



Análise morfométrica e tendências de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Capiá, Semiárido do Nordeste do Brasil

André Anjos Correia¹, Fabrício Marcos Oliveira Lopes², Iracy Amélia Pereira Lopes³, Rosilvam Ramos de Sousa⁴, Cristina Rodrigues Nascimento⁵, Geber Barbosa de Albuquerque Moura⁶

¹Mestrado em Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), e-mail: andreaanjos53@gmail.com ,

²Professor Meteorologia e Sensoriamento Remoto Departamento de Agronomia

UFRPE, e-mail: pabricio.lopes@ufrpe.br, ³Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Engenharia Agrícola e-mail:

iracyamelia.lopes@gmail.com , ⁴Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Ciência Florestal, e-mail:

rosilvam.ramos@ufrpe.br , ⁵Professora Associada do Departamento de Agronomia, área Fitotecnia da Universidade Federal Rural de

Pernambuco e-mail: cristina.nascimento@ufrpe.br , ⁶Professor titular da Universidade Federal Rural de Pernambuco – UFRPE, e-mail:

geber.moura@ufrpe.br

Artigo recebido em 09/08/2024 e aceito em 14/01/2025

RESUMO

A bacia hidrográfica do rio Capiá, integrante da sub-bacia do rio São Francisco, é estratégica para o semiárido do Nordeste brasileiro, fornecendo recursos naturais essenciais à população local. Alterações no uso e cobertura do solo, associadas à expansão agropecuária e urbana, impactam a dinâmica ambiental e hidrológica da região. Este estudo teve como Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de Engenharia Agrícola objetivo caracterizar a bacia a partir de parâmetros morfométricos e avaliar mudanças no uso e ocupação do solo nos últimos 30 anos (1992-2022), aplicando os testes de Mann-Kendall e Sen's Slope. A delimitação e caracterização morfométrica foram obtidas por Modelo Digital de Elevação processado no HEC-HMS, com extração de dados no QGIS. Mapas de uso e ocupação do solo (1992, 2002, 2012, 2022) foram gerados via Google Earth Engine a partir do projeto MapBiomas. Os resultados indicam uma bacia alongada, com baixa propensão a enchentes e densidade de drenagem regular. Entre 1992 e 2022, houve redução significativa de áreas de pastagem ($-1,789 \text{ km}^2 \text{ ano}^{-1}$) e corpos d'água ($-0,023 \text{ km}^2 \text{ ano}^{-1}$), aumento de áreas urbanizadas ($+0,127 \text{ km}^2 \text{ ano}^{-1}$) e de outras lavouras temporárias ($+0,255 \text{ km}^2 \text{ ano}^{-1}$). A Formação Savânica manteve-se predominante, seguida pela Pastagem, com expansão pontual de formações campestres. As alterações foram mais intensas nas áreas planas centrais, enquanto regiões montanhosas preservaram maior cobertura de Caatinga. Conclui-se que a combinação de análises morfométricas e de tendências de uso do solo fornece subsídios relevantes para o planejamento territorial e a gestão de recursos hídricos, sendo fundamental para mitigar impactos ambientais e orientar estratégias de conservação no semiárido.

Palavras-chave: MapBiomas; Geoprocessamento; HEC-HMS; Vegetação.

Morphometric analysis and trends in land use and occupation in the Capiá river basin, Semi-arid region of Northeastern Brazil

ABSTRACT

The Capiá River Basin, part of the São Francisco River sub-basin, is strategic for the semi-arid region of Northeastern Brazil, providing essential natural resources to the local population. Changes in land use and cover, associated with agricultural and urban expansion, affect the environmental and hydrological dynamics of the region. This study aimed to characterize the basin through morphometric parameters and to evaluate land use and land cover changes over the past 30 years (1992-2022), applying the Mann-Kendall and Sen's Slope tests. Basin delimitation and morphometric characterization were obtained from a Digital Elevation Model processed in HEC-HMS, with data extraction in QGIS. Land use and land cover maps (1992, 2002, 2012, 2022) were generated via Google Earth Engine using the MapBiomas project. Results indicate an elongated basin, with low flood susceptibility and regular drainage density. Between 1992 and 2022, there was a significant reduction in pasture areas ($-1.789 \text{ km}^2 \text{ year}^{-1}$) and water bodies ($-0.023 \text{ km}^2 \text{ year}^{-1}$), alongside an increase in urbanized areas ($+0.127 \text{ km}^2 \text{ year}^{-1}$) and other temporary crops ($+0.255 \text{ km}^2 \text{ year}^{-1}$). Savanna formation remained predominant, followed by pasture, with localized expansion of grassland formations. Changes were most intense in the central flat areas, while mountainous regions preserved greater Caatinga vegetation cover. It is concluded that combining morphometric and land use trend analyses provides relevant insights for territorial planning and water resource management, being essential to mitigate environmental impacts and guide conservation strategies in the semi-arid region.

Keywords: MapBiomias; Geoprocessing; HEC-HMS; Vegetation

Introdução

As bacias hidrográficas são áreas geograficamente definidas de captação natural de água da precipitação, onde todos os cursos d'água convergem para um ponto comum, o exutório (Ê. G. F. Souza et al., 2021). A análise do uso e cobertura da terra em bacias hidrográficas no semiárido brasileiro tem ganhado destaque nas últimas décadas devido aos intensos processos de degradação ambiental e desertificação observados na região (Marinho et al., 2021). Esses fenômenos estão fortemente associados às alterações antrópicas, principalmente pela substituição da vegetação nativa da Caatinga por áreas agropecuárias e pastagens, o que compromete a sustentabilidade ambiental e econômica das comunidades locais (Gois et al., 2021; Panta et al., 2022; B. F. Silva et al., 2023).

Pesquisas recentes demonstram que a expansão agrícola e a intensificação do uso do solo alteram parâmetros biofísicos fundamentais, como a temperatura da superfície e a evapotranspiração, acarretando mudanças no balanço de energia e nos recursos hídricos disponíveis (Jardim et al., 2022; C. M. Souza et al., 2020). Além disso, novas frentes de pressão ambiental, como a mineração e a urbanização, têm provocado a redução da cobertura vegetal e acelerado a degradação da paisagem, sobretudo em áreas próximas a corpos hídricos (Pacheco et al., 2025).

Na bacia do Jaguaribe, por exemplo, foi identificada uma conversão significativa de vegetação nativa em áreas agrícolas e de pastagem, evidenciando o papel central das atividades humanas na transformação da paisagem semiárida (Sousa et al., 2021). Esse padrão de alteração no uso e cobertura da terra não apenas reduz a biodiversidade, como também aumenta a vulnerabilidade dos recursos naturais e da população local aos efeitos das mudanças climáticas. A preservação e a restauração da Caatinga assumem papel estratégico para mitigar os impactos da fragmentação e garantir a conectividade ecológica em paisagens agrícolas.

Produtos de sensoriamento remoto e técnicas computacionais aplicadas ao geoprocessamento, como o Sistema de Informações Geográficas (SIG), são eficazes e precisos para estudos morfométricos (Dornellas et al., 2020). Ferramentas como QGIS e HEC-HMS permitem realizar análises e processamentos para extrair informações de modelos digitais de elevação (MDE), incluindo a delimitação de bacias

hidrográficas e sua caracterização física (Hirata & Burkert, 2020; G. Silva et al., 2018).

Estudos apontam que áreas prioritárias para conservação podem contribuir significativamente para a manutenção de serviços ecossistêmicos e da resiliência ambiental no semiárido (Salazar et al., 2021). Dessa forma, o projeto MapBiomias visa revelar as transformações do território brasileiro por meio da ciência, com precisão, agilidade e qualidade, tornando acessível o conhecimento sobre a cobertura e uso da terra para promover a conservação e o manejo sustentável dos recursos naturais e combater as mudanças climáticas (MapBiomias, 2025).

O MapBiomias é uma rede colaborativa formada por ONGs, universidades e startups de tecnologia, focada no mapeamento anual da cobertura e uso da terra e no monitoramento mensal da superfície de água e cicatrizes de fogo desde 1985, utilizando o Google Earth Engine (GEE). O GEE é uma plataforma de computação em nuvem amplamente utilizada na ciência do sistema terrestre para processar dados relacionados a diversos campos ambientais (Zhao et al., 2021). Além disso, o Teste Mann-Kendall (Kendall, 1975; Mann, 1945) é empregado para avaliar se uma série de dados exibe uma tendência temporal estatisticamente significativa (Lopes et al., 2024). Este teste é frequentemente utilizado em estudos ambientais para demonstrar tendências de aumento, diminuição ou estabilidade ao longo do tempo. Juntamente com o Teste Mann-Kendall, o Estimador Sen's Slope (Sen, 1968) é uma ferramenta estatística não-paramétrica utilizada para determinar a taxa de variação de parâmetros em séries temporais.

A bacia hidrográfica do rio Capiá, localizada entre os estados de Alagoas e Pernambuco, desempenha um papel fundamental no ciclo hidrológico da região e faz parte da bacia do rio São Francisco, sendo vital para a população local por fornecer recursos naturais essenciais (Gois et al., 2021; Panta et al., 2022). A aplicação de técnicas e ferramentas de SIG em bacias hidrográficas sujeitas a pressões humanas, como a bacia do rio Capiá, pode contribuir para o diagnóstico ambiental e para o desenvolvimento de estratégias destinadas à recuperação das funções ecossistêmicas e hidrológicas, bem como à preservação dos remanescentes do ecossistema local (Salis et al., 2020).

Nesse contexto, este estudo teve como objetivo caracterizar a bacia hidrográfica do rio Capiá a partir de análises morfométricas obtidas por MDE. Além disso, investigou-se as mudanças

no uso e cobertura do solo ao longo das últimas três décadas (1992-2022), usando os conjuntos de dados do sensoriamento remoto orbital, aplicando os testes estatísticos de Mann-Kendall e Sen's Slope.

Material e métodos

Área de estudo

O estudo foi realizado na bacia hidrográfica do rio Capiá, localizado entre os estados de Alagoas e Pernambuco, na região Semiárida do Nordeste brasileiro. Essa bacia é formada em sua maioria por rios temporários e que deságua no rio São Francisco. Sua localização

compreende as coordenadas entre 8°55' a 9°41' de latitude sul e de 37°19' a 37°47' de longitude oeste, possui uma área de aproximadamente 2.341 km² dos quais 2.224 km² (95 %) pertence ao estado de Alagoas e o restante, 117 km² (5 %), ao estado de Pernambuco (Figura 1). A bacia hidrográfica do rio Capiá abrange os municípios de Itaíba, Piranhas, Olho d'Água do Casado, Canapi, Manari, Pão de Açúcar, Mata Grande, Senador Rui Palmeira, São José da Tapera, Inhapi, Maravilha, Ouro Branco e Poço das Trincheiras. A população da bacia é estimada em 100 mil pessoas segundo o último censo (IBGE, 2022).

