



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

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



Análise morfométrica, uso e cobertura da terra e balanço hídrico em uma bacia da região semiárida do Nordeste do Brasil: O caso da bacia hidrográfica do rio Taperoá (PB)

Brian Tavares-Universidade Federal da Paraíba. Carolyne Wanessa Lins de Andrade Farias. Universidade Federal da Paraíba. Abelardo Antônio de Assunção Montenegro-Universidade Federal Rural de Pernambuco. Aline Maria Soares das Chagas-Universidade Federal Rural de Pernambuco. Richarde Marques da Silva-Universidade Federal da Paraíba. Tuany Kerolayne de Oliveira Ferreira-Universidade Federal da Paraíba

Artigo recebido em 01/11/2024 e aceito em 15/12/2025

RESUMO

As bacias hidrográficas do semiárido brasileiro sofrem com a escassez de dados hidrológicos, sendo fundamental o uso de técnicas para análise das características hidrológicas e morfométricas dessas bacias. O objetivo deste estudo foi analisar a morfometria, a dinâmica espaço-temporal de uso e cobertura da terra e o balanço hídrico da bacia hidrográfica do rio Taperoá, utilizando produtos de sensoriamento remoto e técnicas de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) associadas ao modelo SWAT. A rede de drenagem foi obtida a partir do modelo digital de elevação SRTM, com resolução de 30 m, processado no software QGIS 3.18.3 com o módulo GRASS. A análise de uso e cobertura da terra baseou-se nos produtos MapBiomass de 2000 e 2020, enquanto o balanço hídrico foi estimado pelo modelo SWAT. Os resultados indicaram que a bacia possui formato alongado, baixa propensão a enchentes, ordem fluvial 6, densidade de drenagem de 0,72 km/km² e densidade hidrográfica de 0,51 canais/km², sugerindo alta capacidade de infiltração. A análise do uso da terra mostrou avanço agropecuário de 286 km² e regeneração da Caatinga de 654 km². O balanço hídrico revelou precipitação média anual de 551,3 mm e evapotranspiração de 436,3 mm, com 85% da água retornando à atmosfera, 2,4% convertida em escoamento superficial e 11% infiltrada no solo. Esses estudos são essenciais para gestão dos recursos hídricos, e o uso de geotecnologias e do modelo SWAT mostrou-se eficiente na análise das características da bacia do rio Taperoá.

Palavras-chave: Hidrologia, Escoamento superficial, Geotecnologias, Modelagem hidrológica, Modelo SWAT.

Morphometric, land use and water balance analysis of a basin in the semiarid region of Northeast Brazil: The case of the Taperoá River basin (PB)

ABSTRACT

The hydrographic basins of the Brazilian semiarid region suffer from the scarcity of hydrological data, and the use of techniques to analyze the hydrological and morphometric characteristics of these basins is essential. The aim of this study was to analyze the morphometry, the spatiotemporal dynamics of land use and the water balance of the Taperoá river basin, using remote sensing products and Geographic Information Systems (GIS) techniques associated with the SWAT model. The drainage network was obtained from the SRTM digital elevation model, with a resolution of 30 m, processed in the QGIS 3.18.3 software with the GRASS module. The land use and land cover analysis were based on the MapBiomass products from 2000 and 2020, while the water balance was estimated by the SWAT model. The results indicated that the basin has an elongated shape, low propensity to flooding, river order 6, drainage density of 0.72 km/km², and hydrographic density of 0.51 channels/km², suggesting high infiltration capacity. The land use analysis showed agricultural expansion of 286 km² and regeneration of the Caatinga of 654 km². The water balance revealed an average annual precipitation of 551.3 mm and evapotranspiration of 436.3 mm, with 85% of the water returning to the atmosphere, 2.4% converted to surface runoff and 11% infiltrated into the soil. These studies are essential for water resource management, and the use of geotechnologies and the SWAT model proved to be efficient in analyzing the characteristics of the Taperoá river basin.

Keywords: Hydrology, Surface runoff, Geotechnologies, Hydrological modeling, SWAT model.

Introdução

Na região semiárida do Brasil, questões relacionadas ao abastecimento hídrico e a preservação dos recursos naturais em bacias hidrográficas representam um grande desafio para a gestão dos recursos hídricos (Silva et al., 2021). Essa região é caracterizada pela alta variabilidade do regime pluviométrico, alta evapotranspiração e rios intermitentes, além da presença de eventos extremos, como as estiagens e temporal da precipitação (Dantas et al., 2020). Além disso, a região semiárida do Brasil apresenta em grande porção de seu território uma esparsa rede de monitoramento hidrológico e falhas nas séries históricas disponíveis de chuva e vazão (Andrade et al., 2019).

A bacia hidrográfica do rio Taperoá é uma típica bacia de clima semiárido, possuindo todas as características físicas e hidroclimatológicas representativas do semiárido do Nordeste do Brasil. Nessa bacia encontra-se inserido o rio Taperoá, de regime intermitente, com nascente na Serra do Teixeira, de extrema importância para o Estado da Paraíba, pois é utilizado para a irrigação de culturas agrícolas da região e deságua no Açude Epitácio Pessoa, que é responsável pelo abastecimento da cidade de Campina Grande e de cidades circunvizinhas, suprimindo mais de meio milhão de habitantes (Cardoso et al., 2021).

A utilização dos recursos hídricos da bacia do rio Taperoá viabiliza o desenvolvimento econômico local, com destaque para a agricultura irrigada, que gera emprego e renda para a população. Desta forma, o uso do solo na bacia do rio Taperoá sempre esteve vinculado a atividades agropastoris, onde a pecuária extensiva é a atividade predominante, juntamente com a agricultura, as quais compõem a base produtiva da região (Dornellas et al., 2020). Entretanto, essas atividades veem modificando significativamente a região devido a devastação de matas ciliares e queimadas associadas as atividades agropastoris, resultando em transformações significativas na paisagem, incluindo o desmatamento, a mudança de comunidades tradicionais e a alterações no ciclo de chuvas (Souza et al., 2023).

A realização de estudos morfométricos, da dinâmica de uso e cobertura da terra e do balanço hídrico são cruciais no gerenciamento de recursos hídricos, pois possibilita a caracterização do comportamento hidrológico de bacias hidrográficas, determinando suas limitações e potencialidades que irão subsidiar medidas de planejamento, visando o gerenciamento ambiental

(Asfaw e Workineh, 2019; Silva e Farias, 2021; Carreiro et al., 2022). De acordo com Melo Filho et al. (2023), é extremamente importante e necessário o conhecimento das características físicas e bióticas de uma área, bem como do desempenho hidrológico, a fim de promover o seu uso adequado e sustentável para o desenvolvimento humano. Para Dornellas et al. (2020), as características da geomorfologia, drenagem, processos erosivos e aspectos topográficos são elementos-chave para a análise integrada de uma bacia. Estudos morfométricos, de dinâmica de uso do solo e do balanço hídrico surgem então como fatores importantes na compreensão das características geomorfológicas e hidrológicas de bacias hidrográficas (Tewari et al., 2019), uma vez que relacionam as características físicas, hidrológicas, topográficas e de uso da terra, fornecendo o diagnóstico para o planejamento e manejo integrado dos recursos naturais (Souza et al., 2018; Nobre et al., 2020).

A utilização de produtos de geotecnologias e técnicas de sensoriamento remoto e de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), associados a modelos hidrológicos auxiliam na compreensão da dinâmica de uma bacia hidrográfica (Singh et al., 2018; Aires et al., 2021), sendo de extrema valia para analisar a morfometria, a cobertura da terra e o seu comportamento hidrológico (Sultana et al., 2021). Segundo Alves et al. (2021), questões associadas às mudanças generalizadas nos padrões de uso e cobertura da terra afetam o equilíbrio do geossistema em bacias hidrográficas, aumentando a vulnerabilidade dessas regiões. Os impactos negativos do uso e cobertura da terra desordenada e das mudanças climáticas têm efeitos diretos na hidrologia das bacias (Mello et al., 2018).

Dentre os diversos modelos hidrológicos existentes, destaca-se o *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) (Arnold et al., 1998), uma vez que é um dos modelos mais utilizados no mundo devido ao fato de sua complexidade e sua abrangência de componentes hidrológicos e sedimentológicos, constituindo uma ferramenta poderosa no auxílio à tomada de decisão em estudos de planejamento ambiental (Andrade et al., 2019).

Assim, o objetivo deste estudo foi analisar a morfometria, a dinâmica espaço-temporal de uso e cobertura da terra e o balanço hídrico da bacia hidrográfica do rio Taperoá, utilizando produtos de sensoriamento remoto e técnicas de Sistemas

de Informações Geográficas (SIGs) associadas ao modelo SWAT.

Material e métodos

Área de estudo

O estudo foi desenvolvido na bacia hidrográfica do rio Taperoá, localizada na porção central do Estado da Paraíba, entre as latitudes 6°51'31" e 7°34'21" Sul e entre as longitudes 36°0'55" e 37°13'9" Oeste (AESA, 2023) (Figura 1). O rio Taperoá possui uma extensão de 152 km e elevada importância para a gestão de recursos hídricos do estado. Esse rio nasce no município de Teixeira – PB, e deságua no rio Paraíba, no Açude de Boqueirão - Presidente Epitácio Pessoa (Dantas et al., 2015).

A bacia do rio Taperoá é formada por 26 municípios, com destaque para os municípios de Juazeirinho, Pocinhos e Taperoá, em decorrência de terem as maiores populações (16.776, 17.032 e 14.936 habitantes, respectivamente) (IBGE, 2023).

Em termos de clima, segundo a classificação climática de Köppen, a bacia apresenta clima do tipo BSh, isto é, semiárido quente, caracterizado por escassez de chuvas e grande irregularidade em sua distribuição, baixa nebulosidade, forte insolação, índices elevados de evaporação e temperaturas médias elevadas. A temperatura máxima varia entre 28 e 31 °C nos meses de novembro e dezembro, enquanto a evaporação varia entre 2.500 e 3.000 mm. A umidade relativa do ar média anual varia entre 60% e 75%, onde os valores máximos ocorrem no mês de junho e os mínimos no mês de novembro. A precipitação média anual é de aproximadamente 550 mm, com estação seca de 8 a 10 meses (AESA, 2004). A maior concentração da precipitação total ocorre entre dois e quatro meses (fevereiro, março, abril e maio), com aproximadamente 75% da precipitação anual (Nascimento et al., 2014).

