%
Total	61.345,86	100,00%

Fonte: Elaborado pelos autores (2025)

5 CONCLUSÃO

Os dados obtidos sobre a bacia hidrográfica do rio Lúrio indicam que a maior parte da área é composta por terrenos planos com solos adequados para agricultura, o que evidencia um potencial significativo para o desenvolvimento agrícola sustentável na região. Essas informações podem orientar decisões sobre expansão agrícola e implantação de sistemas de irrigação, priorizando áreas de baixa declividade para minimizar riscos ambientais.

A baixa densidade de drenagem e o formato alongado da bacia sugerem menor risco de inundações severas, o que permite planejar infraestrutura rural com menor preocupação quanto a eventos hidrológicos extremos. Essa evidência deve ser considerada no planejamento territorial e na gestão de riscos. Considerando a diversidade dos tipos de solo e a distribuição da vegetação, recomenda-se a adoção de práticas agrícolas que levem em conta a conservação do solo e da vegetação nativa, especialmente nas áreas mais inclinadas e sensíveis, para evitar erosão e degradação ambiental.

Os dados apontam também para a necessidade de monitoramento contínuo do uso do solo e da cobertura vegetal, utilizando técnicas de sensoriamento remoto, para garantir que as atividades econômicas sejam compatíveis com a sustentabilidade ambiental da bacia. Como novos caminhos, sugere-se o desenvolvimento de zoneamentos agroecológicos e a implementação de programas de manejo integrado dos recursos naturais, que utilizem as informações obtidas para promover o uso racional da terra, conservação hídrica e aumento da produtividade agrícola.

REFERÊNCIAS

- BANZE, A. G. **Caracterização geoquímica de sedimentos e águas da bacia hidrográfica do Rio Monapo (Nampula, Moçambique)**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geológica) — Universidade de Aveiro, Departamento de Geociências, Portugal, 2016. Disponível em: <https://files.core.ac.uk/download/pdf/78556953.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2024.
- BARBOSA JUNIOR, A. R. **Elementos de hidrologia aplicada**. São Paulo: Editora Blucher, 2022.
- BENZOUGAGH, B. *et al.* Identification of critical watershed at risk of soil erosion using morphometric and geographic information system analysis. **Applied Water Science**, Heidelberg, v. 12, n. 8, p. 1-20, 2022. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13201-021-01532-z>. Acesso em: 03 dez. 2024.
- BOLFE, E. L. *et al.* Base de dados geográficos do "Corredor de Nacala". In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15., 2011, Curitiba. **Anais...** Curitiba: INPE, 2011. Disponível em: <https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/902393/1/BolfeSBSR.pdf>. Acesso em: 07 dez. 2024.
- BUFFINGTON, J. M.; MONTGOMERY, D. R. Geomorphic classification of rivers: an updated review. **Academic Press**, New York, 2021, p. 1143-1190. Disponível em: <https://research.fs.usda.gov/treesearch/63526>. Acesso em: 04 jan. 2025.
- CENTRO NACIONAL DE CARTOGRAFIA E TELEDETECÇÃO - CENACARTA. **Base de Dados Cartográfica Nacional**. Maputo, 2016.
- CHICHANGO, D. B. *et al.* Caracterização e sustentabilidade dos recursos naturais da província de Cabo Delgado. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, São Paulo, v. 8, n. 8, p. 32- 49, 2022. Disponível em: <https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/6558>. Acesso em: 02 dez. 2024.
- CHORLEY, R. J.; SCHUMM, S. A. ; SUGDEN. **Geomorphology**. Londres: [S.n.], 1984.
- CRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia**. São Paulo: Ed. Blucher, 1974.
- CHRISTOPHER, O.; ADETIMIRIN, O. I. ABODERIN, O. Hydrological analysis of onitsha north east drainage Basin using geoinformatic techniques. **World Applied Sciences Journal**, Faisalabad, v. 11, n. 10, p. 1297-1302, 2010. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/267848442_Hydrological_Analysis_of_Onitsha_North_East_Drainage_Basin_Using_Geoinformatic_Techniques. Acesso em: 21 fev. 2025.
- CUNHA, R. R. **Inter-relações dos atributos físico-hídricos e estruturais do solo em classes e aptidão agrícola das terras no Semiárido Potiguar**. 2022. 112 f. Tese (Doutorado em Manejo de Solo e Água) — Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Mossoró, 2022.

Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/items/acdedd3e-3356-49c1-85c0-ebfa03f73333/full>. Acesso em: 15 abr. 2025.

EUROPEAN SPACE AGENCY (ESA). **Copernicus Sentinel-2 User Guide**. 2023. Disponível em: <https://sentinel.esa.int>. Acesso em: 13 mar. 2025.

LOPES, J. R. A. E *et al.* Caracterização morfológica da microbacia hidrográfica do Açude Grande no semiárido do Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Recife, v. 15, n. 01, p. 429-442, 2022.

FISCHER, A. **Geomorphology, sedimentology, and depositional chronology of the christmas dunes and their implications for proglacial lake drainage in the lake superior basin**. 2024. Dissertação (Mestrado) — Minnesota State University, Mankato, 2024. Disponível em: <https://cornerstone.lib.mnsu.edu/etds/1447/>. Acesso em: 07 fev. 2025.

FRANCISCO, P. R. M *et al.* Potencial de incerteza das terras da região do médio curso do Rio Paraíba utilizando geotecnologias, 2022. Disponível em: <https://dspace.sti.ufcg.edu.br/jspui/bitstream/riufcg/37428/1/POTENCIAL%20DE%20IRRIGACAO%20C3%87%20C3%83O%20DAS%20TERRAS%20DA%20REGI%C3%83O%20DO%20M%C3%89DIO%20CURSO%20DO%20RIO%20PARA%C3%8DBA%20%E2%80%93%20ARTIGO%20DE%20PERI%C3%93DICO%20CDSA%202022.pdf>. Acesso em: 12 dez. 2024.

NAMPULA. GOVERNO DA PROVÍNCIA (GPN). Plano Económico e Social e Orçamento do Estado Provincial (PESOP) para o ano de 2014. Nampula, 2015. Disponível em: <https://www.mef.gov.mz/index.php/todas-publicacoes/instrumentos-de-gestao-economica-e-social/plano-economico-e-social-e-orcamento-do-estado-pesoe/pesoe-2023/mapas-integrantes-da-lei-pesoe-ar/mapa-f-provincia/1727-mapa-i-03-nampula/file?force-download=1>. Acesso em: 10 jan. 2025.

JÚNIOR, J. J.; ANDREOLI, C. V. Uso de dados climáticos e hidrológicos como subsídio na determinação do regime de fluxo de canais de drenagem. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, São Paulo, v. 1, n. 1, 2015. Disponível em: <https://rbgeomorfologia.org.br/rbg/article/view/422>. Acesso em: 15 dez. 2024.

KHADSE, G. K. ; VIJAY, R.; LABHASETWAR, P. K. Priorização de bacias hidrográficas com base na erosão do solo usando sensoriamento remoto e SIG. **Monitoramento e Avaliação Ambiental**, Brasília, v. 187, p. 1-11, 2015.

LI, S. *et al.* Variação da vazão sob condições climáticas com base em um modelo de ferramenta de avaliação de solo e água: um estudo de caso da Bacia do Rio Bailong. **Sustainability**, Basel, v. 16, n. 10, p. 3901, 2024.

LOPES, AS; GUILHERME, L. R. G Fertilidade do solo e produtividade agrícola. In: **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 1-64.

LÓPEZ-RAMOS, A. *et al.* Assessment of morphometric parameters as the basis for hydrological inferences in water resource management: a case study from the sinú river basin in Colombia. **ISPRS International Journal of Geo-Information**, Basel, v. 11, n. 9, p. 459,

2022. DOI:10.3390/ijgi11090459. Disponível em:
<https://www.semanticscholar.org/paper/Assessment-of-Morphometric-Parameters-as-the-Basis-L%C3%B3pez-Ramos-Medrano-Barboza/08b77f44f34abaac7c70fbab89f39cb181a1de12>. Acesso em: 14 jan. 2025.