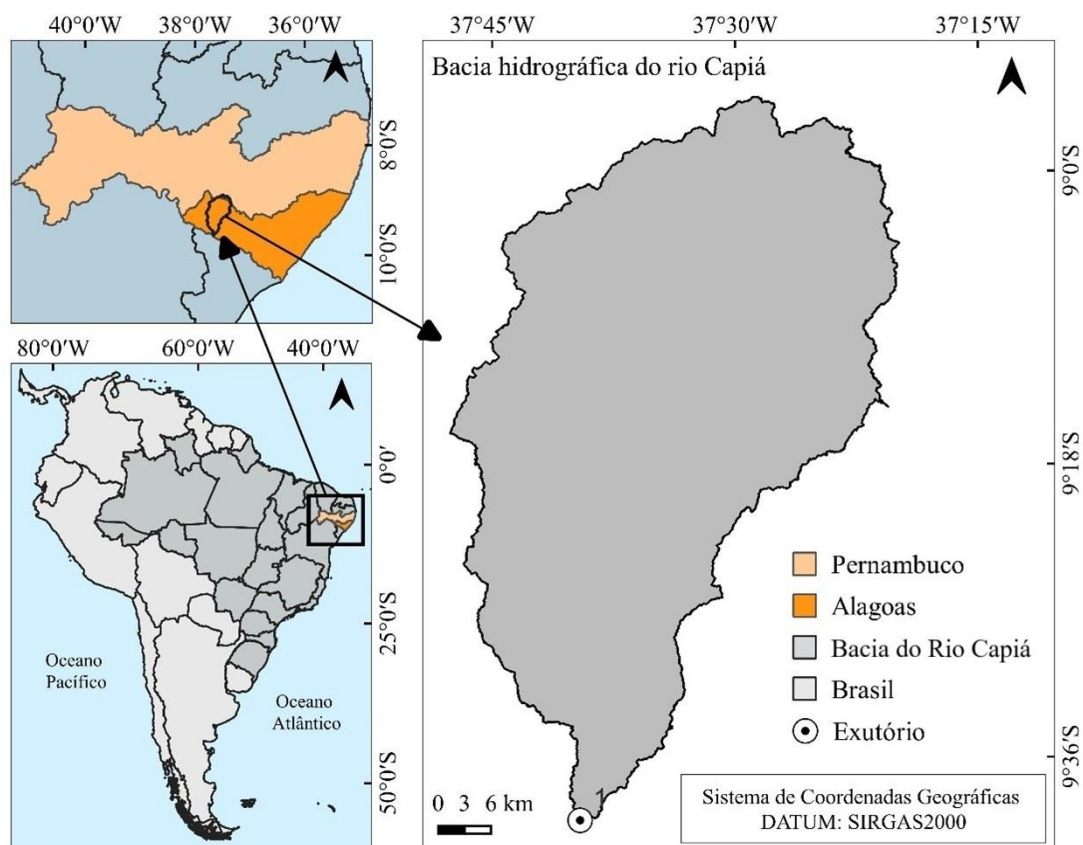


Figura 1 – Localização espacial da bacia hidrográfica do rio Capiá, estado de Alagoas. Fonte: Autores (2024).

O clima na região da bacia hidrográfica do rio Capiá, segundo a classificação de Köppen, é do tipo BSh, ou seja, clima semiárido. A precipitação média anual na região da bacia hidrográfica varia de 400 a 600 mm com temperatura variando entre 17 °C a 33 °C (Alvares et al., 2013). A área possui um período seco e um outro chuvoso bem definidos. O período chuvoso inicia no mês de abril e finaliza em agosto, enquanto que em setembro inicia-se o período seco com fim no mês de março (D. F. Silva & Sousa, 2013).

A vegetação predominante é a Caatinga, compostas por plantas xerófilas, suas espécies apresentam morfologias adaptadas ao estresse

hídrico e às altas temperaturas (Melo & Voltolini, 2019). O tipo de solo na área varia com as seguintes classificações: Luvisolo Cromico, Neosolo Litólico, Neosolo Regolítico e Plonossolo Háplico (SEPLANDE, 2021).

Aquisição dos dados

Para a delimitação e caracterização morfométrica da bacia do rio Capiá foi utilizado um MDE ou Modelo Digital do Terreno (MDT) que possui dados digitais de elevação com uma resolução espacial de 12,5 m e que englobava a região da bacia, gerado a partir do satélite-radar ALOS PALSAR (Japan Aerospace Exploration

Agency – JAXA) e disponibilizado no site: <https://vertex.daac.asf.alaska.edu/>. O MDE foi exportado para o software HEC-HMS (HEC, 2022) para tratamentos e delimitação da bacia.

Processamento para análise morfométrica

Para refinar os resultados, a bacia foi dividida em três sub-bacias (após a delimitação), e para cada sub-bacia foi realizado a caracterização morfométrica. Dados gerados no HEC-HMS foram exportados para o software QGIS 3.28 para confecção dos mapas.

Em planilha eletrônica, com as informações extraídas dos softwares QGIS e HEC-HMS foram realizados os cálculos das caracterizações morfométricas. As características geométricas (forma) corresponderam ao coeficiente de compacidade (Kc), fator de forma (Kf), índice de circularidade (Ic) e razão de alongação (Re).

O Kc é a relação entre o perímetro da sub-bacia e a área de um círculo de mesmo perímetro da sub-bacia em estudo, conforme apresentado por Villela & Mattos (1975), Equação 1.

$$Kc = 0,28 \times \frac{P}{A^{0,5}} \quad (1)$$

Em que: P = é o perímetro (km); e
A = é a área (km²).

Este coeficiente informa sobre a suscetibilidade de ocorrência de enchentes nas partes baixas da sub-bacia, sempre tem valor > 1 e que valores mais próximos da unidade estão mais propensos a enchentes.

O Kf é a relação entre a área e o comprimento do eixo da sub-bacia, com valores sempre menores que 1. Sub-bacias com pequenos valores de fator de forma são mais alongadas e estão menos sujeitas a inundações, visto que na ocorrência de chuva intensa é pouco provável cobrir toda a área da sub-bacia. O Kf foi obtido pela Equação 2 (Villela & Mattos, 1975).

$$Kf = \frac{A}{L^2} \quad (2)$$

Em que: L = é o comprimento do eixo da sub-bacia (km).

Cardoso et al. (2006) citaram que simultaneamente ao Kc, o Ic tende para 1 à medida que a sub-bacia se aproxima da forma circular e diminui à medida que a forma torna alongada. Este índice representa a relação entre a área total da sub-bacia e a área de um círculo de perímetro igual ao

da sub-bacia em estudo. Para esse cálculo foi utilizada a Equação 3 (Potter, 1957):

$$Ic = \frac{12,5 \times A}{P^2} \quad (3)$$

A Re é a relação entre a área e o comprimento do eixo da sub-bacia. Este índice indica que quanto maior o valor da razão de alongação, mais próximo de um círculo a sub-bacia será e com isso mais propenso a ocorrência de enchentes. Ele foi obtido pela Equação 4 (Schumm, 1963):

$$Re = 1,128 \frac{A^{0,5}}{L} \quad (4)$$

As características hidrográficas correspondem a densidade de drenagem (Dd), densidade hidrográfica (Dh), índice de sinuosidade do rio principal (Is), extensão média do escoamento superficial (Lm), sinuosidade do rio principal (Srp) e razão de textura (Rt). A Dd (km km⁻²) é a relação entre o comprimento da rede de drenagem, ou seja, o somatório dos comprimentos de todos os canais da rede, sejam eles perenes ou intermitentes, e a área da sub-bacia, calculada pela Equação 5 (Horton, 1945):

$$Dd = \frac{Rd}{A} \quad (5)$$

Em que: Rd = é o comprimento da rede de drenagem (km).

A Dh (rios km⁻²), também conhecida como frequência de canais ou densidade de rios, corresponde à relação entre o número de seguimentos de rios e a área da sub-bacia. Ela indica a densidade de nascentes na sub-bacia e foi calculado pela Equação 6 (Christofolletti, 1974):

$$Dh = \frac{N}{A} \quad (6)$$

Em que: N = é o número de seguimentos de rios.

O Is (%) é a relação entre o comprimento do canal principal e a distância vetorial entre os extremos do canal (Villela & Mattos, 1975), Equação 7:

$$Is = 100 \frac{R - L_{rp}}{R} \quad (7)$$

Em que: R = é o comprimento do rio principal (km); e

Lrp = é o comprimento do talvegue do rio principal (km).

Segundo Christofolletti (1981), o índice de sinuosidade poder ser classificado como mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 – Classificação para índice de sinuosidade.

Índice de sinuosidade (Is)	Classificação
< 20%	Canal muito reto
20% ≤ Is ≤ 30%	Canal reto
30% ≤ Is ≤ 40%	Canal divagante
40% ≤ Is ≤ 50%	Canal sinuoso
Is ≥ 50%	Canal muito sinuoso

Fonte: Christofolletti (1981).

A Lm (km) foi obtida como a relação entre a área e o comprimento da rede de drenagem da sub-bacia e é definido como a distância média que a água da chuva teria que percorre sobre o terreno da sub-bacia até um curso d'água qualquer. A Equação 8 forneceu essa estimativa (Villela & Mattos, 1975):

$$Lm = \frac{A}{4 \times Rd} \quad (8)$$

A Srp é representada pela relação entre o comprimento do rio principal e o comprimento do seu talvegue, como mostrado na Equação 9 e a Tabela 2 contém a classificação para a Srp (Schumm, 1963).

$$Srp = \frac{R}{Lrp} \quad (9)$$

Tabela 2 – Classificação para sinuosidade do rio principal.

Tipos	Valor do índice
1. Meandrantess	
1.1 Tortuoso	2,3
1.2 Irregulares	1,8
1.3 Meandros regulares	1,7
2. Transicional	1,3
3. Retos	1,1

Fonte: Schumm (1963).

A Rt foi obtida pela relação entre o número de seguimentos de rios e o perímetro da sub-bacia (Smith, 1950), Equação 10:

$$Rt = \frac{N}{P} \quad (10)$$

Em que: Rt = é a razão de textura (km); e
N = é o número do seguimento de rios.

As características do relevo seguiram aos parâmetros: declividade do rio principal, ou álveo, (S1), índice de rugosidade (Ir) e razão de relevo (Rr). Para a determinação da S1 (m m⁻¹) foi analisada a relação entre a diferença de cota e o comprimento horizontal do curso d'água, como mostra a Equação 11 (Villela & Mattos, 1975):

$$S1 = \frac{(Cota_{max} - Cota_{min})}{Lrp} \quad (11)$$

Em que: Cota_{max} = ponto mais alto do rio principal (m); e

Cota_{min} = ponto mais baixo do rio principal, (m).

O Ir foi obtido pelo produto entre a amplitude altimétrica e a densidade de drenagem dada pela Equação 12 (Christofolletti, 1980):

$$Ir = \Delta a \times Dd \quad (12)$$

Em que: Δa = é a amplitude altimétrica (km).

A Rr (m m⁻¹) é a relação entre a amplitude altimétrica e o comprimento axial da sub-bacia e foi obtida pela Equação 13 (Christofolletti, 1980).

$$Rr = \frac{\Delta a}{L} \quad (13)$$

Os mapas de rede de drenagem, altitude, hierarquia dos cursos d'água e declividade foram confeccionados no software QGIS 3.28 (QGIS Development Team, 2022).

Processamento para Uso e Ocupação do Solo

Com a delimitação da bacia (Shapefile), houve a exportação deste arquivo para a plataforma do Google Earth Engine (GEE) (<https://earthengine.google.com/>) onde foi realizado o processamento para obtenção dos mapas anuais de uso e ocupação do solo projeto MapBiomas (Coleção 8) e as áreas (km²) de suas respectivas classes encontrada na bacia hidrográfica.