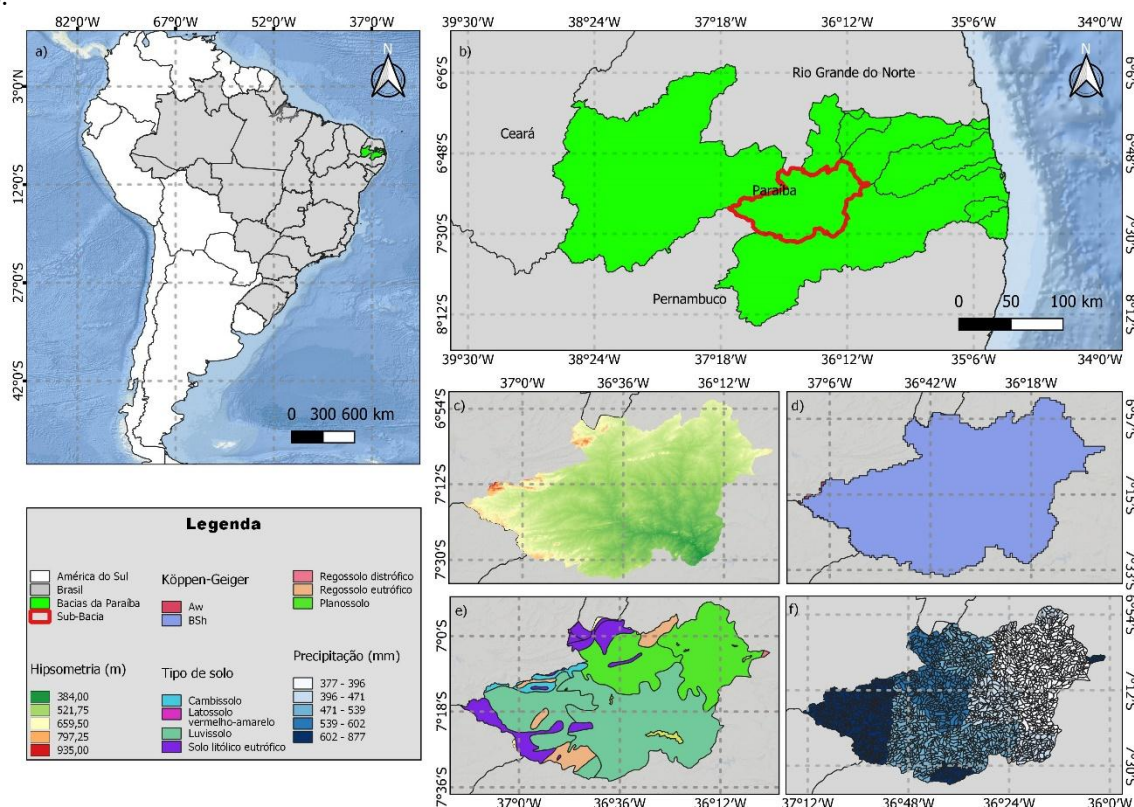


Figura 1. Localização da bacia hidrográfica do rio Taperoá – PB, no Brasil e no Estado da Paraíba

A vegetação que compõe a bacia do rio Taperoá, assim como a maior parte do semiárido brasileiro, é a Caatinga, bioma dominado por espécies caducifólias xerófitas, com forte presença de plantas espinhosas e boa adaptação à seca (Silva et al., 2020b). As áreas desmatadas e

utilizadas para a agricultura são em geral ocupadas pelas culturas de palma forrageira, agave, algodão, milho e feijão. Em relação aos tipos de solo, a bacia apresenta Luvissois de pouca espessura, que cobre todo cristalino existente na área, além de Neossolos Litólicos,

Planossolos, Neossolos Regolíticos e Cambissolos (AESAs, 2004; Dornellas et al., 2019; Vieira et al., 2023). A bacia apresenta relevos ondulado, forte ondulado e montanhoso.

Caracterização dos parâmetros morfométricos

A etapa da caracterização morfométrica objetivou determinar parâmetros físicos, hidrológicos e topográficos da bacia, tais como: área (km²), perímetro (km), fator de forma (Kf), coeficiente de compacidade (Kc), índice de circularidade (IC), rede de drenagem, comprimento do curso d'água principal, comprimento axial, comprimento total dos cursos d'água, ordem dos cursos d'água, densidade de drenagem (Dd), densidade hidrográfica (Dh), tempo de concentração (t), altitudes mínima e máxima, altitude média, amplitude altimétrica e declividade, totalizando desta forma 18 parâmetros analisados.

A área (km²) e o perímetro (km) foram determinados a partir do Software Quantum Gis (QGIS) versão 3.18.3 com o GRASS 7.8.5, obtidos por meio da calculadora *raster*, com auxílio do arquivo *shape* da bacia hidrográfica do rio Taperoá, fornecido pela Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESAs).

O fator de forma (Kf) relaciona a forma da bacia com a de um retângulo, correspondendo a razão entre a largura média e o comprimento axial da bacia (da foz ao ponto mais longínquo da área). A forma da bacia, bem como a forma do sistema de drenagem, pode ser influenciada por algumas características, principalmente pela geologia (Cardoso et al., 2006). Podem atuar também sobre alguns processos hidrológicos ou sobre o comportamento hidrológico da bacia. Uma bacia com um fator de forma baixo é menos sujeita a enchentes do que outra de mesmo tamanho, porém com fator de forma maior (Villela e Mattos, 1975). O fator de forma pode ser descrito pela Equação 1 (Horton, 1945).

$$kf = \frac{A}{L^2} \quad (1)$$

Onde: Kf - Fator de forma (adimensional); A - Área da bacia (m²); L - Comprimento do eixo da bacia (m).

O coeficiente de compacidade ou índice de Gravelius (Kc) relaciona o perímetro da bacia com um círculo de área igual à da bacia. Esse

coeficiente é um número adimensional que varia com a forma da bacia, independentemente de seu tamanho. Quanto mais irregular for a bacia, maior será o coeficiente de compacidade. Um coeficiente mínimo igual à unidade corresponderia a uma bacia circular e, para uma bacia alongada, seu valor é significativamente superior a 1 (Villela e Mattos, 1975). Uma bacia será mais suscetível a enchentes mais acentuadas quando seu Kc for mais próximo da unidade (Cardoso et al., 2006). O Kc é determinado baseado na seguinte equação (Eq. 2):

$$Kc = 0,28 \times \frac{P}{\sqrt{A}} \quad (2)$$

Onde: Kc - Coeficiente de compacidade (adimensional); P - Perímetro da bacia (m); A - Área da bacia (m²).

O índice de circularidade (IC) tende para a unidade à medida que a bacia se aproxima da forma circular e diminui à medida que a forma torna alongada. O IC é obtido segundo a Equação 3 (Miller, 1953):

$$IC = 12,57 \times \frac{A}{P^2} \quad (3)$$

Onde: IC - Índice de circularidade (adimensional); A - Área da bacia (m²); P - Perímetro (m).

A geração da rede de drenagem da bacia foi realizada por meio do modelo SWAT acoplado ao QGIS (QSWAT), a partir da inserção do Modelo Digital de Elevação (MDE), advindo da missão *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM). Esse produto foi obtido por meio da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) em (<https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/relevobr/>), que disponibiliza imagens da missão SRTM para todo o território brasileiro com resolução espacial de 90 m, em escala 1:250.000, com Sistema de Coordenadas Geográficas e Datum WGS84. Foram utilizadas duas cartas para recobrimento de toda a área da bacia: SB-24-Z-B e SB-24-Z-D. Para usar o MDE no cálculo de parâmetros morfométricos, é necessário projetar os dados para o Sistema de Coordenadas Planas. O sistema de coordenadas utilizado no presente estudo foi o UTM/Sirgas 2000, zona 24S.

O QSWAT utiliza a ferramenta Análise de Terreno Utilizando Modelos Digitais de Elevação

(TAU-DEM) para extrair a rede de drenagem. No presente estudo, a rede de drenagem foi criada considerando um limiar de 117 pixels, que representam valores mínimos de área das sub-bacias de 99,39 ha para geração da rede. Adicionalmente, com o auxílio da ferramenta SAGA do QGIS, foi possível determinar o comprimento do curso d'água principal e o comprimento total dos cursos d'água. Para determinar o comprimento axial, foi utilizada a régua do QGIS, demarcando-se um ponto no exutório da bacia até a sua extremidade mais longínqua.

A hierarquia fluvial, ou ordem dos cursos d'água, foi determinada seguindo os critérios introduzidos por Strahler (1957), em que os canais sem tributários são designados de primeira ordem. Os canais de segunda ordem são os que se originam da confluência de dois canais de primeira ordem, podendo ter afluentes também de primeira ordem. Os canais de terceira ordem originam-se da confluência de dois canais de segunda ordem, podendo receber afluentes de segunda e primeira ordens, e assim sucessivamente. O ordenamento dos canais da bacia foi realizado a partir do MDE, utilizando-se ferramentas do plugin SAGA por meio da opção *Strahler order* no QGIS.

Os demais parâmetros hidrológicos são determinados a partir de alguns parâmetros físicos (e.g., área e perímetro). A densidade de drenagem (Dd) corresponde à relação entre o comprimento total dos cursos d'água (Lt) de uma bacia com a sua área (A). Segundo Villela e Mattos (1975), a densidade de drenagem de bacias hidrográficas varia de 0,5 km/km² (para bacias com drenagem pobre) a 3,5 km/km² ou mais (para bacias excepcionalmente bem drenadas). Seu estudo indica o grau de desenvolvimento do sistema de drenagem, ou seja, fornece uma indicação da eficiência da drenagem da bacia (Cardoso et al., 2006). A Dd é determinada a partir da seguinte equação (Eq. 4):

$$Dd = \frac{\sum Lt}{A} \quad (4)$$

Onde: Dd - Densidade de drenagem, em (km/km²); Lt - Comprimento total de todos os canais (km); A - Área da bacia (km²).

A Tabela 1 apresenta a classificação da Dd de acordo com Villela e Mattos (1975).

Tabela 1. Classificação da densidade de drenagem (Dd) de uma bacia hidrográfica segundo Villela e Mattos (1975)

Dd (km/km ²)	Classificação da drenagem
< 0,5	Pobre
0,5 – 1,5	Regular
1,5 – 2,5	Boa
2,5 – 3,5	Muito boa
> 3,5	Excepcionalmente bem drenada

A densidade hidrográfica (Dh) consiste na relação entre o número de cursos d'água com a área da bacia (A). Segundo Christofletti (1969), a densidade de hidrográfica varia de menor que 3 canais/km² (para bacias com Dh baixa) a maior que 15 canais/km² (para bacias com o Dh muito alta). A Dh é calculada utilizando a seguinte equação (Eq. 5):

$$Dh = \frac{N^{\circ} \text{ Cursos d'água}}{A} \quad (5)$$

Onde: Dh é a densidade hidrográfica, em (canais/km²); A é a área da bacia (km²).

A classificação da Dh é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2. Classificação da densidade hidrográfica (Dh) de uma bacia hidrográfica, segundo Christofletti (1969)

Dh (canais/km ²)	Classificação
< 3	Baixa
3 – 7	Média
7 – 15	Alta
> 15	Muito alta

O tempo de concentração em uma bacia hidrográfica (Eq. 6) é definido pela equação de Kirpich (1940), sendo o tempo necessário para a chuva que cai no ponto mais remoto da bacia chegar à exutório, ou ainda, até que toda a área da bacia contribua para a vazão no exutório.

$$Tc = 57 * \frac{L^2}{\sqrt{h}} \quad (6)$$

Onde: Tc – Tempo de Concentração, em (min); L – Comprimento do curso d'água principal (km);

Δh – Diferença de altitude ao longo do curso d'água principal (m)

Os parâmetros topográficos (altitudes mínima e máxima, altitude média, amplitude altimétrica e declividade da bacia) foram determinados a partir do MDE utilizando o QGIS. As classes de declividade foram divididas em seis intervalos distintos, conforme a Embrapa (1979), apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3. Classificação da declividade segundo a Embrapa (1979)

Declividade (%)	Relevo
0 – 3	Plano
3 – 8	Suavemente ondulado
8 – 20	Ondulado
20 – 45	Fortemente ondulado
45 – 75	Montanhoso
> 75	Fortemente montanhoso

O fluxograma envolvendo as etapas metodológicas conduzidas no presente estudo é apresentado na Figura 2.