MADARI, B. E. *et al.* Matéria orgânica dos solos antrópicos da Amazônia (Terra Preta de Índio): suas características e papel na sustentabilidade da fertilidade do solo. In: TEIXEIRA, W. G. *et al.* **As Terras Pretas de Índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas**. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2009. p. 172-189.

MARTINS, A. P.; BATISTA, D. F.; CABRAL, J. B. P. Análise fisiográfica da bacia do rio Monapo—provincia de Nampula—Moçambique. **Geografia**, Niterói, v. 50, 2021. Disponível em:
https://www.researchgate.net/publication/350533734_ANALISE_FISIOGRAFICA_DA_BACIA_DO_RIO_MONAPO_-_PROVINCIA_DE_NAMPULA_-_MOCAMBIQUE. Acesso em: 02 mar. 2025.

MELO NETO, J. ; MELLO, C. R. de. Levantamento das propriedades morfométricas da bacia hidrográfica do ribeirão vermelho com o uso de geoprocessamento. **Global Science & Technology**, Rio Verde, v. 8, n. 2, 2015.

MESHARAM, S. G. ; POWAR, P. L.; MESHARAM, C. Comparison of cubic, quadratic, and quintic splines for soil erosion modeling. **Applied Water Science**, Heidelberg , v. 8, n. 173, p. 1-7, 2018. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13201-018-0807-6>. Acesso em: 05 fev. 2025.

MUCHANGA, E. **Assessment of the impact of landuse changes on the water quality of Incomati River, Southern Mozambique**. 2016. Disponível em:
<https://ir.uz.ac.zw/xmlui/handle/10646/3399>. Acesso em: 09 fev. 2025.

MUCANGOS, A. dos. **Moçambique, paisagens e regiões naturais**. 1999. Disponível em:
<https://biblioteca.unisced.edu.mz/handle/123456789/1534>. Acesso em: 13 abr. 2025.

NARDINI, R. C. *et al.* Análise morfométrica e simulação das áreas de preservação permanente de uma microbacia hidrográfica. **Irriga**, Viçosa, v. 18, n. 4, p. 687-699, 2013.

NASCIMENTO, A. B. F. C do. **Simulação da exploração de uma albufeira de armazenamento para fins múltiplos e em cascata com um aproveitamento hidroelétrico a fio de água puro**: caso de estudo da bacia hidrográfica do rio Lúrio em Moçambique, 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) — Técnico Lisboa, 2018. Disponível em:
<https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/cursos/mec/dissertacao/1972678479054546>. Acesso em: 18 jan. 2025.

NHASSENGO, O.S. Z; SOMURA, H.; WOLFE III, J. Environmental flow sustainability in the Lower Limpopo River Basin, Mozambique. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, Amsterdam, v. 36, p. 100843, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2021.100843>.

Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214581821000720>. Acesso em: 24 abr. 2025.

PALLARD, B.; CASTELLARIN, A.; MONTANARI, A. A look at the links between drainage density and flood statistics. **Hydrology and Earth System Sciences**, Katlenburg-Lindau v. 13, n. 7, p. 1019-1029, 2009.

PEKKALA, Y.; LEHTO, T.; MÄKITIE, H. GTK consortium geological surveys in Mozambique 2002-2007. **Geological Survey of Finland**, Finland, v. 48, 2008. Disponível em: <https://search.library.wisc.edu/catalog/9910061940102121>. Acesso em: 05 abr. 2025.

PEREIRA, J. D. S *et al.* Geoprocessamento como ferramenta de caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Parauapebas, PA. **Revista Geonorte**, Manaus, v. 34, n. 10, p. 168-182, 2019. DOI: 10.21170/geonorte.2019.V.10.N.34.168.182. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/334287548_GEOPROCESSAMENTO_COMO_FERRAMENTA_DE_CHARACTERIZACAO_MORFOMETRICA_DA_BACIA_HIDROGRAFICA_DO_RIO_PARAUPEBAS_PA. Acesso em: 16 jan. 2025.