Foi considerado para este estudo um período de 30 anos (1992 a 2022). Para a avaliação

visual e espacial das mudanças ocorridas no uso e ocupação do solo nesse período, selecionou-se 4 anos (imagens): 1992, 2002, 2012 e 2022. Para a análise estatística, quanto a tendência e magnitude de cada classe de uso e ocupação do solo, foi considerado todo o período, ou seja, 30 anos.

As classes de uso e ocupação do solo seguiu as propostas pelo projeto MapBiomas (Coleção 8), disponível em: <https://brasil.mapbiomas.org/codigos-de-legenda/> (Quadro 1).

Quadro 1 – Descrição proposta pelo projeto MapBiomas para cada classe de uso e ocupação do solo presente na bacia hidrográfica do rio Capiá.

Classes	Descrição
Formação Florestal	Tipos de vegetação com predomínio de dossel contínuo - Savana-Estépica Florestada, Floresta Estacional Semidecídua e Decidual
Formação savânica	Tipos de vegetação com predomínio de espécies de dossel semicontínuo - Savana-Estépica Arborizada, Savana Arborizada
Formação campestre	Tipos de vegetação com predomínio de espécies herbáceas (Savana-Estépica Parque, Savana-Estépica Gramíneo-Lenhosa, Savana Parque, Savana Gramíneo-Lenhosa) + (Áreas inundáveis com uma rede de lagoas interligadas, localizadas ao longo dos cursos de água e em áreas de depressões que acumulam água, vegetação predominantemente herbácea a arbustiva)
Pastagem	Áreas de pastagem predominantemente 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. Na Amazônia, podem ocorrer áreas desmatadas recentemente, sem ainda ter iniciado a atividade agropecuária.
Mosaico de Usos	Áreas de uso agropecuário onde não foi possível distinguir entre pastagem e agricultura.
Área urbanizada	Áreas com significativa densidade de edificações e vias, incluindo áreas livres de construções e infraestrutura
Outras Áreas não vegetadas	Áreas de superfícies não permeáveis (infraestrutura, expansão urbana ou mineração) não mapeadas em suas classes
Rio, Lago e Oceano	Rios, lagos, represas, reservatórios e outros corpos d'água.
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.

Fonte: MapBiomas (2025).

Análise estatística

A linguagem de programação R foi utilizada para a análise de tendência, através do Teste Mann Kendall, e para a análise da magnitude da tendência, através do Estimador Sen's Slope, das classes de uso e ocupação do solo durante os 30 anos estudados. O R possui diversas funções estatísticas que são implementadas através de pacotes ou "packages" como o "trend" que foi utilizado para realizar o teste Mann-Kendall e Sen's Slope.

O Teste Mann-Kendall (Kendall, 1975; Mann, 1945) é utilizado para determinar se uma série de dados possui tendência temporal estatisticamente significativa, visando determinar se ocorre tendência de diminuição, tendência de aumento ou ausência de tendência ao longo do tempo (Lopes et al., 2024). Por isso, o Teste Mann-

Kendall é um método muito utilizado em meio ambiente (Lins et al., 2021).

A estatística do Teste de Mann Kendall é a seguinte:

$$S = \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \text{sign}(x_j - x_i) \quad (14)$$

$$\text{sign}(x_j - x_i) = \begin{cases} +1 & \text{se } x_j > x_i \\ 0 & \text{se } x_j = x_i \\ -1 & \text{se } x_j < x_i \end{cases} \quad (15)$$

Em que: x_i e x_j = são os dados ou amostras estimadas da sequência de valores; e

N é comprimento da série ou total acumulado de amostras.

Kendall (1975) mostrou que S é normalmente distribuída com média $M(S)$ e variância $Var(S)$, para uma situação na qual pode haver valores iguais de x , são calculadas pelas equações 16 e 17:

$$M(S) = 0 \quad (16)$$

$$Var(S) = \frac{N(N-1)(2N+5) - \sum_{i=1}^N t_i(t_i-1)(2t_i+5)}{18} \quad (17)$$

Em que: t_i = é o número de observações com empates dentro do grupo de amostras i .

Os valores padronizados do teste estatístico (Z) serão calculados a partir da seguinte equação 18:

$$Z = \begin{cases} \frac{S-1}{\sqrt{Var(S)}} & \text{se } S > 0 \\ 0 & \text{se } S = 0 \\ \frac{S+1}{\sqrt{Var(S)}} & \text{se } S < 0 \end{cases} \quad (18)$$

Valores positivos de Z indicam tendências crescentes, enquanto valores negativos de Z denotam tendências decrescentes.

O Estimador Sen's Slope (Sen, 1968) é uma opção da estatística não-paramétrica para determinar a taxa de variação de parâmetros em séries temporais, usado geralmente em conjunto com o Teste de Mann-Kendall. É utilizado para

estimar a inclinação da tendência em conjunto de dados de uma série temporal (Lopes et al., 2024).

O Estimador Sen's Slope determina a magnitude da inclinação (coeficiente angular) da reta pelo cálculo da mediana das inclinações de todas as linhas entre cada par de pontos de uma série temporal, os quais podem apresentar tendência temporal negativa ou positiva, estatisticamente significativa no Teste Mann-Kendall (Dagnachew et al., 2020).

A estatística do Estimador Sen's Slope é a seguinte:

$$\beta_n = \left\{ b_{ij} : b_{ij} = \frac{x_j - x_i}{t_j - t_i}, \text{ se } t_i \neq t_j, 1 \leq i < j \leq n \right\} \quad (19)$$

Resultados e discussão

Análise morfométrica

A compartimentação espacial da bacia hidrográfica do rio Capiá em três sub-bacias, bem como a organização hierárquica do sistema de drenagem e o gradiente altimétrico associado é evidenciada na Figura 2. Essa configuração morfológica revela um arranjo típico de bacias semiáridas, onde o contraste entre áreas de maior altitude, como o Maciço de Mata Grande, e áreas rebaixadas da Depressão Sertaneja, influencia diretamente a dinâmica do escoamento superficial.

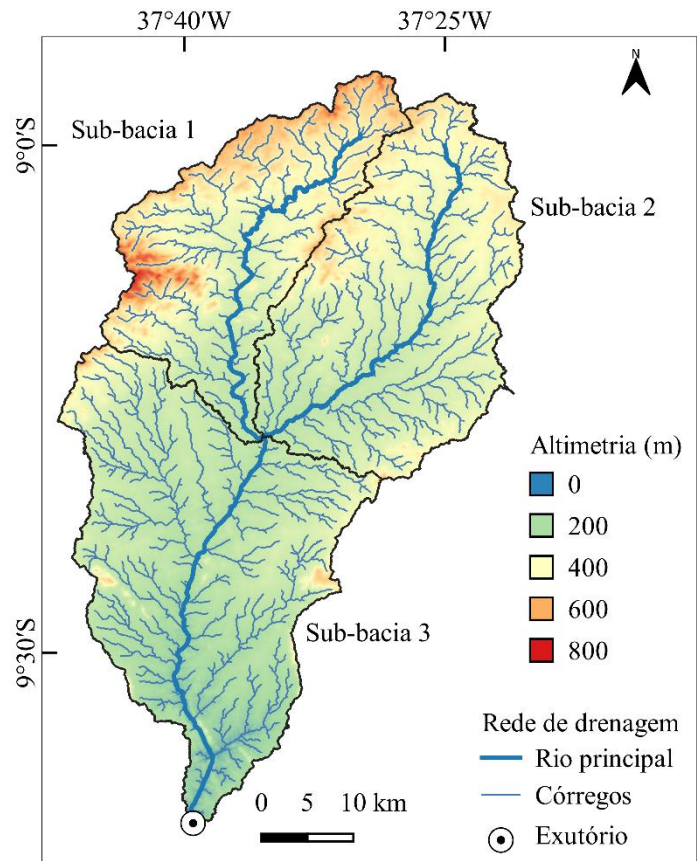


Figura 2 - Divisão da Bacia hidrográfica do rio Capiá em Sub-bacias e a distribuição da rede de drenagem
Fonte: Autores (2024).

Estudos recentes apontam que a integração entre análises altimétricas e morfométricas permite identificar zonas críticas para a geração de escoamento e erosão, especialmente em áreas de relevo plano que tendem a concentrar atividades antrópicas (J. R. I. Silva et al., 2022). Além disso, pesquisas no semiárido da Paraíba destacam que a associação entre gradientes altimétricos e uso da terra tem acelerado processos de desertificação e perda de corpos hídricos, com reduções superiores a 50% em algumas bacias (Lopes et al., 2024).

As características morfométricas das sub-bacias e da bacia principal apresentam uma variação importante (Tabela 3), onde se observa uma variabilidade significativa nos valores de perímetro, área e comprimento do eixo principal entre as sub-bacias. Esses parâmetros são cruciais para a análise hidrológica e o entendimento do comportamento das bacias hidrográficas, pois influenciam diretamente a resposta hidrológica da área estudada.

Tabela 3 - Características geométricas da bacia hidrográfica do rio Capiá.

Características Geométricas	Sub-bacia			Bacia
	1	2	3	
Perímetro (km)	210,850	218,625	252,025	393,025
Área (km²)	590,271	798,266	952,102	2340,734
Comprimento do eixo da sub-bacia (km)	41,757	42,483	53,197	84,314
Coefficiente de compacidade (Kc)	2,430	2,167	2,287	2,275
Fator de forma (Kf)	0,339	0,442	0,336	0,329
Índice de circularidade (Ic)	0,166	0,209	0,187	0,189
Razão de alongação (Re)	0,656	0,750	0,654	0,647

Fonte: Autores (2024).

O Kc apresentou dados superiores a 2 em todas as sub-bacias analisadas (Tabela 3), assim como na bacia principal, que apresentou um Kc de 2,275. Esses valores indicam que tanto as sub-

bacias quanto a bacia principal possuem uma forma mais alongada, implicando em menor susceptibilidade a eventos de enchente (J. R. I. Silva et al., 2022). Os valores de Kf obtidos para as

sub-bacias 1, 2 e 3 corroboram os dados de Kc, indicando uma baixa susceptibilidade a enchentes nessas regiões da bacia hidrográfica. Esses valores refletem a morfometria mais alongada das sub-bacias, uma característica que favorece a dispersão do escoamento superficial e diminui a concentração de fluxos, o que, por sua vez, reduz o risco de ocorrência de inundações.

Esse comportamento é justificado pelo fato de bacias mais alongadas geralmente apresentarem um tempo de concentração maior, o que permite uma maior dissipação da energia das águas pluviais antes que estas atinjam o exutório, como também foi observado por Ê. G. F. Souza et al. (2021), ao estudar a bacia do Riacho do Navio em Pernambuco, que apresentou um Kc de 2,10 e Kf de 0,29 e Hirata & Burkert (2020) encontrou 0,328 para bacia Ribeirão Lajeado, em São Paulo, ambos os valores, situados abaixo de 0,5, são indicativos de bacias com formas mais alongadas, corroborando a associação entre um Kf reduzido e uma menor propensão a eventos de enchente. Comparando a sub-bacia 2 do presente estudo e a bacia do Riacho da Navio, a área desta bacia é 4 vezes maior, porém, o comprimento do eixo da

bacia é apenas 2,5 maior, o que comprova menor Kf para a bacia do Riacho do Navio.