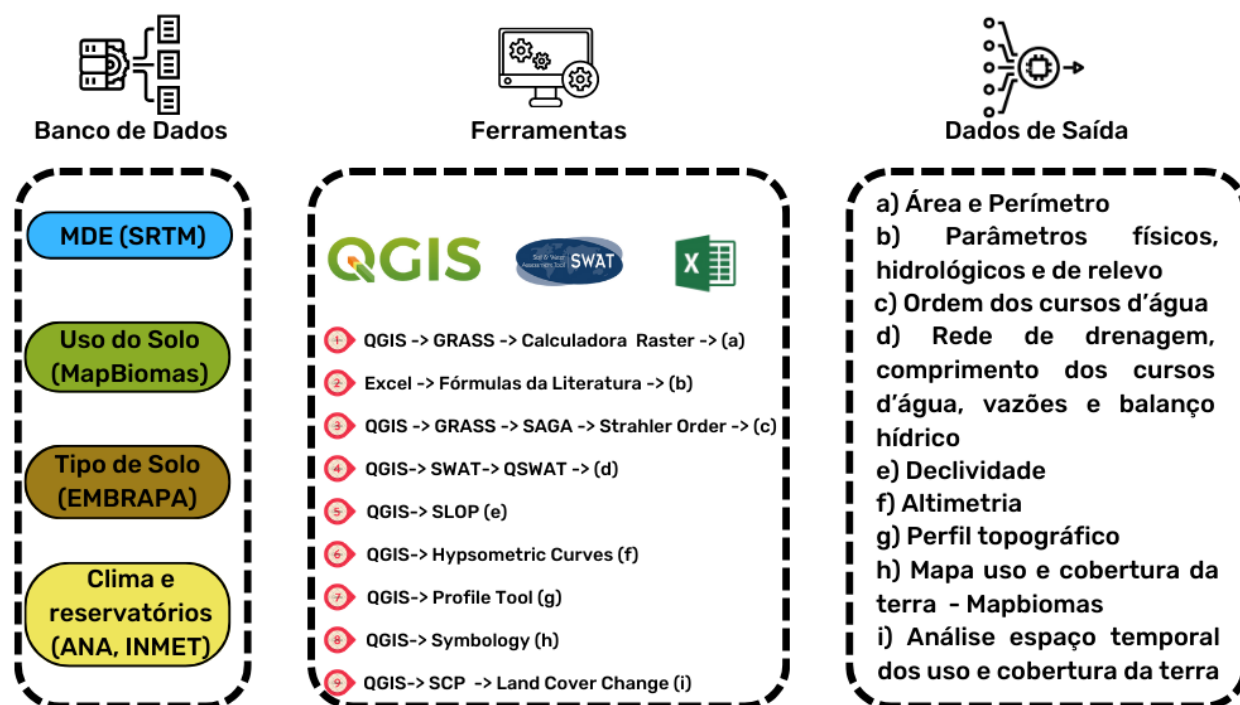


Figura 2. Delineamento do estudo, com as etapas metodológicas realizadas para obtenção dos parâmetros morfométricos da bacia hidrográfica do rio Taperoá – PB

Análise da dinâmica do uso e cobertura da terra

A análise da dinâmica espaço-temporal do uso e cobertura da terra foi realizada a partir dos dados fornecidos pelo Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil (MapBiomas), que disponibiliza mapas anuais de uso e cobertura da terra para todas as bacias hidrográficas brasileiras (1985–2022), com resolução espacial de 30 m (<https://mapbiomas.org/>). Foram utilizados dados dos anos de 2000 e de 2020 (coleção 8). A manipulação dos dados se deu por meio da ferramenta QGIS versão 3.18.3, utilizando o

plugin *Semi-Automatic Classification Plugin* (SCP).

A Figura 3 apresenta um fluxograma com as etapas e reclassificações realizadas para obtenção do mapa das mudanças de uso e cobertura da terra. Os 9 tipos de usos existentes foram reclassificados para três classes principais: natural, antrópico e água. As diferentes mudanças entre essas classes foram então analisadas, gerando-se um mapa sobre tais mudanças. O mapa final, considerando as mudanças ocorridas, foi gerado com seis novas classes: reflorestamento, natural, antrópico, desflorestamento, água e inalterado.

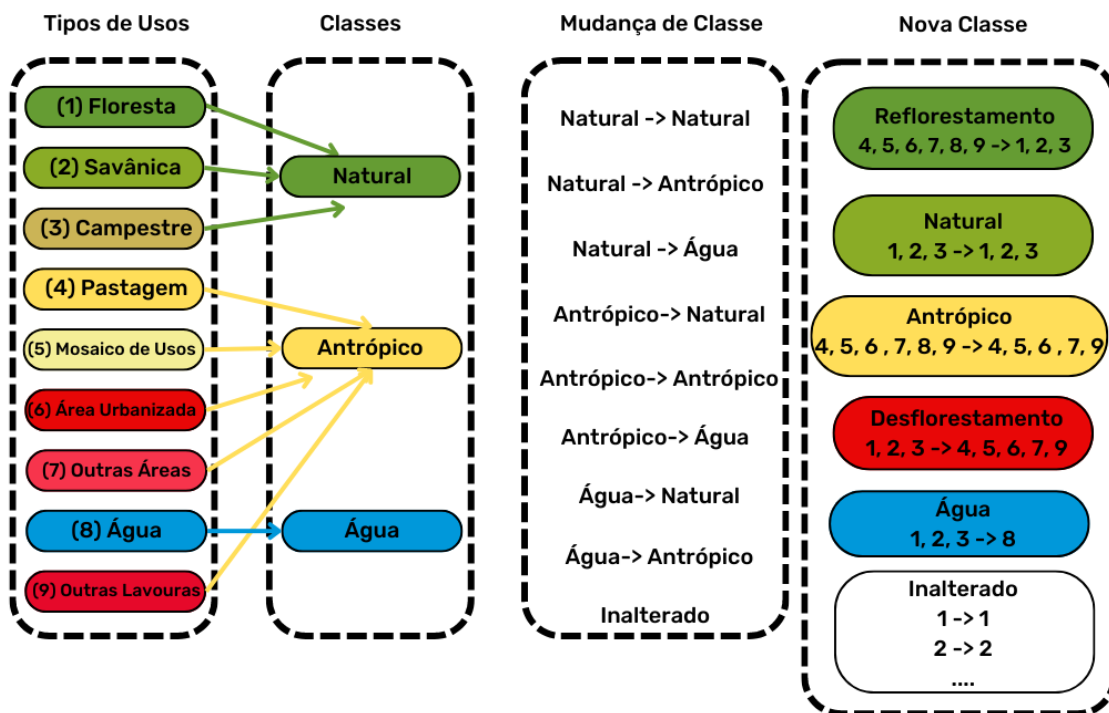


Figura 3. Fluxograma com as etapas e reclassificações realizadas para obtenção do mapa das mudanças de uso e cobertura da terra dos anos 2000 e 2020

Sistema de Informações Geográficas (SIG) e o Modelo Hidrossedimentológico Soil and Water Assessment Tool (SWAT)

Dentre os diversos softwares existentes baseados em SIG, tem-se o QGIS, um programa gratuito pertencente à *Open-Source Geospatial Foundation* (OSGeo). O QGIS tem sido efetivamente usado em estudos morfométricos de bacias hidrográficas, pois permite a incorporação de ferramentas via plugins que auxiliam na edição e execução de análises espaciais complexas (Moyroud e Portet, 2018, Souza et al., 2021). Além disso, apresenta uma comunidade de usuários e desenvolvedores em constante crescimento (Rosas-Chavoya et al., 2022). No presente estudo, a determinação dos parâmetros morfométricos foi realizada por meio da utilização do modelo SWAT versão 1.6.0. acoplado no software QGIS versão 3.18.3 (QSWAT)

O SWAT (Arnold et al., 1998) é um modelo semi-conceitual, semi-distribuído, contínuo no tempo, de base semi-física, que usa um passo de tempo diário e várias unidades hidrológicas para simular diferentes processos físicos dentro da área de estudo, como clima, hidrologia (escoamento superficial, percolação, interceptação, infiltração, fluxo subsuperficial,

escoamento de base e evapotranspiração), assim como umidade do solo, crescimento de plantas, e transporte de nutrientes, pesticidas, bactérias e patógenos. O modelo foi desenvolvido para analisar os impactos das mudanças no uso do solo no escoamento de água, produção de sedimentos e qualidade da água em grandes bacias hidrográficas

O cálculo do balanço hídrico no SWAT é realizado a partir das Unidades de Resposta Hidrológica (HRUs), que agregam informações de relevo, uso do solo e características do solo de uma bacia hidrográfica (Arnold et al., 2012). No modelo, a fase terrestre do ciclo hidrológico é baseada na equação do balanço hídrico (Eq. 7) (Arnold et al., 1998):

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (P - Q_s - ET - W_s - Q_{gw}) \quad (7)$$

onde SW_t representa o teor final da água do solo (mm), SW_0 é o teor inicial da água do solo no dia i (mm), t é o tempo (dias), P é a precipitação do dia (mm), Q_s é o escoamento superficial no dia i (mm), ET é a evapotranspiração no dia i (mm), W_s é a água do perfil do solo que entra na zona vadosa no dia i (mm), e o Q_{gw} é o fluxo de retorno no dia i (mm) (Neitsch et al., 2011).

O SWAT requer quatro tipos principais de dados de entrada, três tipos são considerados dados espaciais e um tipo representa os dados tabulares. O primeiro dado espacial é o MDE; o segundo dado é o mapa de uso do solo da bacia em estudo e o terceiro e último tipo de dado espacial é o mapa de tipos de solos. Os dados tabulares utilizados pelo modelo SWAT para a modelagem hidrológica devem ser diários ou sub-diários e de variáveis meteorológicas como: precipitação (mm), temperaturas máximas e mínimas do ar (°C), umidade relativa do ar (%), velocidade do vento (m s^{-1}) e radiação solar (MJ m^{-2}).

O MDE e o mapa de tipos de solo foram obtidos por meio da EMBRAPA (1979); os mapas de uso do solo foram coletados por meio do MapBiomas. As informações climáticas foram obtidas por meio da estação climática de Campina Grande – PB do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), sob o critério de ser mais viável e próxima da área de estudo, enquanto que os dados de precipitação foram obtidos a partir de 17 pluviômetros presentes nas cidades de Coxixola, Sumé, Desterro, Cabaceiras, Boa Vista, Juazeirinho, Livramento, Campina Grande, Gurjão, Santo André, São José dos Cordeiros, Taperoá, Junco do Seridó, São João do Cariri, Soledade, Tenório e São Vicente do Seridó, todos disponibilizados pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA). As informações dos

12 reservatórios existentes na bacia foram disponibilizadas pela AESA. O período de dados simulados pelo modelo se deu entre 1994 e 2018, onde os três primeiros anos foram utilizados para o aquecimento do modelo. A análise dos dados de saída ocorreu em passo de tempo anual.

Para a geração do mapa de vazões médias anuais na bacia, todo o processamento envolvendo os três passos (delineamento da bacia hidrográfica, geração das HRU's, edição de dados e execução do modelo SWAT) foi realizado.