RASTOGI, R. A.; SHARMA, T. **Análise quantitativa das características da bacia de drenagem**. [S.l.; s.n.]: 2022.

ROSS, J. L. S. Landforms and environmental planning: potentialities and fragilities. **Revista do Departamento de Geografia**, São Paulo, 2012. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/002395561>. Acesso em: 16 jan. 2025.

SANTOS, A. P. D. **Integração de parâmetros ambientais e machine learning na modelagem do solo para agricultura sustentável**. [S.l.; s.n.]: 2024.

SANTOS, H. *et al.* **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília, DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento; Embrapa Solos, 2021.

SILVA, J. L.; TONELLO, K. C. Morfometria da bacia hidrográfica do Ribeirão dos Pinheirinhos, Brotas-SP. **Irriga**, Viçosa, v. 19, n. 1, p. 103-114, 2014.

SILVA ARAÚJO, J. W. *et al.* Características fisiográficas de sub-bacias do Alto Teles Pires por meio de diferentes modelos digitais de elevação. **Nativa**, Florianópolis, v. 12, n. 2, 2023.

SJÖSTRAND, K. Water for sustainable development. **Nature Water**, London, v. 1, n. 7, p. 568-572, jul. 2023. DOI: 10.1038/s44221-023-00108-2. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/372266785_Water_for_sustainable_development. Acesso em: 20 dez. 2024.

SONG, Q. *et al.* Assessing groundwater artificial recharge suitability in the Mi River basin using GIS, RS, and FAHP: a comprehensive analysis with seasonal variations. **Applied Water Science**, Heidelberg, v. 15, n. 39, p. 1-21, 2025. Disponível: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13201-025-02362-z>. Acesso em: 18 mai. 2025.

TANG, X.; ADESINA, J. A Integrated watershed management framework and groundwater resources in Africa - a review of west Africa sub-region. **Water**, Basel, v. 14, n. 3, p. 288, 2022. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/14/3/288>. Acesso em: 18 mai. 2025.

TOMAS, W. M. *et al.* Challenges in the conservation and management of legal reserve areas in Brazilian grassland and savanna ecosystems in the face of global climate change. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 59, 2024. DOI: 10.1590/S1678-3921.pab2024.v59.03491p. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/pab/a/xLMdy99ykqWTw5BTD8wg3tm/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 17 abr. 2025.

TOPODATA. **Banco de dados de Modelos Digitais de Elevação – Versão atualizada**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 2023. Disponível em: <https://portal.opentopography.org/raster?opentopoID=OTSDEM.032021.4326.3> . Acesso em: 17 abr. 2025.

VASCONCELOS, L.; JAMAL, D. A nova geologia de Moçambique. In: CONGRESSO DE GEOQUÍMICA DOS PAÍSES DE LÍNGUA PORTUGUESA, 10., 2010, Porto, Portugal. **Resumo dos trabalhos apresentados [...]**, Porto, Portugal: Universidade do Porto, 2010. p. 53-66.

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

WANG, X. W.; XIE, H. A review on applications of remote sensing and geographic information systems (GIS) in water resources and flood risk management. **Water**, Basileia, Suíça, v. 10, n. 5, 2018. DOI: <https://doi.org/10.3390/w10050608>. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/10/5/608>. Acesso em: 08 jan. 2025.

WERNECK, P. R **Utilização de geotecnologia para avaliação da piscicultura na sub-bacia hidrográfica do Arroio Guaçu, na bacia hidrográfica do Paraná 3, região oeste do Paraná**. 2023. 46 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Pesqueiros e Engenharia de Pesca) — Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2023. Disponível em: <https://tede.unioeste.br/handle/tede/7015>. Acesso em: 02 abr. 2025.

ZHANG, N. *et al.* Quantification and analysis study for the morphological characteristics of urban waterbodies: evidences from 42 cases in China. **Ecological Indicators**, Amsterdam, v. 166, p. 112458, sept. 2024. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecolond.2024.112458>. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1470160X24009154>. Acesso em: 11 mai. 2025.