Além disso, o Ic e o Re desempenham um papel semelhante na avaliação da forma da bacia. No presente estudo, as sub-bacias analisadas, bem como a bacia principal, apresentaram valores de Ic e Re que sugerem formas mais alongadas e irregulares, características que reduzem a velocidade e a concentração dos fluxos de água (Tabela 3). O Ic fornece uma medida da similaridade da forma da bacia em relação a um círculo e o Re relaciona a área da bacia com o perímetro de um círculo de área equivalente, fornecendo uma outra perspectiva sobre a tendência de concentração do escoamento (A. M. S. Chaves et al., 2022). Estudos como o de D. C. C. Silva et al. (2016), demonstram que bacias com baixos valores de Ic e Re indicam formas distintas de um círculo, são menos suscetíveis a eventos de inundação devido à menor dispersão do escoamento superficial.

As características hidrográficas das sub-bacias, apresentadas na Tabela 4, são fundamentais para avaliar sua capacidade de drenagem. Parâmetros como Dd, N, R e Lrp constituem a base para a determinação de índices hidrológicos essenciais para o entendimento da dinâmica hídrica da bacia.

Tabela 4 - Características Hidrográficas da bacia hidrográfica do rio Capiá.

Características Hidrográficas	Sub-bacia			Bacia
	1	2	3	
Comprimento da rede de drenagem (Rd) (km)	468,166	630,820	764,022	1863,008
Número de seguimento de rios (N)	323	399	465	1187
Comprimento do rio principal (R) (km)	57,180	52,172	53,523	162,875
Comprimento do talvegue do rio principal (Lrp) (km)	34,559	37,412	42,815	78,879
Densidade de drenagem (Dd) (km km ⁻²)	0,793	0,790	0,802	0,796
Densidade hidrográfica (Dh) (km ⁻²)	0,547	0,500	0,488	0,507
Índice de sinuosidade do rio principal (Is) (%)	39,561	28,291	20,006	51,571
Extensão média do escoamento superficial (Lm) (km)	0,315	0,316	0,312	0,314
Sinuosidade do rio principal (Srp)	1,655	1,395	1,250	2,065
Razão de textura (Rt) (km ⁻¹)	1,532	1,825	1,845	3,020

Fonte: Autores (2024).

A Dd da bacia e de suas sub-bacias apresentou um valor aproximado de 0,8, o que, de acordo com a classificação de Villela & Mattos (1975), qualifica a bacia em estudo como de densidade de drenagem regular. A uniformidade observada nesse valor de Dd ao longo das sub-bacias indica uma homogeneidade nas características hidrológicas e morfológicas. Segundo Christofolletti (1980), a Dd reflete não apenas os controles ambientais, como clima e vegetação, mas também exerce uma influência significativa sobre o escoamento superficial e o transporte de sedimentos. Essa métrica, portanto, é uma ferramenta valiosa para a compreensão dos

processos hidrológicos e geomorfológicos que moldam uma bacia hidrográfica.

Além disso, conforme apontado por Dornellas et al. (2020), valores de Dd semelhantes são comuns em regiões semiáridas, onde o relevo tende a apresentar um baixo grau de dissecação. Essa característica é típica de áreas com precipitação limitada e vegetação esparsa, resultando em uma menor densidade de drenagem em comparação com regiões mais úmidas. A homogeneidade da Dd na bacia estudada reflete, portanto, as condições semiáridas da região, sugerindo que os processos erosivos e o transporte de sedimentos ocorrem de maneira equilibrada ao longo da bacia.

Os cursos fluviais desempenham um papel como agentes modeladores da superfície terrestre, influenciando diretamente a evolução da paisagem (Panta et al., 2022). A Dh revelou que, em média, há 0,5 segmento de rio por km², indicando uma baixa densidade de drenagem. Segundo C. V. T. Silva et al. (2017), essa baixa Dh sugere uma capacidade limitada da bacia para gerar e sustentar novos cursos fluviais. Em um ambiente com déficit de drenagem, a formação de novos segmentos de rio é dificultada, o que pode resultar em uma menor variabilidade na paisagem fluvial e na redução da conectividade da rede de drenagem.

O Is variou conforme a sub-bacia, revelando características distintas entre elas. De acordo com a classificação de Christofolletti (1981), as sub-bacias 1 e 2 possuem cursos d'água predominantemente retos, o que indica uma menor resistência ao fluxo de água, associada a terrenos com inclinações acentuadas ou litologia homogênea, favorecendo o escoamento direto. Em contraste, a sub-bacia 3 é classificada como divagante, característica de áreas onde o rio interage de forma mais complexa com o terreno, possivelmente devido a variações na resistência do substrato, presença de sedimentos fluviais ou mudanças na topografia. Quando analisada a bacia hidrográfica como um todo, o rio principal foi classificado como muito sinuoso, evidenciando um alto grau de meandragem.

A Srp seguiu a variação do Is, fornecendo uma perspectiva adicional sobre o grau de curvatura dos cursos fluviais. Segundo a classificação de Schumm (1963), a sub-bacia 1 apresenta um meandro regular, indicando um padrão fluvial mais estável e equilibrado. Já as sub-bacias 2 e 3 possuem cursos d'água transicionais, sugerindo que essas sub-bacias estão em um estágio intermediário entre a retidão e a tortuosidade extrema. Em contraste, o rio principal da bacia foi classificado como tortuoso, reforçando a observação de sua elevada sinuosidade e a presença de meandros bem desenvolvidos.

A Lm apresentou valores semelhantes em todas as sub-bacias, indicando que, independentemente da localização dentro da bacia, a água de chuva percorre aproximadamente 0,31 km até encontrar um curso d'água. Esse valor reflete a homogeneidade na distribuição da rede de drenagem, sugerindo uma configuração relativamente uniforme dos cursos d'água em relação à topografia. Existe uma relação inversa entre a Dd e Lm, pois uma maior presença de cursos d'água implica em uma menor distância percorrida pela água até o curso d'água (Hirata & Burkert, 2020). Segundo Olszewski et al. (2011), Lm pequenas podem provocar alagamentos em

dias de chuvas intensas, pois a água não teria tempo suficiente para infiltrar no solo.

A Rt não apresentou variações significativas entre as sub-bacias. No entanto, o valor de Rt para a bacia foi mais elevado, atingindo 3,020 km⁻¹ (Tabela 4), o que sugere uma maior complexidade na organização espacial dos cursos d'água em comparação com as sub-bacias individuais. Conforme a classificação proposta por França (1968), as sub-bacias são caracterizadas como "groseiras", sugerindo um padrão de drenagem mais simples e menos intrincado. Por outro lado, a classificação da bacia principal como "média" indica um nível intermediário de ramificação, refletindo uma maior complexidade na rede de drenagem, que agrega os cursos d'água de todas as sub-bacias, resultando em uma rede mais extensa e intrincada.

As características do relevo, conforme descritas na Tabela 5, desempenham um papel fundamental na compreensão da dinâmica ambiental e hidrológica da bacia hidrográfica. A cota máxima e mínima do rio principal, que representam os pontos mais alto e mais baixo ao longo do curso d'água, são indicadores essenciais para diversos estudos, incluindo o zoneamento climático. Esses parâmetros, igualmente relevantes para a bacia como um todo, influenciam diretamente variáveis climáticas como temperatura e precipitação, as quais são moduladas pela altitude. Conforme indicado por Fritzsons et al. (2016) e Marinho et al. (2021), existe uma relação proporcional entre altitude e temperatura, sendo que, em alguns casos, foi estimado que a temperatura diminui em aproximadamente 0,47°C para cada 100 metros de elevação, como observado no estado de Santa Catarina no mês de janeiro.

A declividade do rio, que é expressa pela inclinação longitudinal do curso d'água, é um fator determinante para a velocidade de escoamento, influenciando diretamente a dinâmica do fluxo hídrico e a propensão à ocorrência de enchentes. A S1 apresentou uma declividade de 0,005 km km⁻¹ (Tabela 5), o que é indicativo de um escoamento relativamente lento, que pode afetar tanto a capacidade de transporte de sedimentos quanto a suscetibilidade a inundações. O Ir, que é uma métrica que pode sinalizar a propensão a enchentes, está intimamente relacionado com a Dd. No caso das sub-bacias 1 e 2, os valores de Ir foram menores em comparação à sub-bacia 3, enquanto a bacia como um todo apresentou um valor mais elevado de 0,628. Este valor é superior ao encontrado por Ê. G. F. Souza et al. (2021) para a bacia do Riacho do Navio, que foi de 0,38. Dado que a amplitude altimétrica entre a bacia em estudo e a bacia do Riacho do Navio é semelhante, a maior densidade

de drenagem observada no presente estudo sugere uma maior propensão à ocorrência de escoamentos superficiais concentrados, o que pode elevar o risco de inundações.

A Rr representa a diferença de elevação entre a cabeceira e a foz do rio. Este índice é diretamente proporcional à quantidade de água que escoar superficialmente na bacia. Segundo a classificação de Rossi & Pfeifer (1999), a Rr do rio Capiá é considerada baixa tanto nas sub-bacias quanto na bacia principal. Isso indica que, embora a topografia influencie a dinâmica do escoamento,

a capacidade da bacia em reter água superficialmente é relativamente alta, o que pode mitigar a velocidade e a concentração do escoamento, reduzindo, portanto, a ocorrência de enchentes. Este cenário de baixa razão de relevo, associado a uma densidade de drenagem regular, sugere uma bacia com condições relativamente equilibradas em termos de escoamento superficial, o que pode ser benéfico para a gestão de recursos hídricos e a prevenção de desastres naturais relacionados a inundações.

Tabela 5 - Características de relevo da bacia hidrográfica do rio Capiá.

Características de Relevo	Sub-bacia			Bacia
	1	2	3	
Cota máxima do rio principal (m)	419	381	231	381
Cota mínima do rio principal (m)	234	232	6	6
Cota máxima da bacia (m)	787	741	666	793
Cota mínima da bacia (m)	234	232	6	4
Declividade do rio principal (S1) (km km ⁻¹)	0,005	0,004	0,005	0,005
Índice de rugosidade (Ir)	0,439	0,402	0,530	0,628
Razão de relevo (Rr)	0,013	0,012	0,012	0,009

Fonte: Autores (2024).

O sistema de drenagem da bacia em estudo, de acordo com a classificação proposta por Strahler (1957), é classificado como de sexta ordem (Figura 3a), considerando a bacia como um todo. No entanto, ao realizar a análise separadamente por sub-bacias, a ordem do rio principal se modifica. As sub-bacias foram delimitadas a partir das bifurcações do rio principal, com o exutório localizado na sub-bacia 3 (Figura 2). Isso implica que as sub-bacias 1 e 2 são classificadas como de terceira ordem, refletindo uma menor complexidade no padrão de drenagem quando comparadas à bacia principal. Lopes et al. (2024) observaram comportamento semelhante no Cariri Ocidental paraibano, onde a rede hidrográfica, embora de menor densidade, sofre forte pressão da desertificação e do uso antrópico, o que compromete a manutenção de corpos hídricos.