O modelo SWAT foi calibrado para a bacia do rio Taperoá usando 12 parâmetros para garantir uma melhor simulação dos processos hidrológicos na bacia. Esses parâmetros foram usados anteriormente em estudos de calibração e validação do modelo SWAT, desenvolvidos pela equipe do Laboratório de Estudos em Gestão de Água e Território (LEGAT) da Universidade Federal da Paraíba – UFPB. No processo de calibração, foram obtidos índices estatísticos classificados como satisfatórios até muito bom, segundo Moriasi et al. (2015), como coeficiente de determinação (r^2) de 0,63, índice Nash–Sutcliffe (NS) de 0,62 e percentual de tendência (PBIAS) de -12,2. Na validação do modelo, os valores também foram satisfatórios ($r^2 = 0,93$; NS = 0,93 e PBIAS = -5,6). Os parâmetros, suas descrições, bem como os valores ajustados, são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Parâmetros e valores ajustados utilizados para a calibração do modelo SWAT

Parâmetros	Descrição	Valor ajustado
r_CN2, mgt	Parâmetro Curva-Número, condição de umidade antecedente II (adimensional)	-0,29
v_ALPHA_BF, gw	Constante de recessão do fluxo de base (dias)	0,27
v_GW_REVAP, gw	Coefficiente de controle do fluxo da água entre as zonas saturada e não saturada (adimensional)	0,18
v_REVAPMN, gw	Limite de água no solo para que ocorra ascensão capilar na zona saturada (mm)	14,8
a_GW_DELAY, gw	Tempo de recarga do aquífero (dias)	33,52
v_RCHRG_DP, gw	Fração de água percolada para o aquífero profundo (fração)	0,05
v_ESCO, hru	Coefficiente de compensação da evaporação de água no solo (adimensional)	0,56
v_EPCO, hru	Coefficiente de compensação da absorção de água pelas plantas (adimensional)	0,22
v_CH_N2, rte	Coefficiente de Manning do canal (adimensional)	0,22
r_sol_z (), sol	Profundidade da camada de solo (mm)	-0,17
r_SOL_AWC (), sol	Capacidade de água disponível no solo, (mm.mm^{-1})	1,64
v_CANMX, hru	Quantidade máxima de água interceptada pela vegetação (mm)	75,13

r – multiplica o valor existente (1+ o valor dado); a – adiciona o valor dado ao valor existente; v – substitui o valor existente ao valor dado

Resultados e Discussão

Análise morfométrica da bacia

Na Tabela 5 é possível observar as características das análises morfométricas da bacia hidrográfica do rio Taperoá, considerando os parâmetros físicos, hidrológicos e de relevo. A bacia apresenta uma área total de 5.668 km² e perímetro de 457,8 km. De acordo com Fonseca et al. (2023), as dimensões de uma bacia hidrográfica, associadas aos atributos morfométricos são responsáveis pela sua dinâmica hidrológica.

Tabela 5. Características morfométricas da bacia hidrográfica do rio Taperoá – PB

Características morfométricas	Valores
Parâmetros físicos	
Área (km ²)	5.668,0
Perímetro (km)	457,8
Fator de forma (Kf)	0,48
Coeficiente de compacidade (Kc)	1,7
Índice de Circularidade (IC)	0,34
Parâmetros hidrológicos	
Comprimento do curso d'água principal (km)	152,37
Comprimento axial (km)	107,88
Densidade de drenagem – Dd (km/km ²)	0,72
Densidade hidrográfica – Dh (canais/km ²)	0,51
Tempo de concentração – Tc (minutos/ horas)	1.118,41/18
Parâmetros de relevo	
Altitude máxima (m)	995
Altitude mínima (m)	384
Altitude média (m)	690
Amplitude altimétrica (m)	611

Os valores encontrados para o Kf e Kc foram de 0,48 e 1,7, respectivamente (Tabela 5). Esse resultado sugere que a bacia é pouco susceptível a enchentes em condições normais de precipitação, uma vez o Kf exibiu um valor baixo,

e o Kc apresentou valor afastado da unidade. Alves et al. (2019) realizando a caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do ribeirão Douradinho em Goiás, encontraram valor de fator de forma de 0,33 e coeficiente de compacidade de 1,56, indicando que a bacia também é pouco suscetível a enchentes e não possui uma forma circular. Esteves et al. (2023), estudando a bacia hidrográfica do rio Sirinhaém, em Pernambuco, encontraram valores de 0,27 para o Kf e de 3,15 para o Kc, classificando a bacia como de formato alongado, que indica uma baixa tendência a enchentes em condições normais de precipitação. Todos os resultados apresentados corroboram com os encontrados no presente estudo.

Observando-se o IC resultante de 0,34 (Tabela 5), verifica-se que a bacia não possui forma circular, possuindo, portanto, uma tendência de forma alongada. Lopes et al. (2022), realizando uma análise morfométrica na microbacia do açude Grande no Rio Grande do Norte, observaram um IC de 0,28, indicando que a microbacia possui uma forma alongada, e consequentemente, menor risco à formação de enchentes. Souza et al. (2021) também verificaram que a bacia hidrográfica do riacho do Navio, em Pernambuco, apresenta uma baixa tendência a enchentes, uma vez que o IC resultou em 0,22. A partir desta análise, verifica-se que a bacia hidrográfica do rio Taperoá apresenta uma baixa tendência à ocorrência de enchentes.

A Dd é um indicativo do nível de desenvolvimento do sistema de drenagem de uma bacia (Horton, 1945). Sendo assim, este índice permite identificar áreas com ocorrência de maior ou menor velocidade de escoamento (Villela e Mattos, 1975). Considerando os resultados obtidos no presente estudo, verificou-se um valor de Dd de 0,72 km.km⁻² (Tabela 5), indicando que a bacia possui uma baixa capacidade de drenagem, sendo classificada como drenagem regular. Esteves et al. (2023) também classificaram a bacia do rio Sirinhaém como de drenagem regular. De acordo com os autores, esse resultado indica uma média capacidade de escoamento, que favorece ao acúmulo de água e a infiltração.

Para Dornellas et al. (2020), a Dd é resultado da interação de fatores que controlam o escoamento superficial, influenciando desta forma, a produção de água e sedimentos na bacia.

Em áreas semiáridas, é comum encontrar baixa densidade de drenagem devido à menor capacidade de formação de cursos d'água permanentes, limitada pela baixa pluviosidade e infiltração predominante. Na bacia do rio Taperoá, fatores como um relevo pouco declivoso e solos profundos com alta capacidade de infiltração influenciam na densidade da drenagem. Cavalcante et al. (2021) ao avaliarem a Dd em 19 sub-bacias da bacia hidrográfica Apodi Mossoró encontraram resultados semelhantes para a sub-bacia 1, onde sua rede de drenagem foi classificada como média ou regular. Os autores destacaram que a relação entre a Dd moderada é influenciada pela forte presença de processos erosivos, típicos de regiões com relevo mais dissecado.

A Dh verificada para a bacia do rio Taperoá correspondeu a 0,51 canais/km² (Tabela 5), ou seja, menos de 1 canal por km², sendo considerada baixa, segundo a classificação de Christofolletti (1969) (Tabela 3). Este resultado sugere que o comprimento total de canais é baixo para a área da bacia, o que dificulta uma partícula de água que cai na superfície do solo encontrar rapidamente um canal e escoar, facilitando assim a infiltração da água no solo, corroborando com o resultado encontrado para a Dd.

O tempo de concentração (Tc) da bacia do rio Taperoá resultou em 1.118 minutos (i.e., aproximadamente 18 horas). Esse tempo pode estar relacionado com alguns parâmetros já discutidos, como a Dd, que demonstrou que na bacia há uma alta infiltração de água no solo, reduzindo desta forma, o escoamento superficial e consequentemente, aumentando o Tc e mitigando os riscos de inundações.

O mapa da rede de drenagem e a hierarquia fluvial da bacia hidrográfica do rio Taperoá são apresentados na Figura 4 e Tabela 6, respectivamente. O comprimento total dos cursos d'água resultou em 4.064,05 km. É possível verificar que, segundo o método de Strahler (1957), a bacia apresenta uma rede de drenagem com hierarquia de 6ª ordem. Predominam os canais de 1ª ordem com uma frequência de 50%, indicando relevos mais acentuados que favorecem a formação de nascentes. É possível observar que existem 1.438 canais de ordem 1, totalizando uma extensão de 2.010,16 km. Os demais 50% de canais da bacia estão distribuídos ao longo das demais ordens (i.e., 2ª a 6ª), onde a medida em que se aumenta a ordem, o número de canais diminui.

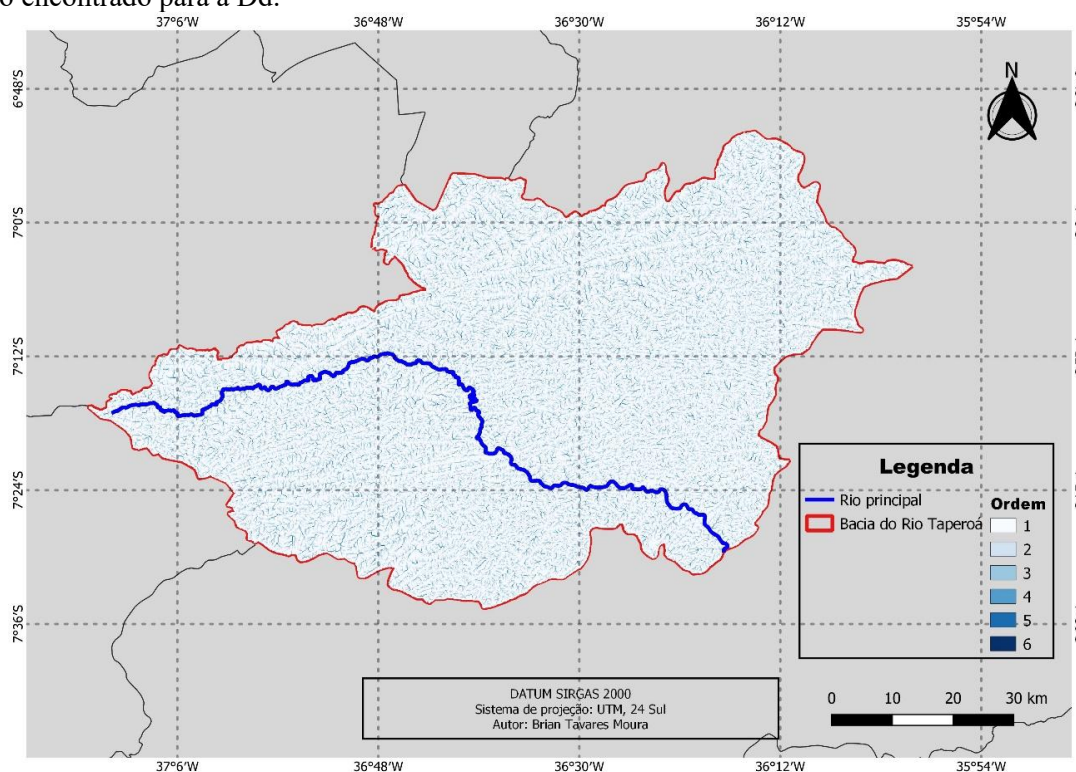


Figura 4. Mapa da rede de drenagem da bacia hidrográfica do rio Taperoá – PB, com destaque para o rio principal

Tabela 6. Hierarquia fluvial da bacia hidrográfica do rio Taperoá – PB

OrdemNº. de canais	Extensão (km)
1	1.438
2	678
3	357
4	233
5	129
6	41
Total	2.876

A Figura 5 apresenta o perfil topográfico do rio Taperoá, principal curso d'água da bacia. O rio Taperoá apresenta comprimento de 152,37 km, e comprimento axial de 107,88 km. A elevação média do rio principal da bacia é de 542 m, sendo sua altitude máxima 720 m e a mínima 384 m. Observa-se também que há uma menor variação de altitude no curso d'água do canal principal (336 m), em relação à amplitude altimétrica da bacia (611 m).

**Figura 5.** Perfil topográfico do rio Taperoá – PB

A Figura 6 apresenta o mapa de declividade da bacia hidrográfica do rio Taperoá, e na Tabela 7 está a distribuição das classes com suas respectivas áreas. De acordo com Alves et al.

(2019), analisar a altitude e a declividade de uma bacia hidrográfica é útil e simples para se identificar áreas suscetíveis a inundação e a erosão.

