



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL  
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

**IMPACTOS DAS MUDANÇAS DO USO E COBERTURA DA  
TERRA NA HIDROLOGIA DE UMA BACIA DE CLIMA  
SEMIÁRIDO: O ESTUDO DE CASO DA BACIA HIDROGRÁFICA  
DO RIO TAPEROÁ (PB)**

BRIAN TAVARES MOURA

JOÃO PESSOA  
OUTUBRO/2024

BRIAN TAVARES MOURA

**IMPACTOS DAS MUDANÇAS DO USO E COBERTURA DA  
TERRA NA HIDROLOGIA DE UMA BACIA DE CLIMA  
SEMIÁRIDO: O ESTUDO DE CASO DA BACIA HIDROGRÁFICA  
DO RIO TAPEROÁ (PB)**

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Civil e Ambiental do Centro de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba, Campus I, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Richarde Marques da Silva

Coorientadora: Profa. Dra. Carlyne Wanessa Lins de Andrade Farias

JOÃO PESSOA – PB  
OUTUBRO/2024

**Catálogo na publicação**  
**Seção de Catalogação e Classificação**

M929i Moura, Brian Tavares.

Impactos das mudanças do uso e cobertura da terra na hidrologia de uma bacia de clima semiárido: o estudo de caso da bacia hidrográfica do Rio Taperoá (PB) / Brian Tavares Moura. - João Pessoa, 2024.

77 f. : il.

Orientação: Richarde Marques da Silva Silva.

Coorientação: Carolyne Wanessa Lins de Andrade Farias Farias.

TCC (Graduação) - UFPB/CT.

1. Modelagem hidrológica, SWAT, balanço hídrico. I. Silva, Richarde Marques da Silva. II. Farias, Carolyne Wanessa Lins de Andrade Farias. III. Título.

UFPB/BSCT

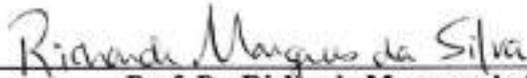
CDU 504(043.2)

## FOLHA DE APROVAÇÃO

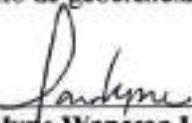
**BRIAN TAVARES MOURA**

### **IMPACTOS DAS MUDANÇAS DO USO E COBERTURA DA TERRA NA HIDROLOGIA DE UMA BACIA DE CLIMA SEMIÁRIDO: O ESTUDO DE CASO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TAPEROÁ (PB)**

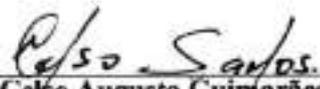
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado em sessão de defesa pública realizada em  
24/10/2024, perante a seguinte Comissão Julgadora:

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Ricardo Marques da Silva**  
Orientador  
Departamento de geociências do CCEN/UFPB

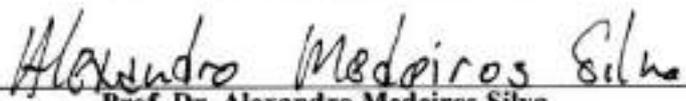
APROVADO  
(Aprovado/Reprovado)

  
\_\_\_\_\_  
**Profa. Dra. Carolyne Wanessa Lins de Andrade Farias**  
Co-orientadora  
Universidade Federal da Paraíba

APROVADO  
(Aprovado/Reprovado)

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Celso Augusto Guimarães Santos**  
Membro Interno  
Universidade Federal da Paraíba

Aprovado  
(Aprovado/Reprovado)

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Alexandre Medeiros Silva**  
Membro Externo  
Universidade Federal da Paraíba

Aprovado  
(Aprovado/Reprovado)

Documento assinado digitalmente:  
**gov.br** ALINE FLÁVIA NUNES REMÍGIO ANTUNES  
Data: 28/10/2024 13:50:05-0300  
Verifique em <https://sistema.ju.gov.br>

\_\_\_\_\_  
**Profa. Aline Flávia Nunes Remígio Antunes**  
Coordenadora do Curso de Graduação em Engenharia  
Ambiental

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a minha família, em especial a minha mãe, Jucilene Tavares, a minha irmã Bruna Lís e aos meus avós Maria Auzeni e Plácido Tavares que sempre me ajudaram e apoiaram ao longo da minha jornada, prestando sempre todo o suporte que estava ao seu alcance e que sem dúvidas não teria conseguido concluir mais essa etapa da minha vida sem a ajuda deles.

À minha namorada Tuany Kerolayne, obrigado por estar ao meu lado em todos os momentos, por sua compreensão e por me motivar a seguir em frente, mesmo nos dias mais difíceis.

Em especial, ao meu filho João Gabriel de Oliveira Tavares, que trouxe luz e alegria à minha vida, agradeço por ser minha maior inspiração. Você é a razão pela qual busco sempre ser melhor.

Agradeço a minha orientadora (Por motivo de licença maternidade, não pôde estar presente na banca), a Profa. Dra. Carolyne Wanessa Lins de Andrade Farias, que me acompanhou nesses últimos anos da minha formação desde a cadeira SIG, passando por dois anos de Iniciação Científica. Sem dúvidas eu não teria chegado até aqui a sua ajuda e dedicação, muito obrigado por tudo.

Ao Prof. Dr. Richarde Marques da Silva, que se prontificou de ser meu orientador, sendo fundamental para o desenvolvimento deste trabalho.