A Figura 3b apresenta o mapa de declividade da bacia, enquanto a Tabela 6 detalha as classes de declividade. A declividade máxima registrada foi de 120,83%, com uma média de 8,36%, o que caracteriza a bacia como de relevo predominantemente plano a ondulado. Conforme destacado por Salis et al. (2020), o conhecimento sobre a distribuição espacial das classes de relevo é de extrema relevância para o planejamento territorial, cumprimento da legislação ambiental e eficácia das práticas de intervenção antrópica. O

entendimento dessas variações topográficas permite a adoção de medidas adequadas para a conservação do solo, manejo hídrico e desenvolvimento sustentável.

Geograficamente, a bacia está situada entre o Planalto da Borborema, ao norte, e a Depressão Sertaneja, caracterizada como um conjunto de terras de baixa elevação, com altitudes médias de aproximadamente 250 metros (Panta et al., 2022). Essa configuração geológica influencia diretamente a distribuição das classes de declividade dentro da bacia.

A classe de relevo predominante é a do tipo plano, localizada principalmente na Depressão Sertaneja, que corresponde a 63,95% da área total da bacia, ou seja, cerca de 1.497,15 km². Essa predominância de áreas planas é crucial para a definição de usos do solo, particularmente em regiões suscetíveis a práticas agrícolas ou expansão urbana. O centro da bacia, onde prevalece o relevo plano, contrasta com as regiões de relevo mais acidentado, como a área da foz e o noroeste da bacia, onde se encontram terrenos de relevo forte ondulado e montanhoso. Essas áreas com maior declividade são de particular interesse para o manejo do uso do solo e implementação de práticas de conservação, dado o maior potencial de erosão e escoamento superficial.

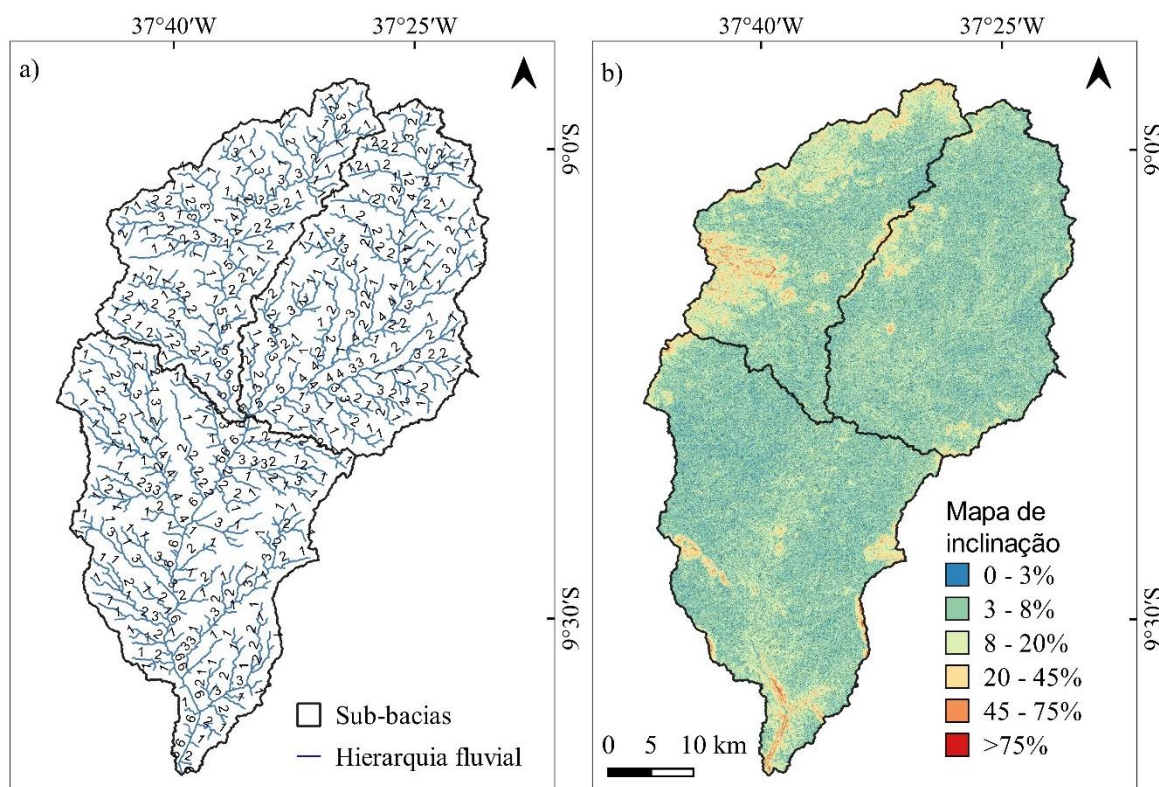


Figura 3 - Representação da hierarquia dos cursos d'água segundo o método de Strahler (1957) (a) e Mapa de inclinação classificado em classes (b).

Fonte: Autores (2024).

Tabela 6 - Classes de relevo da bacia hidrográfica Capiá.

Classes de relevo	Declividade (%)	Área (%)	Área (km ²)
Plano	0 - 3	63,95	1497,15
Suave ondulado	3 - 8	12,26	286,94
Ondulado	8 - 20	21,30	498,70
Forte ondulado	20 - 45	2,17	50,88
Montanhoso	45 - 75	0,25	5,77
Escarpado	> 75	0,07	1,55

Fonte: Autores (2024).

Na sub-bacia 1, encontra-se o Maciço de Mata Grande, localizado no município de Mata Grande. Essa região é definida como um "brejo de altitude", uma área de relevância ecológica e climática que se destaca por suas condições distintas em comparação com as regiões semiáridas circundantes. Os brejos de altitude são conhecidos por possuírem um microclima subúmido, caracterizado por taxas de precipitação significativamente mais elevadas e temperaturas mais amenas em relação às áreas vizinhas, que sofrem com a aridez típica do semiárido.

O Maciço de Mata Grande eleva-se a altitudes superiores a 800 metros (Figura 2). Essas altitudes elevadas são responsáveis por influenciar a dinâmica climática local, criando um ambiente que difere substancialmente do padrão climático regional (Gois et al., 2021; Panta et al., 2022). Em tais elevações, a precipitação tende a ser mais abundante devido ao efeito orográfico, onde as

massas de ar ascendentes encontram o relevo elevado, resfriam-se e condensam, resultando em precipitação.

Essa variação na altitude faz com que o Maciço de Mata Grande atue como uma área de recarga hídrica significativa para a bacia hidrográfica, contribuindo para a manutenção dos fluxos fluviais, mesmo durante os períodos de estiagem que afetam as regiões mais baixas. Além disso, a vegetação associada aos brejos de altitude desempenha um papel crucial na conservação do solo e na regulação dos ciclos hidrológicos, contribuindo para a estabilização dos solos e redução da erosão (Gois et al., 2021).

Uso e ocupação do solo

A Figura 4 mostra a distribuição espacial e temporal do uso e cobertura do solo na bacia do rio Capiá ao longo dos anos de 1992, 2002, 2012 e 2022. As classes predominantes identificadas

durante o período avaliado foram a Formação Savânica, que inclui a vegetação de caatinga, e as áreas destinadas à Pastagem, que representam as atividades agropecuárias amplamente desenvolvidas na região onde se insere a bacia hidrográfica (Tabela 7). A formação florestal predominância é a caatinga ($\approx 75\%$), seguida pela agropecuária (17–21%), mas com tendência de redução de corpos hídricos (de 1,350 km² em 1992 para 0,919 km² em 2022) e aumento das áreas urbanizadas. Esse cenário é consistente com estudos recentes na Caatinga, que apontam a redução de águas superficiais em taxas anuais de até 5,1% na última década (C. M. Souza et al., 2020).

A distribuição espacial das atividades agropecuárias e da vegetação nativa na bacia está intimamente relacionada às características topográficas da região. Observa-se que a atividade agropecuária é mais concentrada no centro da bacia, onde predominam áreas de relevo mais plano, facilitando a implantação de pastagens e o cultivo agrícola. Em contrapartida, as áreas circundantes da bacia, caracterizadas por relevo mais montanhoso, abrigam predominantemente a vegetação de caatinga. A maior presença de atividades agropecuárias em áreas planas é explicada pela sua aptidão natural para essas práticas, que requerem terrenos com menor inclinação e maior acessibilidade para o manejo humano (Araújo Filho et al., 2018).

Essa distribuição diferenciada reflete o impacto das condições topográficas no uso e cobertura do solo, onde a planície central é mais suscetível à conversão para usos agrícolas, enquanto as áreas montanhosas ao redor

permanecem menos alteradas, preservando a vegetação nativa. Tal padrão espacial evidencia a relação entre relevo e práticas de uso da terra, além de indicar tendências de pressão antrópica nas zonas mais acessíveis e favoráveis à agricultura e pecuária.

A análise quantitativa confirma a expansão das áreas urbanas na bacia e a predominância das áreas de pastagem (Tabela 7). O crescimento urbano, por sua vez, segue tendências observadas em outras regiões semiáridas, nas quais a expansão das cidades eleva a pressão sobre os recursos hídricos e compromete a qualidade da água (L. C. G. Chaves et al., 2019). A predominância das áreas de pastagem corrobora com estudos regionais que registraram forte crescimento dessas áreas. Lopes et al. (2024), por exemplo, identificaram aumento de 42,87% das pastagens no Cariri Ocidental da Paraíba, acompanhado por redução de 51,33% da superfície de corpos hídricos, fenômeno diretamente associado à seca prolongada e ao processo de desertificação.

A vegetação predominante na bacia inclui formações florestais, savânicas e campestres, que em sua maioria são representativas da vegetação caatinga. No entanto, essas formações vegetais ocupam uma área significativamente menor em comparação às áreas de pastagem.

O desmatamento para a expansão de pastagens e a agricultura, juntamente com outras atividades antropogênicas, são os principais motores das mudanças no uso e cobertura da terra nos biomas brasileiros. Essas alterações têm impactos profundos sobre a biodiversidade, os recursos hídricos e o clima em escala local e regional (C. M. Souza et al., 2020).