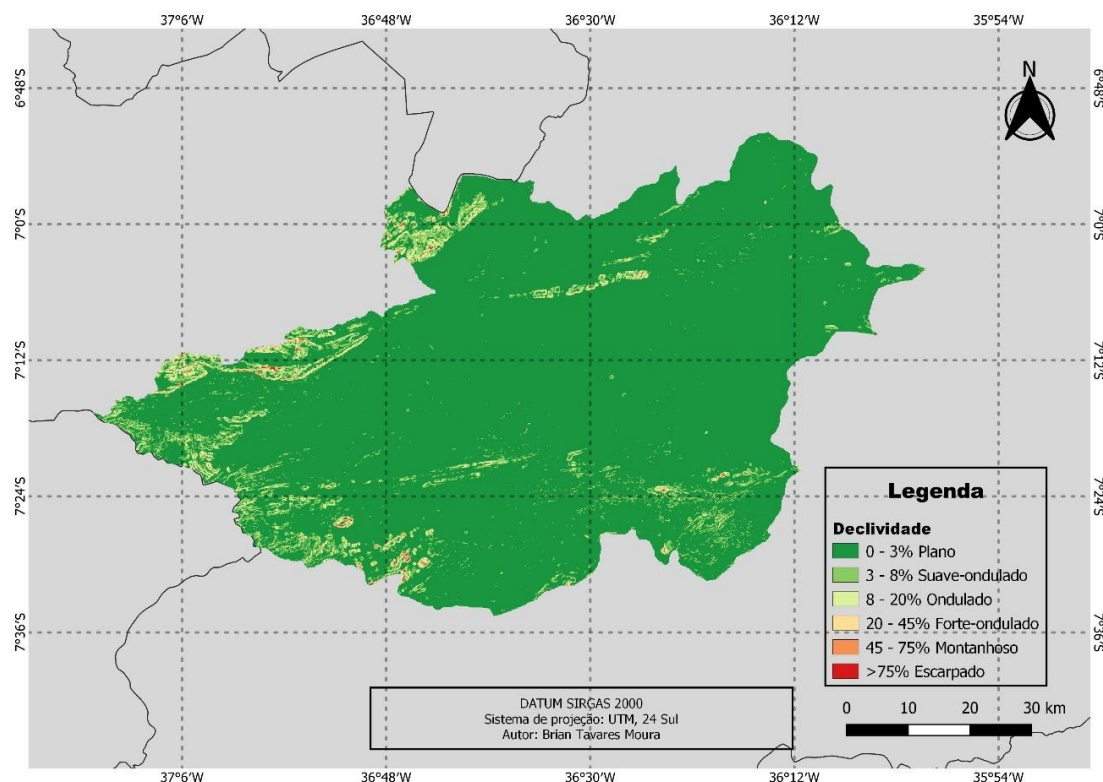


Figura 6. Mapa de declividade da bacia hidrográfica do rio Taperoá – PB

As regiões norte e oeste apresentaram as maiores altitudes (até 995 m), enquanto a porção central da bacia e a região leste apresentaram os menores valores (e.g., 384 m), com altitude média de 690 m. Observa-se que aproximadamente 93% da área da bacia pertence as classes de relevo plano e suave ondulado.

Tabela 7. Distribuição das classes de declividade da bacia hidrográfica do rio Taperoá – PB

Declividade (%)	Área (km ²)	Área (%)
0 – 3	2510,3	44,66
3 – 8	2714,7	48,30
8 – 20	325,5	5,79
20 – 45	68,8	1,22
45 – 75	1,5	0,03
> 75	0,02	0,00

Silva et al. (2020a), estudando a bacia do Igarapé do Capitão Poço no Pará, constataram que 53,32% da distribuição do relevo na bacia se classificou como plano. De acordo com os autores, relevos planos contribuem para baixas velocidades de escoamento superficial, favorecendo a infiltração de água no solo e a recarga subterrânea. Desta forma, a bacia do rio Taperoá apresenta uma baixa tendência a enchentes e a ocorrência de processos erosivos. Entretanto, essas áreas com menores declividades devem ser preservadas e manejadas adequadamente, tendo em vista o avanço das atividades agropecuárias nessas regiões planas do semiárido nordestino.

A Figura 7 apresenta a curva hipsométrica da bacia hidrográfica do rio Taperoá.

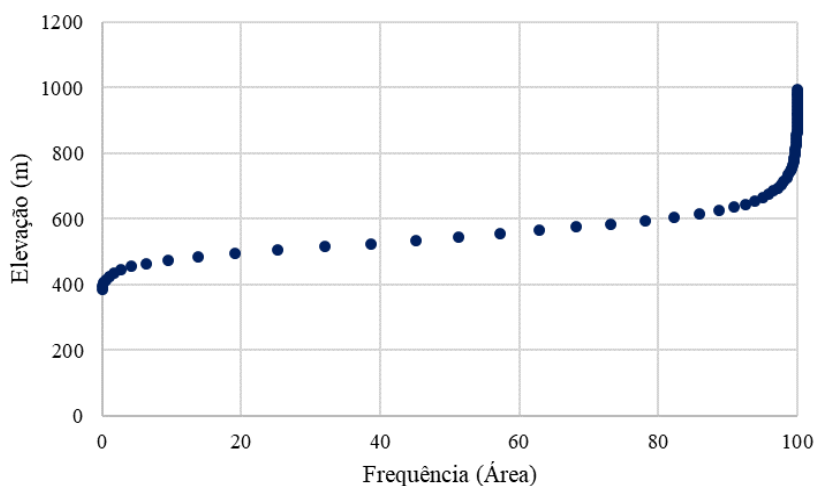


Figura 7. Curva hipsométrica da bacia hidrográfica do rio Taperoá – PB

Verifica-se que a maior parte da área da bacia apresenta altitudes na faixa entre 700 e 995 m. Segundo Mahala (2020), as modificações na elevação estão diretamente relacionadas às diferenciações da temperatura do ar, da precipitação e das características do vento, os quais favorecem os processos de geração de fluxo e evapotranspiração. Na bacia do rio Taperoá, as mudanças de tais fenômenos são mais propícias nas regiões norte e oeste, uma vez que essas áreas apresentam variações altimétricas mais elevadas.

Análise da dinâmica do uso e cobertura da terra para os anos 2000 e 2020 na bacia do rio Taperoá

A Tabela 8 apresenta as classes de uso e cobertura da terra e suas respectivas áreas para os anos de 2000 e 2020 da bacia hidrográfica do rio Taperoá. Ao analisar a dinâmica do uso e cobertura da terra ao longo dos anos, observou-se que a área de pastagem aumentou 101,28 km² em 20 anos. Outra classe que apresentou aumento foi a de lavouras temporárias, com um crescimento de 6,08 km² no ano de 2020 em relação ao ano 2000. Já as áreas urbanas mais do que duplicaram, aumentando de 11,37 km² para 24,39 km² em 2020. Esses resultados apontam para o avanço da agropecuária e a expansão urbana, elevando desta forma as superfícies impermeáveis, o que pode contribuir para o aumento do escoamento superficial e produção de sedimentos, e uma menor infiltração da água precipitada, favorecendo enchentes nos corpos hídricos (Anjinho et al., 2021; Silva et al., 2022).

Tabela 8. Classes de uso e cobertura da terra e suas respectivas áreas para os anos de 2000 e 2020 da bacia hidrográfica do rio Taperoá – PB

Classe	2000		2020	
	Área (km ²)	Área (%)	Área (km ²)	Área (%)
Formação Florestal	0,62	0,01	2,89	0,05
Caatinga	2054,22	36,24	2420,14	42,70
Formação Campestre	1,57	0,03	1,84	0,03
Mosaico de Usos	1025,23	18,09	540,86	9,54
Pastagem	2502,96	44,16	2604,24	45,94
Outras Lavouras Temporárias	0,85	0,01	6,93	0,12
Outras Áreas Não Vegetadas	49,05	0,87	39,86	0,70
Rio, Lago e Oceano	22,46	0,40	27,18	0,48
Área Urbanizada	11,37	0,20	24,39	0,43

Observando-se as classes de formação florestal, caatinga e formação campestre, verifica-se que está ocorrendo um processo de regeneração da floresta, uma vez que houve aumento dessas classes, o que pode estar associado com as características pluviométricas da região nestes anos e em anos anteriores. Os dados pluviométricos referentes aos acumulados anuais na bacia do rio Taperoá no ano de 2000, revelam que houve uma precipitação de 703,4 mm, em comparação com 620,6 mm em 2020 (AESAs, 2023). Apesar dos valores de

precipitação serem ligeiramente superiores no ano 2000 quando comparado a 2020, destaca-se que os 2 anos anteriores a 2000 apresentaram uma média anual de 214,55 mm, enquanto os 2 anos anteriores a 2020 apresentaram uma média anual de 523,45 mm, o que pode explicar a regeneração da Caatinga.

Queiroz et al. (2022) analisando as mudanças no uso e cobertura da terra do ano de 2013 a 2021 na bacia do rio Taperoá, verificaram também um crescimento elevado da vegetação densa, com uma variação de 87,99%, relacionando esse aumento de matas com aspectos ambientais decorrentes, especialmente, dos fatores climáticos. Outra explicação para a regeneração da Caatinga na bacia do rio Taperoá, é que de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o bioma Caatinga apresentou uma desaceleração nas perdas de suas áreas naturais entre os anos de 2000 e 2018, com uma redução de 17.165 km² entre os anos 2000 e

2010, e de 1.604 km² entre os anos de 2016 e 2018.

As Figuras 8 e 9 apresentam os mapas de uso e cobertura da terra para os anos de 2000 e 2020, respectivamente, da bacia hidrográfica do rio Taperoá. Analisando os mapas de uso e cobertura da terra, verificou-se que as áreas com maior presença de Caatinga (i.e., regiões norte e oeste da bacia), foram as que apresentaram maiores declividades (Figura 6). Por outro lado, as áreas com menores declividades (i.e., regiões central, sul e leste da bacia) apresentaram ocorrência mais significativa de atividades agropecuárias, indicando que os produtores da região priorizam o estabelecimento de cultivos e pastagens em locais com declividades mais baixas. Em regiões com declives acentuados, a preservação da vegetação é essencial, pois reduz significativamente a produção de escoamento superficial (Silva et al., 2019).