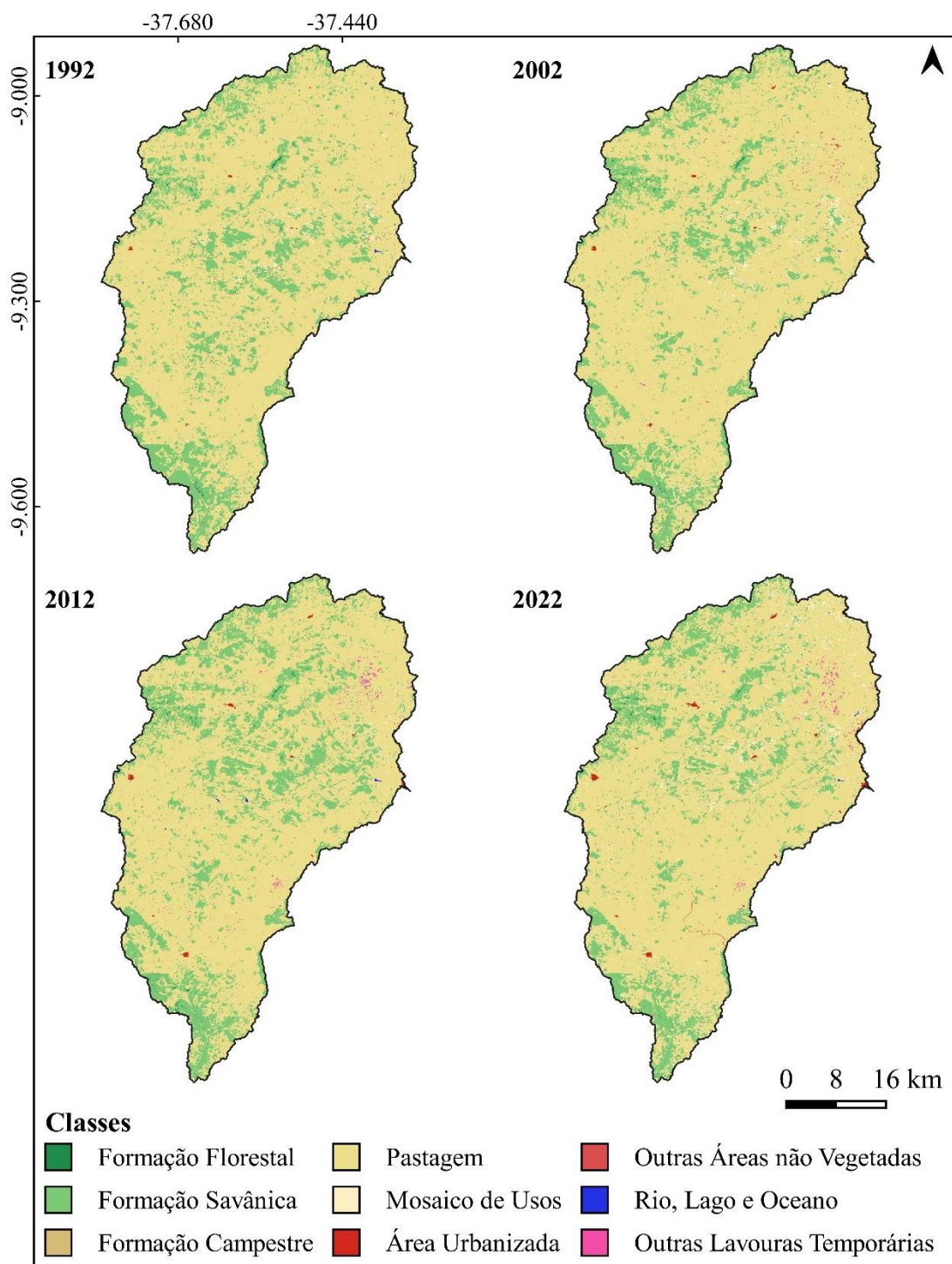


Figura 4 - Dinâmica da cobertura e uso da terra na Bacia hidrográfica do rio Capiá para os anos de 1992, 2002, 2012 e 2022.

Fonte: Autores (2024).

A presença de corpos d'água na bacia, incluindo rios, lagos e o oceano, diminuiu ao longo dos últimos 30 anos, passando de 1,350 km² em 1992 para 0,919 km² em 2022. Essa tendência está em conformidade com os achados de C. M. Souza

et al. (2020), que identificaram que o bioma Caatinga apresentou a maior taxa de redução das águas superficiais em comparação com outros biomas brasileiros na década de 2010, com uma taxa média anual de declínio de -5,1% ao ano.

Tabela 7 - Área ocupada por cada classe de uso e ocupação do solo na Bacia hidrográfica do rio Capiá para os anos de 1992, 2002, 2012 e 2022.

Classes	Área ocupada (km ²)			
	1992	2002	2012	2022
Formação florestal	1,881	2,177	3,138	1,510
Formação savânica	465,889	397,274	518,820	411,430
Formação campestre	0,609	1,874	0,439	1,986
Pastagem	1.839,924	1.885,444	1.792,315	1.827,764
Mosaico de usos	28,350	46,725	15,388	84,338
Área urbanizada	0,996	1,791	3,063	5,262
Outras áreas não vegetadas	2,102	2,477	0,315	1,598
Rio, lago e oceano	1,350	1,014	1,007	0,919
Outras lavouras temporárias	-	2,324	6,615	6,293

Fonte: Autores (2024).

A Tabela 8 expande a análise apresentada na Tabela 7 ao fornecer uma avaliação estatística detalhada das tendências de mudança nas

diferentes classes de uso e cobertura do solo dentro da bacia estudada, além de quantificar a magnitude dessas tendências ao longo do tempo.

Tabela 8 - Análise estatística do Teste de Mann Kendall e Estimador Sen's Slope para as classes de uso e ocupação do solo na Bacia hidrográfica do rio Capiá.

Classes	Tendência (Mann-Kendall)		Magnitude (km ² ano ⁻¹) (Sen's Slope)	Significância (p-value) *
	S	Z		
Formação florestal	-62,000	-1,037	-0,012	p > 0,05
Formação savânica	65,000	1,088	0,708	p > 0,05
Formação campestre	193,000	3,263	0,038	p < 0,05
Pastagem	-173,000	-2,957	-1,789	p < 0,05
Mosaico de Usos	69,000	1,156	0,545	p > 0,05
Área urbanizada	465,000	7,886	0,127	p < 0,05
Outras Áreas não vegetadas	-19,000	-0,306	-0,004	p > 0,05
Rio, Lago e Oceano	-131,000	-2,210	-0,023	p < 0,05
Outras lavouras temporárias	195,000	4,532	0,255	p < 0,05

*p > 0,05: não significativo a nível de 5% de probabilidade; p < 0,05: significativo a 5% de probabilidade.

Fonte: Autores (2024).

A classe Formação Florestal apresentou uma tendência de redução ao longo dos anos, como indicado pelo valor negativo da estatística S, com uma taxa média de declínio de -0,012 km² por ano. Essa diminuição foi confirmada pelo teste padronizado Z, embora a tendência observada não tenha sido estatisticamente significativa a um nível de 5% de probabilidade (p > 0,05). Isso sugere que, apesar de haver uma diminuição na área florestal, a variação anual é pequena e pode não representar uma mudança consistente ou significativa no período analisado.

Por outro lado, a Formação Savânica, mostrou uma tendência de crescimento na bacia, com uma taxa média de expansão de 0,708 km² por ano. No entanto, similar à Formação Florestal, essa tendência de aumento não atingiu significância estatística a um nível de 5% de probabilidade, indicando que as flutuações observadas podem não ser suficientemente robustas para afirmar uma mudança definitiva na cobertura de savanas.

A classe Formação Campestre foi a única entre as formações naturais que apresentou uma tendência de aumento estatisticamente significativa, com uma taxa de crescimento de 0,038 km² por ano. Esse aumento sugere que áreas abertas com vegetação herbácea estão se expandindo, o que pode estar relacionado a processos de degradação ambiental ou mudanças no uso do solo que favorecem a conversão de áreas mais densas em formações campestres.

A classe Pastagem, que historicamente domina a ocupação do solo na bacia, revelou uma tendência de diminuição significativa, com uma taxa de -1,789 km² por ano. Essa redução é contrária à tendência observada em estudos mais amplos do bioma Caatinga, como o de C. M. Souza et al. (2020), que identificaram uma estabilização da área de pastagem após 1985. A divergência nos resultados pode ser atribuída à escala menor da bacia hidrográfica do rio Capiá, onde dinâmicas locais podem influenciar de forma diferente as tendências de uso do solo.

A classe Mosaico de Usos, que abrange áreas utilizadas tanto para pastagem quanto para agricultura, mostrou uma tendência de crescimento, embora de maneira não significativa, com uma taxa de $0,545 \text{ km}^2$ por ano. Essa expansão, embora não significativa, é consistente com a literatura que aponta para o aumento de áreas agrícolas na região, sugerindo uma transformação gradual do uso do solo em direção a práticas agrícolas intensivas (Alves et al., 2023; C. M. Souza et al., 2020). Esse processo, embora aumente a produção, pressiona ecossistemas frágeis e agrava riscos de desertificação, já identificados como crescentes na Caatinga (IPCC, 2019; Lopes et al., 2024).

Em termos de urbanização, a Área Urbanizada apresentou uma tendência significativa de aumento, com uma taxa de crescimento de $0,127 \text{ km}^2$ por ano. Esse aumento reflete o processo de expansão urbana na bacia, possivelmente associado ao crescimento populacional e à expansão das infraestruturas, o que pode trazer implicações significativas para a gestão dos recursos naturais e para o planejamento territorial da região.

A classe Outras Áreas Não Vegetadas, que inclui construções humanas como o Canal do Sertão de Alagoas, demonstrou uma leve tendência de diminuição, com uma taxa de $-0,004 \text{ km}^2$ por ano. Contudo, essa variação não foi significativa, sugerindo que as mudanças nessas áreas não foram expressivas durante o período estudado.

Os Corpos d'Água dentro da bacia apresentaram uma significativa tendência de declínio, com uma taxa de redução de $-0,023 \text{ km}^2$ por ano. Essa diminuição na área de corpos d'água pode ser um indicativo de processos como o assoreamento, diminuição das chuvas, ou aumento na demanda hídrica, especialmente preocupante em uma região semiárida. A presença do Canal do Sertão, que atravessa a bacia, é um fator relevante a considerar, pois, embora traga benefícios em termos de abastecimento hídrico, também pode impactar a hidrologia local de forma complexa.

A classe Outras Lavouras Temporárias, que começou a surgir na bacia após 1998, representando cultivos anuais como milho e feijão, mostrou uma tendência significativa de aumento, com uma taxa de crescimento de $0,255 \text{ km}^2$ por ano. Esse crescimento destaca a intensificação agrícola na bacia, com a expansão de cultivos que são fundamentais para a economia local, mas que também podem exercer pressão sobre os recursos naturais, especialmente em um ambiente já caracterizado por desafios hídricos e de solo.

A Figura 5 ilustra a evolução da área ocupada por diferentes classes de uso e cobertura do solo na bacia ao longo do período estudado, proporcionando uma visão detalhada das mudanças espaciais e temporais que ocorreram. Cada classe apresentou um comportamento distinto ao longo do tempo, variando em intensidade e direção das tendências observadas.

A Formação Savânica, representada na Figura 5B, mostrou um comportamento quase regular e constante, sem grandes variações ao longo dos 30 anos analisados. Esse comportamento sugere uma estabilidade relativa na cobertura de savanas, que pode estar associada a uma menor pressão antrópica ou a características ecológicas que conferem resiliência a essa formação vegetal.

Em contraste, a Área Urbanizada, mostrada na Figura 5F, apresentou um crescimento evidente e linear, com uma tendência ascendente clara ao longo do tempo. Esse padrão de crescimento indica um processo contínuo de urbanização na bacia, refletindo a expansão urbana e a intensificação das atividades humanas, que podem trazer implicações importantes para a gestão dos recursos naturais e para o planejamento urbano.

A linha vermelha sobreposta às curvas nas figuras representa a tendência linear projetada com base nos 30 anos de dados disponíveis. Linhas ascendentes sugerem uma tendência de crescimento na área ocupada por determinadas classes, enquanto linhas descendentes indicam uma tendência de diminuição. Essa análise visual é complementada por testes estatísticos que confirmam ou contestam as tendências observadas.