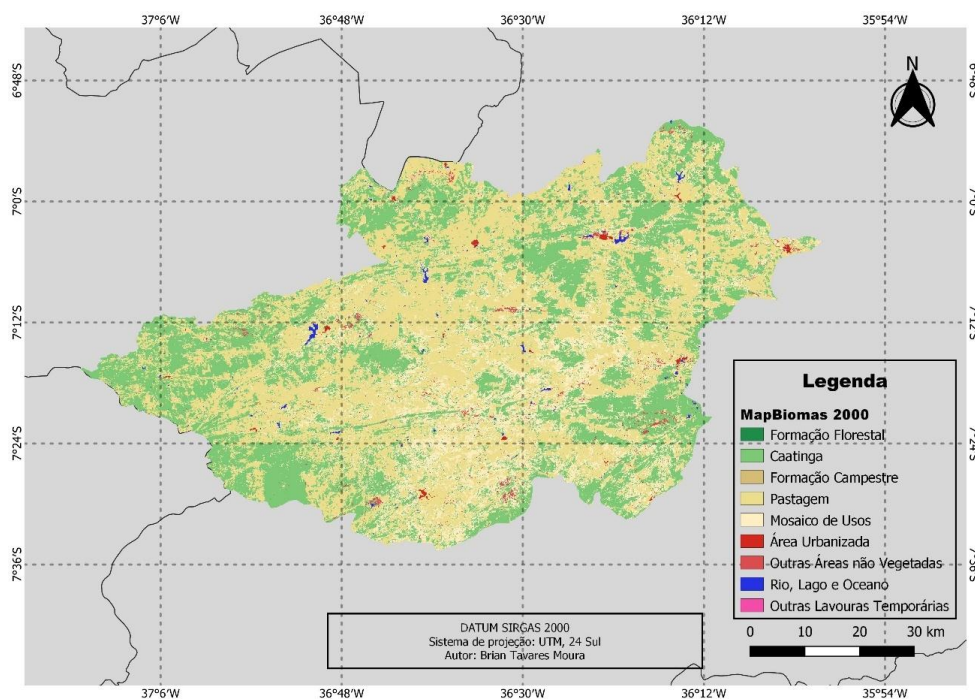


Figura 8. Mapa de uso e cobertura da terra do ano de 2000 da bacia hidrográfica do rio Taperoá – PB

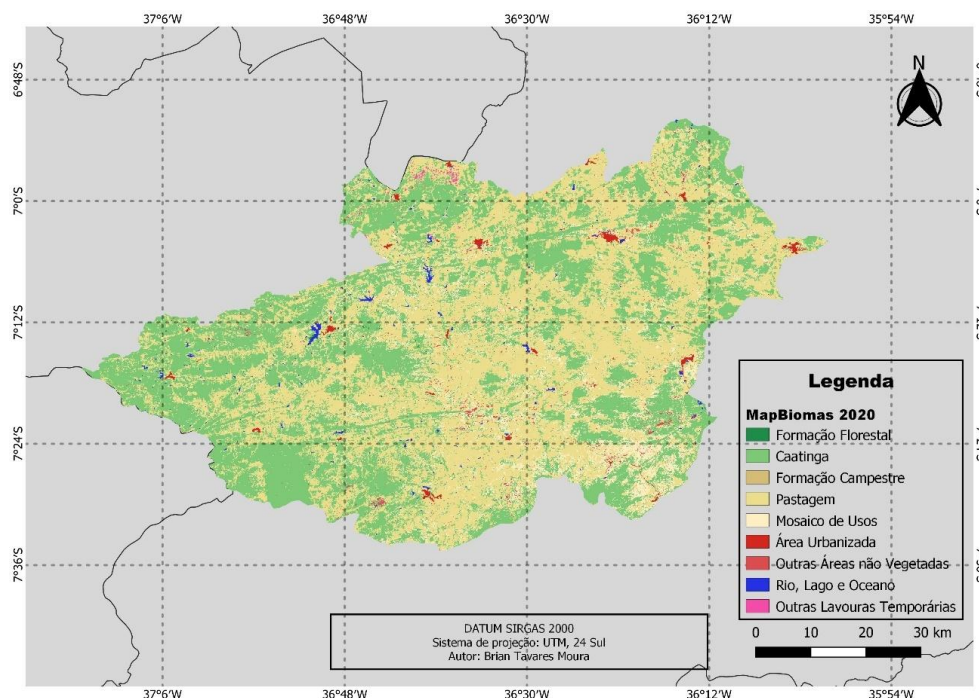


Figura 9. Mapa de uso e cobertura da terra do ano de 2020 da bacia hidrográfica do rio Taperoá – PB

O mapa das mudanças de uso e cobertura da terra entre os anos 2000 e 2020 na bacia hidrográfica do rio Taperoá – PB é apresentado na Figura 10. Verifica-se que ao longo desses 20 anos (2000-2020), a parte oeste da bacia foi a que apresentou maior área de reflorestamento, enquanto a porção central e sul da bacia

apresentou desflorestamento. Ao longo de toda a bacia, percebe-se a existência de áreas que permaneceram inalteradas. Além disso, verifica-se algumas transformações antrópicas, especialmente próximo das áreas onde houve desflorestamento.

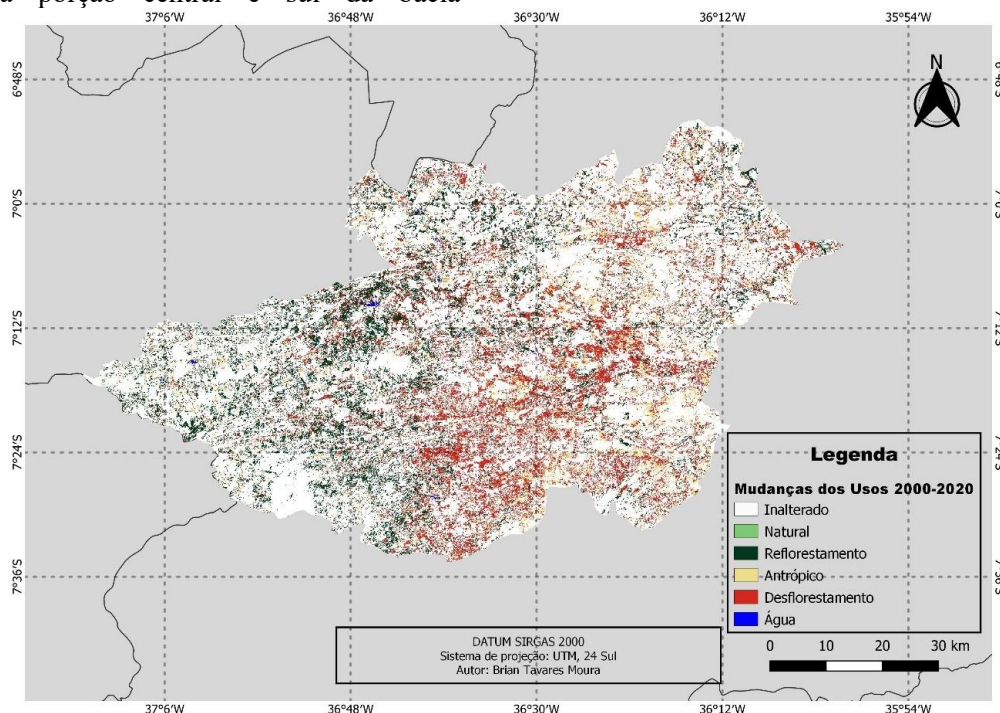


Figura 10. Mapa das mudanças de uso e cobertura da terra entre os anos 2000 e 2020 na bacia hidrográfica do rio Taperoá – PB

A Tabela 9 apresenta as classes de uso e cobertura da terra e suas respectivas áreas, evidenciando as mudanças ocorridas entre 2000 e 2020 na bacia hidrográfica do rio Taperoá. Observa-se que 70% da área da bacia permaneceu sem alterações ao longo de duas décadas. Em contraste, 13% da bacia foi afetada pela ação humana, caracterizando áreas antropizadas, onde há intervenção nos elementos vegetação, solo e relevo. Além disso, 11% da bacia experimentou processos de reflorestamento, transacionando de classes antropizadas para classes naturais.

Tabela 9. Classes das mudanças de uso e cobertura da terra entre os anos 2000 e 2020 e suas respectivas áreas na bacia hidrográfica do rio Taperoá – PB

Classe	Área (km ²)	Área (%)
Inalterado	3976,99	70,16
Natural	2,27	0,04
Reflorestamento	654,47	11,55
Antrópico	737,86	13,02
Desflorestamento	286,01	5,05
Água	10,45	0,18

Silva et al. (2019) estudando a dinâmica da cobertura vegetal e das mudanças climáticas na mesma bacia do presente estudo, verificaram que os maiores valores de precipitação são encontrados na porção oeste, e por isso, nesta região há a presença mais acentuada da vegetação Caatinga, o que corrobora com o mapa de análise das mudanças de uso e cobertura (Figura 10). De fato, a dinâmica espaço-temporal das vegetações, especialmente da Caatinga, varia muito com as estações seca e chuvosa (Queiroz et al., 2022). Sendo assim, percebe-se que um dos fatores climáticos mais importantes na região semiárida é a precipitação, tendo influência direta na cobertura natural da Caatinga, e a diminuição

dessa precipitação provoca diminuição dessa classe. No entanto, na região leste, os índices de precipitação são menores, resultando em uma menor densidade de vegetação natural. Além disso, nesta região, verifica-se uma maior intervenção humana, com a retirada da vegetação nativa para outros usos, como por exemplo, agricultura, pastoreio ou expansão urbana. A presença mais intensa da atividade humana na parte leste destaca a tendência de conversão de áreas naturais para fins antropogênicos. Isso pode resultar em alterações significativas na biodiversidade, no microclima e no ciclo hidrológico, uma vez que a retirada da vegetação afeta a capacidade do solo de reter água e contribui para o aumento da erosão e do escoamento superficial (Santiago et al., 2023).

Análise do balanço hídrico

A Figura 11 apresenta o balanço hídrico médio anual (1997-2018) da bacia do rio Taperoá, simulado pelo modelo SWAT. A precipitação anual média da bacia foi igual a 551,3 mm, a evapotranspiração potencial ou de referência (PET) média anual foi igual a 1.149,6 mm, a ascensão de água do aquífero raso anual média foi de 70,27 mm, sendo o escoamento superficial anual médio igual a 12,03 mm. A evapotranspiração real anual média resultou em 436,3 mm. A partir destes resultados, verifica-se que, em média, 85% da precipitação retorna para a atmosfera por meio da evapotranspiração. Apenas 2,4% da precipitação é transformada em escoamento superficial, considerando que 11% da água é infiltrada/ percolada. Em termos de fluxos totais, 58% representam escoamento superficial e 42% representam escoamento de base, havendo, portanto, grande significância deste último na dinâmica de fluxos da bacia.

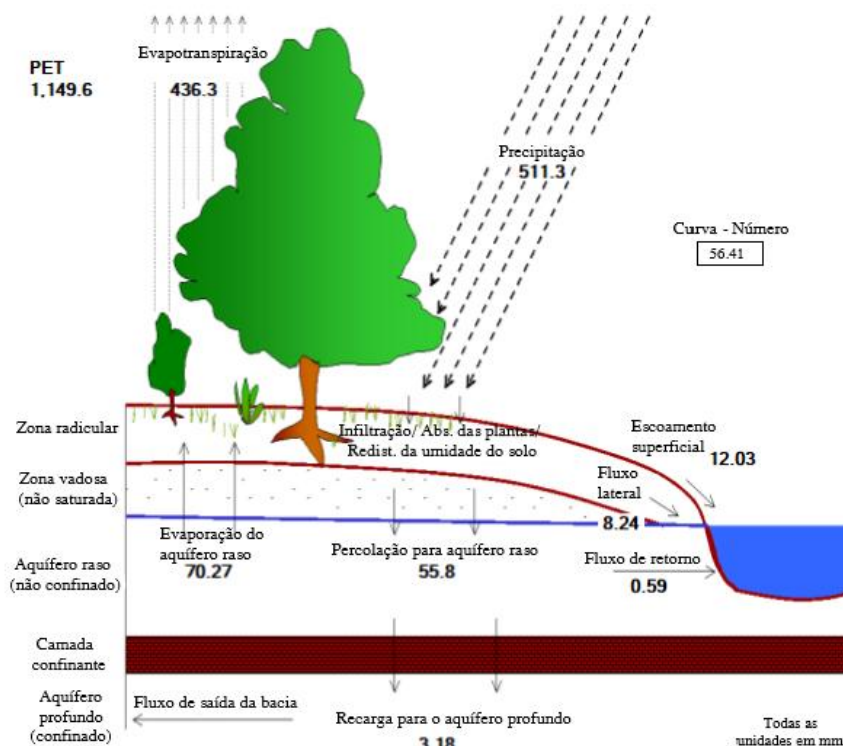


Figura 11. Representação dos processos hidrológicos simulados pelo modelo SWAT para a bacia hidrográfica do rio Taperoá

Os resultados do balanço hídrico obtidos por Medeiros et al. (2018) na bacia hidrográfica do açude Epitácio Pessoa, no semiárido da Paraíba, mostraram que a região apresenta uma alta taxa de evapotranspiração, onde 68% do que é precipitado (521,35 mm) é evapotranspirado (353,30 mm), devido às características climáticas da área (sertão da Paraíba), sendo o restante da precipitação convertido em vazão (7%), com 5% oriundo do escoamento superficial (27,34 mm) e 2% do fluxo de base (11,17 mm).

O escoamento superficial ocorre principalmente durante os períodos de chuva (fevereiro, março, abril e maio), enquanto nos outros meses, o que predomina na região é o escoamento subterrâneo, uma vez que uma das características de bacias hidrográficas do semiárido, como a bacia do rio Taperoá, é a presença de rios intermitentes.

O mapa da vazão média anual ao longo dos canais da bacia do rio Taperoá durante o período de 1997 a 2018 é apresentado na Figura 12.

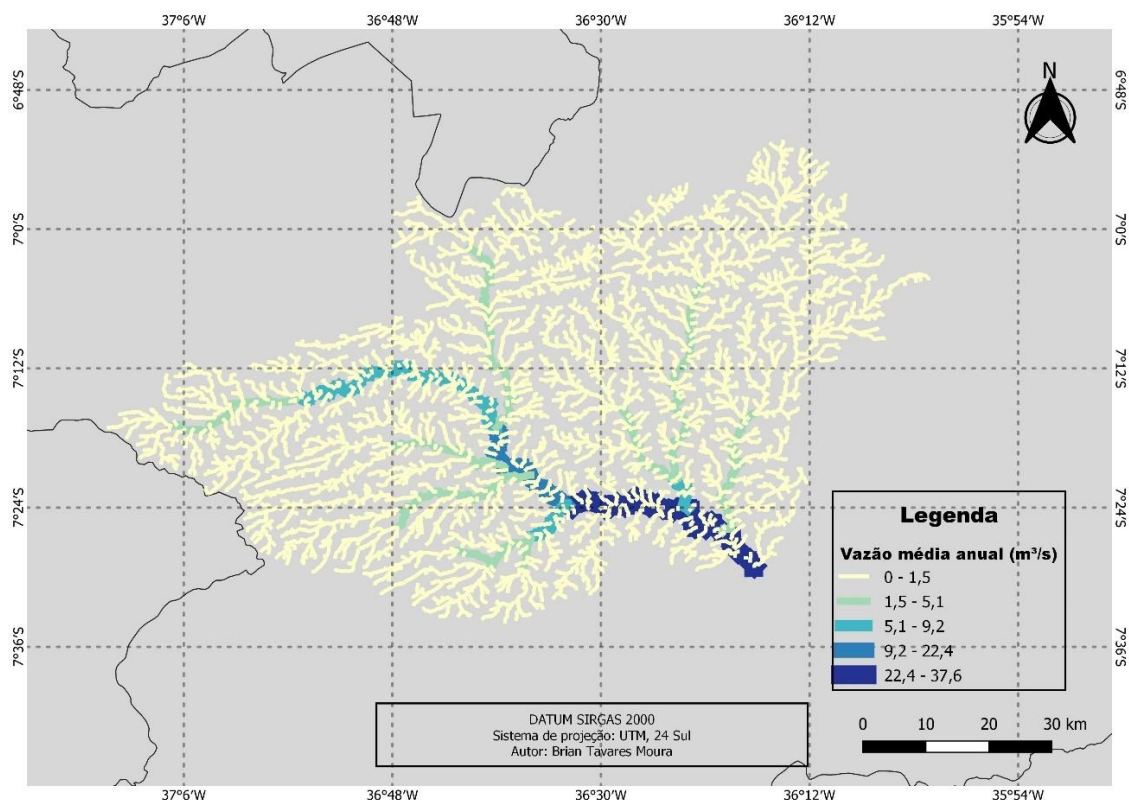


Figura 12. Mapa da vazão média anual (1997 – 2018) da bacia hidrográfica do rio Taperoá – PB

Verifica-se uma correlação significativa entre o aumento da ordem do rio e o aumento da vazão, onde o rio principal apresenta os maiores valores, especialmente na região próxima ao exutório da bacia. Isso ocorre devido à contribuição acumulada de afluentes ao longo do percurso do rio. À medida que o rio recebe mais contribuições de água de seus afluentes, a vazão total aumenta.

A análise da distribuição espacial das vazões permite destacar condições hidrológicas em diferentes pontos da bacia, possibilitando uma

gestão mais eficiente e sustentável dos recursos hídricos. Essa compreensão é crucial para a tomada de decisões sobre o uso e a gestão sustentável dos recursos hídricos, contribuindo para a preservação dos ecossistemas aquáticos e o atendimento das necessidades humanas. Sendo assim, informações sobre a distribuição das vazões podem ser usadas para prever eventos extremos, como inundações, e implementar medidas adequadas de mitigação. Além disso, auxilia a planejar o uso racional da água, especialmente em áreas onde a demanda é significativa.

Conclusões

A partir dos parâmetros morfométricos obtidos no presente estudo, foi possível identificar características físico-hídricas e de relevo em uma bacia representativa da região semiárida do Nordeste brasileiro. Os parâmetros físicos indicaram que a bacia hidrográfica do rio Taperoá é pouco susceptível a enchentes em condições normais de precipitação, bem como apresenta baixa propensão à ocorrência de processos erosivos. Os parâmetros hidrológicos indicaram que a bacia apresenta baixa capacidade de drenagem, o que contribui para a alta infiltração de água no solo, menor escoamento superficial, e maior recarga dos aquíferos. O tempo de

concentração da bacia do rio Taperoá foi de aproximadamente 18 horas, tempo que favorece a infiltração e reduz os riscos de inundação, caso as chuvas não sejam de alta intensidade. A bacia apresentou hierarquia fluvial de 6ª ordem, caracterizando-se por uma extensa e complexa rede de drenagem. Os parâmetros de relevo apontaram para uma altitude média de 690 m. Há a predominância de relevos plano e suave-ondulado, associado às características geológicas e pedológicas da bacia.

A análise da dinâmica do uso e cobertura da terra dos anos 2000 e 2020 revelou que a maior parte da bacia é propícia à atividade agropecuária, a qual apresenta predominância na região central,

sul e leste. Em contraste com a expansão agropecuária, há também sinais de regeneração da vegetação nativa na parte oeste da bacia do rio Taperoá. Entre 2000 e 2020, algumas regiões que anteriormente haviam sido desmatadas passaram por um processo de regeneração, provavelmente impulsionado por condições climáticas mais favoráveis, como aumentos na precipitação. Essa regeneração é uma tendência positiva, indicando que a vegetação nativa pode se recuperar quando as condições são propícias, ajudando a reduzir a perda de solo por erosão e a restaurar a biodiversidade. Para manter essa trajetória positiva, é essencial priorizar a proteção e manutenção dessas áreas regeneradas e de outras áreas florestadas, considerando a adoção de práticas agrícolas sustentáveis e políticas de uso do solo que incentivem a conservação.

A estimativa do balanço hídrico realizada com o modelo SWAT proporcionou informações detalhadas sobre o comportamento hidrológico da bacia do rio Taperoá. Verificou-se que, em média, 85% da precipitação retorna para a atmosfera por meio da evapotranspiração, enquanto apenas 2,4% da precipitação é transformada em escoamento superficial, considerando que 11% da água é infiltrada/percolada.

O software livre QGIS e o modelo SWAT foram eficientes na obtenção dos parâmetros morfométricos, na análise do uso e cobertura da terra e do balanço hídrico da bacia do rio Taperoá, subsidiando a compreensão de características de bacias representativas do semiárido brasileiro, sendo desta forma, essenciais no auxílio ao planejamento e manejo adequado dos recursos naturais da região.

Agradecimentos

Os autores expressam sua gratidão à Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado da Paraíba (FAPESQ) pelo apoio no desenvolvimento desta pesquisa, por meio do projeto (EDITAL N° 010/2021 - FAPESQ/PB - MCTIC/CNPq – N°. Termo de Outorga: 3207/2021). Também gostaríamos de agradecer à equipe de desenvolvedores do modelo SWAT da Texas A&M University pelo generoso suporte técnico proporcionado.

Referências

AESA. Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba, 2004. Proposta de instituição do comitê da bacia hidrográfica do

Rio Paraíba, conforme Resolução no 1, de 31 de agosto de 2003, do Conselho Estadual de Recursos Hídricos do Estado da Paraíba. Campina Grande.

AESA. Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba, 2023. Meteorologia-Chuvas. Campina Grande.

Aires, A.A., Costa, J.D., Bezerra, J.M., Rêgo, A.T.A., 2021. Caracterização morfométrica da microbacia hidrográfica da barragem de Pau dos Ferros/RN. *Revista Geama* 7, 67-76.

Alves, W.S., Morais, W.A., Martins, A.P., Aquino, D.S., Pereira, M.A.B., Saleh, B.B., 2019. Análise do uso da terra, da cobertura vegetal e da morfometria da bacia do Ribeirão Douradinho, no sudoeste de Goiás, Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física* [online] 12. Disponível: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v12.3.p1093-1113>. Acesso em: 27 jun. 2024.

Alves, C.L.B., Rodrigues, A., Rodrigues, N., 2021. Vulnerabilidade ambiental urbana nas regiões metropolitanas do Ceará. *Revista Brasileira de Desenvolvimento Regional* [online] 9. Disponível: <https://doi.org/10.7867/2317-5443.2021v9n2p133-160>. Acesso em: 25 jun. 2024.

Arnold, J.G., Kiniry, J.R., Srinivasan, R., Williams, J.R., Haney, E.B., Neitsch, S.L., 2012. Input/Output documentation version 2012. Texas Water Resource Institute – TR, 439-650.

Arnold, J.G., Srinivasan, R., Muttiah, R.S., Williams, J.R., 1998. Large area hydrologic modeling and assessment part I: Model development. *Journal of the American Water Resource Association* 34, 73-89.

Asfaw, D., Workneh, G., 2019. Quantitative analysis of morphometry on Ribb and Gumara watersheds: Implication for soil and water conservation. *International Soil and Water Conservation Research* 7, 150-157.

Andrade, C.W.L., Montenegro, S.M.G.L., Montenegro, A.A.A., Lima, J.R.S., Srinivasan, R., Jones, C.A., 2019. Soil moisture and discharge modeling in a representative watershed in northeastern Brazil using SWAT. *Ecohydrology & Hydrobiology* 19, 238-251.