É importante destacar a discrepância observada na Figura 5A, onde a tendência linear projetada indicou um leve crescimento na área ocupada, em contraste com os resultados do teste estatístico de Mann-Kendall e da inclinação de Sen, que sugeriram um leve declínio. Essa divergência sugere que a linearidade pode não capturar adequadamente a complexidade das mudanças ocorridas nessa classe específica. Ao aplicar uma linha de tendência polinomial de segunda ordem, a análise indicaria um decaimento na área ocupada, corroborando com os resultados dos testes estatísticos. Isso destaca a importância de utilizar diferentes abordagens analíticas para interpretar as tendências de mudança na cobertura do solo, garantindo uma compreensão mais precisa e robusta dos processos em curso na bacia.

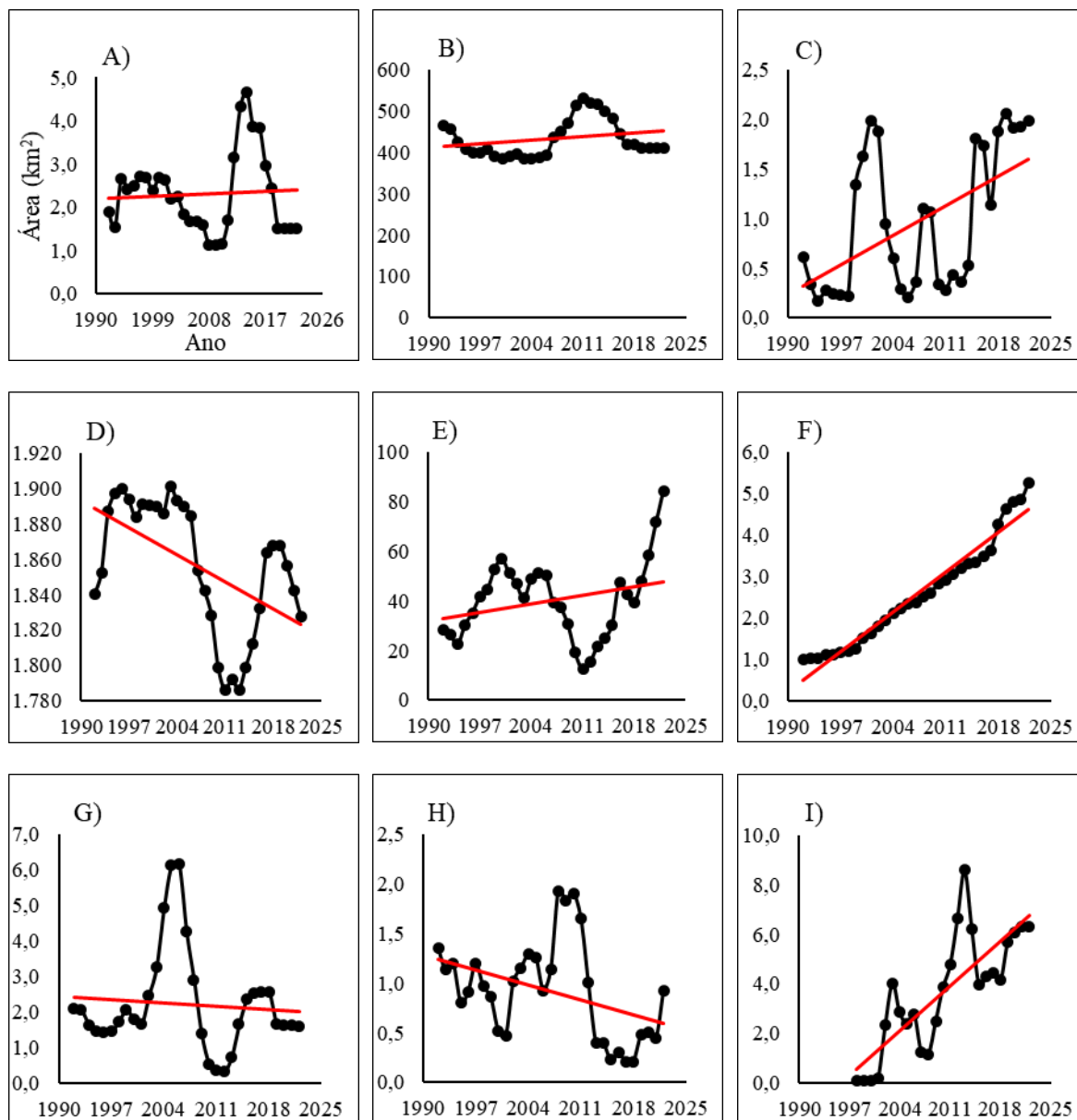


Figura 5 - Distribuição temporal das classes de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Capiá no período de 1992 a 2022. A) Formação Florestal; B) Formação Savânica; C) Formação Campestre; D) Pastagem; E) Mosaico de Usos; F) Área urbanizada; G) Outras Áreas não vegetadas; H) Rio, Lago e Oceano e I) Outras lavouras temporárias.

Fonte: Autores (2024).

Esses resultados, ao evidenciar padrões espaciais e temporais de mudança no uso e cobertura da terra, destacam a complexidade dos processos socioambientais que moldam a bacia do rio Capiá, garantindo uma compreensão mais precisa e robusta dos processos em curso na bacia. Estudos comparativos realizados em bacias semiáridas demonstram padrões semelhantes aos observados na bacia do rio Capiá. Por exemplo, a pesquisa na bacia da Paraíba revela como mudanças no uso do solo impactam o escoamento e a gestão hídrica (Carvalho et al., 2023).

Em contextos que combinam análise espaço-temporal e avaliação de serviços ecossistêmicos — como o estudo na região do Lago

Dongting, na China — evidencia-se que a conversão de áreas naturais afeta serviços como regulação climática, conservação da biodiversidade e provisão hídrica (Chen et al., 2024).

Estudos em grandes bacias como a do Rio Nilo, na Etiópia, mostram que o avanço da agricultura e a perda de cobertura vegetal alteram significativamente os recursos hídricos locais, reduzindo corpos d'água e modificando padrões de escoamento (Gedefaw et al., 2023). Esses trabalhos reforçam a necessidade de integrar abordagens físicas, ecológicas e sociais no planejamento territorial sustentável, fortalecendo as

recomendações deste estudo para conservação e uso responsável dos recursos na bacia do rio Capiá.

Conclusões

A bacia hidrográfica do rio Capiá apresenta baixa propensão a enchentes, com relevo predominantemente plano na Depressão Sertaneja e áreas de maior altitude no Maciço de Mata Grande, que influenciam o clima local. Essa configuração, associada à baixa densidade de drenagem e ao escoamento superficial reduzido, fornece subsídios importantes para o planejamento e gestão dos recursos hídricos.

Entre 1992 e 2022, as principais mudanças no uso e cobertura da terra foram a expansão das áreas urbanizadas e o aumento das formações campestres, enquanto a pastagem e os corpos d'água apresentaram redução significativa. A formação savânica manteve-se predominante, com a atividade agropecuária concentrada nas áreas planas centrais e a vegetação de caatinga preservada nas regiões montanhosas.

As tendências identificadas indicam que a interação entre fatores naturais e atividades humanas tem modificado a paisagem e a disponibilidade de recursos, reforçando a necessidade de estratégias de uso sustentável do solo e conservação ambiental para mitigar impactos negativos no semiárido.

Referências

- Alvares, C. A., Stape, J. L., Sentelhas, P. C., Gonçalves, J. L. M., & Sparovek, G. (2013). Köppen's climate classification map for Brazil. *Meteorologische Zeitschrift*, 22(6), 711–728. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2013/0507>
- Alves, M. F. A., Martins, W. A., & Morais, C. E. P. (2023). Uso e ocupação do solo da caatinga no Sertão Paraibano. *Journal of Ecoinnovation and Environmental Management*, 1(1), 1–13. <https://editoraverde.org/portal/revistas/index.php/ecoin/article/view/201>
- Araújo Filho, R. N., Freire, M. B. G. dos S., Wilcox, B. P., West, J. B., Freire, F. J., & Marques, F. A. (2018). Recovery of carbon stocks in deforested caatinga dry forest soils requires at least 60 years. *Forest Ecology and Management*, 407, 210–220. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.10.002>
- Cardoso, C. A., Dias, H. C. T., Soares, C. P. B., & Martins, S. V. (2006). Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Debossan, Nova Friburgo, RJ. *Revista Árvore*, 30(2), 241–248. <https://doi.org/10.1590/s0100-67622006000200011>
- Chaves, A. M. S., Silva Filho, C. R. S. F., Guedes, J. C. F. G., Costa, D. F. da S., & Souza, R. M. (2022). Spatial Analysis of the Geoecological Adequability Index in Semi-Arid Watersheds, Northeast of Brazil. *Environmental Sciences and Ecology: Current Research*, 3(6), 1070. <https://doi.org/10.54026/esecr/1070>
- Chaves, L. C. G., Lopes, F. B., Maia, A. R. S., Meireles, A. C. M., & Andrade, E. M. (2019). Water quality and anthropogenic impact in the watersheds of service reservoirs in the Brazilian semi-arid region. *Revista Ciencia Agronomica*, 50(2), 223–233. <https://doi.org/10.5935/1806-6690.20190026>
- Chen, Z., Liu, Y., Chen, D., & Peng, B. (2024). Exploring the impacts of land use and land cover change on ecosystem services in Dongting Lake, China: a spatial and temporal analysis. *Frontiers in Environmental Science*, 12, 1395557. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2024.1395557>
- Christofoletti, A. (1974). *Geomorfologia*. Universidade de São Paulo.
- Christofoletti, A. (1980). *Geomorfologia* (2nd ed.). Edgard Blucher.
- Christofoletti, A. (1981). *Geomorfologia Fluvial*. In *Editora Edgard Blücher*. Edgard Blücher.
- Dagnachew, M., Dagnachew, M., Kebede, A., Moges, A., & Abebe, A. (2020). Effects of Climate Variability on Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) in the Gojeb River Catchment, Omo-Gibe Basin, Ethiopia. *Advances in Meteorology*, 2020, 8263246. <https://doi.org/10.1155/2020/8263246>
- Carvalho, A. A., Silva, M. J. G., Batista, F. R. C., Araújo, J. S., Montenegro, A. A. A., Silva, T. G. F., Almeida, T. A. B., Silva, M. V., Dias, J., Cavalcante, I. T. R., & Silva, J. L. B. (2023). Spatio-Temporal Dynamics and Physico-Hydrological Trends in Rainfall, Runoff and Land Use in Paraíba Watershed. *Geographies*, 3(4), 714–727. <https://doi.org/10.3390/geographies3040038>
- Dornellas, P. C., Xavier, R. A., Seabra, V. S., & Silva, R. M. (2020). Morphometric analyses of high paraíba river basin, semiárid region of paraíba state. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 21(2), 601–614. <https://doi.org/10.20502/RBG.V21I3.1757>
- França, G. V. (1968). *Interpretação fotográfica de bacias e de redes de drenagem aplicada a solos da região de Piracicaba* [Universidade