Anjinho, P.S., Barbosa, M.A.G.A., Costa, C.W., Mauad, F.F., 2021. Environmental fragility analysis in reservoir drainage basin land use planning: A Brazilian basin case study. *Land Use Policy* [online] 100:104946. Disponível:

- <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2020.104946>. Acesso: 03 jan. 2024.
- 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* [online] 30. Disponível: <https://doi.org/10.1590/S0100-67622006000200011>. Acesso: 03 jan. 2024.
- Cardoso, P.V., Seabra, V.S., Xavier, R.A., Rodrigues, E.M., Gomes, A.S., 2021. Mapeamento de Áreas de Caatinga Através do Random Forrest: Estudo de caso na Bacia do Rio Taperoá. *Revista Geoaraguaia* 11, 55-68.
- Carreiro, D.A., Silva, T.J.R.D., Ferreira, M.K.S., Medeiros, F.C.A., 2022. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do riacho Catolé, Paraíba, Brasil. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales* [online] 15. Disponível: <https://doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2022.15.3.81218>. Acesso: 20 jan. 2025.
- Cavalcante, A.E.Q.M., Grigio, A.M., Diodato, M.A., 2021. Morfometria e diagnóstico físico conservacionista (DFC) em 19 sub-bacias da bacia hidrográfica Apodi Mossoró. *Revista Brasileira de Geografia Física* [online] 14. Disponível: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.7.p3891-3909>. Acesso: 20 jan. 2025.
- Christofoletti, A., 1969. Análise morfométrica das bacias hidrográficas. *Notícia Geomorfologia* 18, 35-64.
- Dantas, J.C., Silva, M.A., Silva, R.M., Vianna, P.C.G., 2015. Simulação vazão-erosão usando o modelo SWAT para uma grande bacia da região semiárida da Paraíba. *Geociências* 34, 816-827.
- Dantas, L.G., Santos, C.A.C., Olinda, R.A., Brito, J.I.B., Santos, C.A.G., Martins, E.S.P.R., Oliveira, G., Brunzell, N.A., 2020. Rainfall prediction in the state of Paraíba, Northeastern Brazil using generalized additive models. *Water* [online] 12. Disponível: <https://doi.org/10.3390/w12092478>. Acesso em: 27 jun. 2024.
- Dornellas, P. C., Seabra, V. S., Xavier, R. A., Silva, R. M., 2019. Vulnerabilidade à erosão dos solos na bacia do alto rio paraíba, semiárido paraibano. *Geografia Física e as Mudanças Globais* 5, 1911-1922.
- Dornellas, P.C., Xavier, R.A., Silva, R.M., Seabra, V.S., 2020. Morphometric analyses of high Paraíba River basin, semiarid region of Paraíba state. *Revista Brasileira de Geomorfologia* [online] 21. Disponível: <https://doi.org/10.20502/rbg.v21i3.1757>. Acesso em: 27 jun. 2024.
- EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1979. Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. Rio de Janeiro.
- Esteves, L.V., Esteves, A.M.S.L., Paz, D.H. F., Coutinho, A.P., 2023. Caracterização Morfométrica e Uso do Solo da Bacia Hidrográfica do Rio Sirinhaém (BHRS), Pernambuco, Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física* [online] 16. Disponível: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v16.5.p2609-2623>. Acesso em: 27 fev. 2024.
- Fonseca, J.A.M., Santos, G.L., Delgado, R.C., Pereira, M.G., 2023. Caracterização Morfométrica das Microbacias Hidrográficas do Parque Estadual Nova Baden, MG. *Revista Brasileira de Geografia Física* [online] 16. Disponível: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v16.3.p1263-1271>. Acesso em: 23 fev. 2024.
- Horton, R.E., 1945. Erosional development of streams and their drainage basins; hydrophysical approach to quantitative morphology. *Geological society of America bulletin*, [online] 56. Disponível: [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). Acesso: 20 jan. 2024.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2023. IBGE Cidades. Taperoá.
- Kirpich, Z.P., 1940. Time of concentration of small agricultural watersheds. *Civil engineering* 10(6), 362.
- Lopes, J.R.A., Bezerra, J.M., Almeida, N.M.D.P., Costa, H.C.G., Fernandes, G.S.T., Gonçalves, G.L., Mendonça, S.S.C., Oliveira Júnior, M.E., 2022. Caracterização morfométrica da microbacia hidrográfica do Açude Grande no semiárido do Rio Grande do Norte. *Revista Brasileira de Geografia Física* [online] 15. Disponível: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.1.p429-442>. Acesso em: 10 jun. 2024.
- Mahala, A., 2020. The significance of morphometric analysis to understand the hydrological and morphological characteristics in two different morpho-climatic settings. *Applied Water Science* [online] 10. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s13201-019-1118-2>. Acesso em: 27 jun. 2024.

- Medeiros, I.C., Silva, J.F.C.B.C., Silva, R.M., Santos, C.A.G., 2018. Run-offerosion modelling and water balance in the Epitácio Pessoa Dam river basin, Paraíba State in Brazil. *International Journal of Environmental Science and Technology* [online] 16. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s13762-018-1940-3>. Acesso em: 27 fev. 2024.
- Mello, K., Valente, R.A., Randhir, T.O., Santos, A.C.A., Vettorazzi, C.A., 2018. Effects of land use and land cover on water quality of low-order streams in Southeastern Brazil: Watershed versus riparian zone. *Catena* [online] 167. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.04.027>. Acesso em: 27 fev. 2024.
- Melo Filho, F.S., Soares, R.A., Nuñez, D.N.C., 2023. Morphometric analysis of Caiapo River watershed, Goiás, Brazil. *Brazilian Journal of Science* [online] 2. Disponível: <https://doi.org/10.14295/bjs.v2i5.304>. Acesso em: 03 mar. 2024.
- Miller, V.C., 1953. A quantitative geomorphic study of drainage basins characteristic in the Clinch Mountain area, Virginia and Tennessee. Columbia University, Dept. of Geology. Project NR 389-402. Technical Report 3.
- Moriasi, D.N.; Gitau, M.W.; Pai, N.; Daggupati, P., 2015. Hydrologic and water quality models: Performance measures and evaluation criteria. *Trans. ASABE* [online] 6. Disponível: <https://doi.org/10.13031/trans.58.10715>. Acesso em: 03 mar. 2024.
- Moyroud, N., Portet, F., 2018. Introduction to QGIS. In *QGIS and Generic Tools*. Disponível: <https://doi.org/10.1002/9781119457091.ch1>. Acesso: 20 jan. 2024.
- Nascimento, S.S., Lima, E.R.V., Lima, P.P.S., 2014. Uso do NDVI na análise temporal da degradação da caatinga na sub-bacia do Alto Paraíba. *OKARA: Geografia em debate* 8, 72-93.
- Neitsch, S., Arnold, J., Kiniry, J., Williams, J., 2011. Soil & Water Assessment Tool Theoretical Documentation Version 2009. Texas Water Resource Institute – TR, 1-647.
- Nobre, N.C., Silva, C.M., Santana, J.S., Silva, W.A., 2020. Caracterização morfométrica, climática e de uso do solo da Bacia hidrográfica do Rio Farinha-MA. *Acta Iguazu*, [online] 9. Disponível: <https://doi.org/10.48075/actaiguaz.v9i1.19021>. Acesso em: 10 jun. 2024.
- Queiroz, F.V.A., Sousa, N.D., Cavalcante, T.M.S.S., Vasconcelos, P.H.N., Soares, A.H.A., Pereira, A.S., Marinho, E.G.A., 2022. Mudanças no uso e cobertura da terra em uma bacia de clima semiárido: o estudo de caso da bacia do rio Taperoá. *OKARA: Geografia em debate* 16, 235-246.
- Rosas-Chavoya, M, Gallardo-Salazar, J.L., López-Serrano, P.M., Alcántara-Concepción, P.C., León-Miranda, A.K., 2022. QGIS a constantly growing free and open-source geospatial software contributing to scientific development. *Cuadernos De Investigación Geográfica* [online] 48. Disponível: <https://doi.org/10.18172/cig.5143>. Acesso em: 19 mar. 2024.
- Santiago, C.M.C., Silva, E.V., Soares, L.S., 2023. Capacidade de suporte dos sistemas ambientais da bacia hidrográfica do Rio São Nicolau (BHSN)-Piauí. *Geografia* [online] 48. Disponível: <https://doi.org/10.5016/geografia.v48i1.16807>. Acesso em: 10 jun. 2024.
- Silva, A.F., Farias, C.W.L.A., 2021. Análise morfométrica da bacia hidrográfica do Rio Mundaú utilizando o modelo SWAT. *Revista Semiárido De Visu* [online] 9. Disponível: <https://doi.org/10.31416/rsdv.v9i2.216>. Acesso: 20 jan. 2024.
- Silva, J.R.I., Souza, E.S., Souza, R., Santos, E.S., Antonino, A.C.D., 2019. Efeito de diferentes usos do solo na erosão hídrica em região semiárida. *Revista Engenharia na Agricultura* [online] 27. Disponível: <https://doi.org/10.13083/reveng.v27i3.867>. Acesso em: 14 mar. 2024.
- Silva, J.S.A., Rodrigues, R.S.S., Bittencourt, G.M., 2020a. Application of different MDE's for the extraction of morphometric variables of a hydrographic catchment. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing* [online] 10. Disponível: <https://doi.org/10.29150/jhrs.v10.1.p10-19>. Acesso: 03 jan. 2024.
- Silva, L.P., Xavier, A.P.C., Silva, R.M., Santos, C.A.G., 2020b. Modeling land cover change based on an artificial neural network for a semiarid river basin in northeastern Brazil. *Global Ecology and Conservation* [online] 21. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00811>. Acesso: 20 jan. 2024.
- Silva, J., Silva, R.M., Santos, C.A.G., Silva, A.M., Vianna, P.C.G., 2021. Analysis of the response of the Epitácio Pessoa reservoir (Brazilian

- semiarid region) to potential future drought, water transfer and LULC scenarios. *Nat Hazards* [online] 107. Disponível: <https://doi.org/10.1007/s11069-021-04736-3>. Acesso em: 10 jun. 2024.
- Silva, J.R.I., Montenegro, A.A.A., Farias, C.W.L.A., Jardim, A.M.R.F., Silva, T.G.F., 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* [online] 118. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.jsames.2022.103939>. Acesso em: 07 jan. 2024.
- Singh, S., Kumar, S., Mittal, P., Kanhaiya, S., Prakash, P., Kumar, R., 2018. Drainage basin parameters of Bagh River, a sub-basin of Narmada River, central India: analysis and implications. *Journal of Applied Geochemistry* 20, 91-102.
- Souza, C.F., Pertille, C.T., Schramm Corrêa, B.J., Vieira, F.S., 2018. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Ivaí-Paraná. *Geoambiente* [online] 29. Disponível: <https://doi.org/10.5216/revgeoamb.v0i29.50602>. Acesso em: 07 jan. 2024.
- Souza, Ê.G.F., Nascimento, A.H.C., Cruz, E.A., Pereira, D.D.F., Silva, R.S., Silva, T.P., Freire, W.A., 2021. Delimitação e caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do Riacho do Navio, Pernambuco, a partir de dados SRTM processados no QGIS. *Revista Brasileira de Geografia Física* [online] 14. Disponível: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.3.p1530-1540>. Acesso em: 16 mar. 2024.
- Souza, R.F., Oliveira, G.R., Freitas, E.G., Pinheiro, A.C., Souza, R.N., 2023. Agricultura no Cerrado e impactos ambientais decorrentes. *Observatório de La Economía Latinoamericana*, [online] 21. Disponível: <https://doi.org/10.55905/oelv21n12-088>. Acesso em: 12 set. 2024.
- Strahler, A.N., 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *American Geophysical Union* [online] 38. Disponível: <https://doi.org/10.1029/TR038i006p00913>. Acesso em: 16 mar. 2024.
- Sultana, M.S., Gazi, M.Y., Mia, M.B., 2021. Multiple indices based agricultural drought assessment in the northwestern part of Bangladesh using geospatial techniques. *Environ Chall* [online] 4. Disponível: <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100120>. Acesso em: 19 mar. 2024.
- Tewari, N.K., Misra, A.K., Sharma, A., 2019. Assessment of geomorphological and hydrological variations in Bhagirathi River Drainage sub-basin with the help of morphometric studies. *Journal of Taibah University for Science* [online] 13. Disponível: <https://doi.org/10.1080/16583655.2019.1670888>. Acesso: 25 jan. 2024.
- Vieira, A.S, Lima, R.M.F.L., Fontgalland, I.L., Maciel, S.B.S., Filho, V.R.A., 2023. Avaliação da arrecadação por meio de um modelo de cobrança por uso da água bruta na sub-bacia do rio Taperoá, localizado no semiárido paraibano, Brasil. *Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade* 12, 90-103.
- Villela, S.M., Mattos, A., 1975. *Hidrologia aplicada*. 1. McGraw-Hill do Brasil.