- de São Paulo]. <https://doi.org/10.11606/T.11.1900.tde-20231122-093027>
- Fritzsos, E., Mantovani, L. E., & Wrege, M. S. (2016). Relação entre altitude e temperatura: uma contribuição ao zoneamento climático no estado de Santa Catarina, Brasil. *Revista Brasileira de Climatologia*, 18, 80–92. <https://doi.org/10.5380/abclima.v18i0.39471>
- Gedefaw, M., Denghua, Y., & Girma, A. (2023). Assessing the Impacts of Land Use/Land Cover Changes on Water Resources of the Nile River Basin, Ethiopia. *Atmosphere*, 14(4), 749. <https://doi.org/10.3390/atmos14040749>
- Gois, L. S. S., Corrêa, A. C. B., Falcão, N. A. M., & Monteiro, K. A. (2021). Geomorphological characterization of colluvium at Mata Grande massif, state of Alagoas: a comparison of montane environments in the Northeast of Brazil. *Revista de Geociências Do Nordeste*, 7(1), 1–12. <https://doi.org/10.21680/2447-3359.2021v7n01ID22137>
- HEC. (2022). *Hydrologic Engineering Center*. US Army Corps of Engineers. <https://www.hec.usace.army.mil/software/he-c-hms/>
- Hirata, A. A., & Burkert, D. (2020). Morfometria da bacia do ribeirão lajeado – SP. *Formação (Online)*, 27(50), 175–199. <https://doi.org/10.33081/formacao.v27i50.6449>
- Horton, R. E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins; Hydrophysical approach to quantitative morphology. *Bulletin of the Geological Society of America*, 56(3), 275–370. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1945\)56\[275:EDOSAT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1945)56[275:EDOSAT]2.0.CO;2)
- IBGE. (2022). *Panorama do Censo 2022*. Censo Brasileiro. <https://censo2022.ibge.gov.br/panorama/>
- IPCC. (2019). Climate Change and Land: an IPCC special report. In *Climate Change and Land: an IPCC Special Report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*. <https://www.ipcc.ch/srccl/>
- Jardim, A. M. R. F., Araújo Júnior, G. N., Silva, M. V., Santos, A., Silva, J. L. B., Pandorfi, H., Oliveira-Júnior, J. F., Teixeira, A. H. C., Teodoro, P. E., Lima, J. L. M. P., Silva Junior, C. A., Souza, L. S. B., Silva, E. A., & Silva, T. G. F. (2022). Using Remote Sensing to Quantify the Joint Effects of Climate and Land Use/Land Cover Changes on the Caatinga Biome of Northeast Brazilian. *Remote Sensing*, 14(8), 1911. <https://doi.org/10.3390/rs14081911>
- Kendall, M. G. (1975). Rank Correlation Methods. In *Biometrika* (4th ed., Issue 1/2). Charles Griffin. <https://doi.org/10.2307/2333282>
- Lins, F. A. C., Montenegro, A. A. D. A., Farias, C. W. L. D. A., Das Chagas, A. M. S., Miranda, R. D. Q., & Galvêncio, J. D. (2021). Análise da dinâmica temporal da evapotranspiração real em uma bacia hidrográfica do semiárido através de modelagem hidrológica e sensoriamento remoto. *IRRIGA*, 26(3), 543–564. <https://doi.org/10.15809/irriga.2021v26n3p543-564>
- Lopes, I. A. P., Macêdo, M. L. A., Torres, É. da N., Sousa, R. R., & Correia, A. dos A. (2024). Spatial and Temporal Analysis of Land Use and Land Cover in the Microregion of Western Cariri of Paraíba. *Revista de Geociências Do Nordeste*, 10(1), 14–23. <https://doi.org/10.21680/2447-3359.2024v10n1ID33459>
- Mann, H. B. (1945). Nonparametric Tests Against Trend. *Econometrica*, 13(3), 245–259. <https://doi.org/10.2307/1907187>
- MapBiomias. (2025). *Coleção 8 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil*. Projeto MapBiomias. <https://brasil.mapbiomas.org/colecoes-mapbiomas/>
- Marinho, D. S., Vendruscolo, J., Vasconcelos, T. B., Cavalheiro, W. C. S., & Stachiw, R. (2021). Morphometric features of the Sub-basin of the Rio Ribeirão, West Amazon, Brazil. *Revista Em Agronegócio e Meio Ambiente*, 14(2), e7225. <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2021V14N2E7225>
- Melo, R. F., & Voltolini, T. V. (2019). *Agricultura familiar dependente de chuva no Semiárido* (1st ed.). Embrapa.
- Olszewski, N., Fernandes Filho, E. I., Costa, L. M., Schaefer, C. E. G. R., Souza, E., & Costa, O. D. A. V. (2011). Morfologia e aspectos hidrológicos da bacia hidrográfica do Rio Preto, divisa dos estados do Rio de Janeiro e de Minas Gerais. *Revista Arvore*, 35(3), 485–492. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622011000300011>
- Pacheco, A. P., Nascimento, J. A. S., Ruiz-Armenteros, A. M., Silva Junior, U. J., Silva Junior, J. A., Oliveira, L. M. M., Santos, S. M., Reis Filho, F. D., & Galdino, C. A. P. M. (2025). Land Cover Transformations in Mining-Influenced Areas Using PlanetScope

- Imagery, Spectral Indices, and Machine Learning: A Case Study in the Hinterlands de Pernambuco, Brazil. *Land*, 14(2), 325. <https://doi.org/10.3390/land14020325>
- Panta, G., Nascimento, J. P. H., & Monteiro, K. A. (2022). Eroded topography in Proterozoic Basement: The case of Capiá river watershed, Semi-arid Northeastern Brazil. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 23(4), 1929–1946. <https://doi.org/10.20502/rbg.v23i4.2159>
- Potter, P. E. (1957). A Quantitative Geomorphic Study of Drainage Basin Characteristics in the Clinch Mountain Area, Virginia and Tennessee . V. C. Miller. *The Journal of Geology*, 65(1), 30. <https://doi.org/10.1086/626413>
- QGIS Development Team. (2022). QGIS Geographic Information System. In *Open Source Geospatial Foundation Project*. QGIS Association. <http://qgis.org>
- Rossi, M., & Pfeifer, R. M. (1999). Remoção de material erodido dos solos de pequenas bacias hidrográficas no Parque Estadual da Serra do Mar em Cubatão, no estado de São Paulo, Brasil. *Bragantia*, 58(1), 141–156. <https://doi.org/10.1590/s0006-87051999000100014>
- Salazar, A. A., Arellano, E. C., Muñoz-sáez, A., Miranda, M. D., Silva, F. O., Zielonka, N. B., Crowther, L. P., Silva-ferreira, V., Oliveira-reboucas, P., & Dicks, L. V. (2021). Restoration and conservation of priority areas of caatinga's semi-arid forest remnants can support connectivity within an agricultural landscape. *Land*, 10(6), 550. <https://doi.org/10.3390/land10060550>
- Salis, H. H. C., Costa, A. M., Vianna, J. H. M., & Schuler, A. E. (2020). Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do córrego do marinheiro, Sete Lagoas - MG. *Boletim de Geografia*, 37(2), 186–201. <https://doi.org/10.4025/bolgeogr.v37i2.36965>
- Schumm, S. A. (1963). Sinuosity of alluvial rivers on the great plains. *Bulletin of the Geological Society of America*, 74(9), 1089–1100. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1963\)74\[1089:SOAROT\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1963)74[1089:SOAROT]2.0.CO;2)
- Sen, P. K. (1968). Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's Tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63(324), 1379–1389. <https://doi.org/10.1080/01621459.1968.10480934>
- SEPLANDE. (2021). *Solos* (2º Edição). SEPLANDE. https://dados.al.gov.br/catalogo/am/dataset/mapas-de-caracterizacao-territorial/resource/ec00b15f-38c9-4ec8-85fa-f93d89f8d7b8?inner_span=True
- Silva, B. F., Rodrigues, R. Z. S., Heiskanen, J., Abera, T. A., Gasparetto, S. C., Biase, A. G., Ballester, M. V. R., Moura, Y. M., Piedade, S. M. S., Silva, A. K. O., & Camargo, P. B. (2023). Evaluating the temporal patterns of land use and precipitation under desertification in the semi-arid region of Brazil. *Ecological Informatics*, 77, 102192. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2023.102192>
- Silva, C. V. T., Ribeiro Filho, J. C., Silva, P. C. M., Lemos Filho, L. C. A., & Brasil, J. B. (2017). Caracterização morfométrica, uso e ocupação de uma bacia hidrográfica. *Revista Engenharia Na Agricultura - REVENG*, 25(5), 436–444. <https://doi.org/10.13083/reveng.v25i5.828>
- Silva, D. C. C., Albuquerque Filho, J. L., Sales, J. C. A., & Lourenço, R. W. (2016). Uso de Indicadores Morfométricos como Ferramentas para Avaliação de Bacias Hidrográficas (Use of Morphometric Indicators as Tools for Assessment Watershed). *Revista Brasileira de Geografia Física*, 9(2), 627–642. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v9.2.p627-642>
- Silva, D. F., & Sousa, A. B. (2013). Detecção de Tendências Climáticas no Estado de Alagoas. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 6(3), 442–455. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v6.3.p442-455>
- Silva, G., Almeida, F., Almeida, R., Mesquita, M., & Alves Junior, J. (2018). Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Riacho Rangel-Piauí, Brasil. *Enciclopédia Biosfera*, 15(28), 244–255. https://doi.org/10.18677/encibio_2018b22
- Silva, J. R. I., Montenegro, A. A. de A., Farias, C. W. L. de A., Jardim, A. M. da R. F., Silva, T. G. F. da, & Montenegro, S. M. G. L. (2022). Morphometric characterization and land use of the Pajeú river basin in the Brazilian semi-arid region. *Journal of South American Earth Sciences*, 118, 103939. <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2022.103939>
- Smith, K. G. (1950). Standards for grading texture of erosional topography. *American Journal of Science*, 248(9), 655–668. <https://doi.org/10.2475/ajs.248.9.655>
- Sousa, M. C., Veloso, G. V., Gomes, L. C., Fernandes-Filho, E. I., & Oliveira, T. S. (2021). Spatio-temporal dynamics of land use changes of an intense anthropized basin in the

- Brazilian semi-arid region. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 24, 100646.
<https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100646>
- Souza, C. M., Shimbo, J. Z., Rosa, M. R., Parente, L. L., Alencar, A. A., Rudorff, B. F. T., Hasenack, H., Matsumoto, M., Ferreira, L. G., Souza-Filho, P. W. M., Oliveira, S. W., Rocha, W. F., Fonseca, A. V., Marques, C. B., Diniz, C. G., Costa, D., Monteiro, D., Rosa, E. R., Vélez-Martín, E., ... Azevedo, T. (2020). Reconstructing three decades of land use and land cover changes in brazilian biomes with landsat archive and earth engine. *Remote Sensing*, 12(17), 2735.
<https://doi.org/10.3390/RS12172735>
- Souza, Ê. G. F., Nascimento, A. H. C., Cruz, E. A., Pereira, D. F., Silva, R. S., Silva, T. P., & Freire, W. A. (2021). Delimitation and morphometric characterization of the hydrographic basin of riacho do navio, pernambuco, based on SRTM data processed at QGIS. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 14(3), 1530–1540.
<https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.3.p1530-1540>
- Strahler, A. N. (1957). Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Transactions, American Geophysical Union*, 38(6), 913–920.
<https://doi.org/10.1029/TR038i006p00913>
- Villela, S. M., & Mattos, A. (1975). *Hidrologia aplicada*. McGraw-Hill.
- Zhao, Q., Yu, L., Li, X., Peng, D., Zhang, Y., & Gong, P. (2021). Progress and trends in the application of google earth and google earth engine. *Remote Sensing*, 13(18), 3778.
<https://doi.org/10.3390/rs13183778>