Agradeço também a todos os amigos que estiveram comigo ao longo dessa jornada, em especial a Bárbara Meira, Maria Clara, que sempre estiveram comigo em todos os momentos.

Aos membros da banca professores Celso, Alexandro, pelas valorosas contribuições para a melhoria deste trabalho.

Agradeço ao Setor de Resíduos Sólidos, em especial a minha coordenadora Tânea Montenegro e minha chefe de divisão Ana Mayara, que me proporcionou a oportunidade de conciliar estudos e profissão, mostrando que é possível sonhar e realizar.

Por fim, agradeço a todos que me ajudaram direta ou indiretamente na realização desse trabalho. De forma geral, a todos que sempre estiveram ao longo da minha vida ao meu lado.

Dedico primeiramente a Deus  
e segundo à minha família e em  
especial ao meu filho João Gabriel.

Do interior ao coração da cidade, a simplicidade da minha origem me ensinou que os sonhos não têm limites. Cada passo foi uma conquista, e cada desafio, uma lição. Hoje, celebro a jornada que transformou minha vida.

**(Autor Desconhecido)**

## RESUMO

As mudanças no uso e cobertura da terra têm impactos nos processos hidrológicos e os seus efeitos combinados afetam os recursos hídricos. Sendo assim, compreender os mecanismos entre o uso e cobertura da terra e a hidrologia é essencial para melhorar a gestão da água e solo. Nesse sentido, o objetivo desta pesquisa foi avaliar os impactos das mudanças no uso e cobertura da terra no comportamento hidrológico para a bacia do Rio Taperoá sob diferentes cenários utilizando o modelo *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT). Neste trabalho, foram utilizados dados climáticos para o período de 1994 a 2018, além de mapas dos tipos de solos, uso e cobertura da terra e modelo de elevação digital. O modelo foi calibrado com o intuito de obter melhores ajustes para a modelagem, sendo utilizado 12 parâmetros. Para avaliar os impactos das alterações no uso e cobertura da terra foram desenvolvidos quatro cenários: C1 e C2 – conversão de floresta em pastagens de 20 e 50%, respectivamente; e C3 e C4 – conversão de pastagem em floresta de 20 e 50%, respectivamente. Os resultados mostraram que, em geral, os cenários de desmatamento apresentaram aumento na vazão média de 0,01 e 0,03 m<sup>3</sup>/s para C1 e C2, enquanto que nos cenários de reflorestamento houve diminuição da vazão de 0,01 e 0,03 m<sup>3</sup>/s para C3 e C4, respectivamente. O aumento da floresta nativa proporcionou uma diminuição do escoamento superficial de 0,07 (C1) e 0,17 mm (C2). Com relação a expansão da pastagem, os resultados mostraram um aumento no escoamento superficial de 0,11 e 0,27 mm em C3 e C4, respectivamente. Sendo assim, os cenários de reflorestamento têm um impacto positivo na região, pois aumentam a contribuição das águas subterrâneas e reduzem os picos de vazão, melhorando a capacidade da bacia em sustentar o escoamento de base devido à maior capacidade natural de regularização das vazões. Em contraste, os cenários de conversão de floresta em pastagens geraram impactos negativos na bacia hidrográfica, com a redução da disponibilidade de água e o aumento dos riscos de inundação. Esses resultados podem aprimorar o planejamento e a gestão hídrica nesta bacia por ser uma das regiões mais importantes para o abastecimento público da Paraíba.

**Palavras-chave:** Modelagem hidrológica, SWAT, balanço hídrico.

## ABSTRACT

Changes in land use and land cover have impacts on hydrological processes and their combined effects affect water resources. Therefore, understanding the mechanisms between land use and land cover and hydrology is essential to improve water and soil management. In this sense, the objective of this research was to evaluate the impacts of changes in land use and land cover on the hydrological behavior of the Taperoá River basin under different scenarios using the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) model. In this work, climate data for the period from 1994 to 2018 were used, in addition to maps of soil types, land use and land cover and a digital elevation model. The model was calibrated in order to obtain better adjustments for the modeling, using 12 parameters. To evaluate the impacts of changes in land use and land cover, four scenarios were developed: C1 and C2 – conversion of forest to pasture of 20 and 50%, respectively; and C3 and C4 – pasture-to-forest conversion of 20 and 50%, respectively. The results showed that, in general, the deforestation scenarios presented an increase in the average flow of 0.01 and 0.03 m<sup>3</sup>/s for C1 and C2, while in the reforestation scenarios there was a decrease in the flow of 0.01 and 0.03 m<sup>3</sup>/s for C3 and C4, respectively. The increase in native forest provided a decrease in surface runoff of 0.07 (C1) and 0.17 mm (C2). Regarding pasture expansion, the results showed an increase in surface runoff of 0.11 and 0.27 mm in C3 and C4, respectively. Therefore, reforestation scenarios have a positive impact on the region, as they increase the contribution of groundwater and reduce peak flows, improving the basin's capacity to sustain base flow due to the greater natural capacity to regulate flows. In contrast, scenarios of conversion of forest to pasture generated negative impacts on the river basin, with reduced water availability and increased flood risks. These results can improve water planning and management in this basin, as it is one of the most important regions for public water supply in Paraíba.

**Keywords:** Hydrological modeling, SWAT, water balance.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação de uma bacia hidrográfica.....	22
Figura 2 – Representação dos processos envolvidos no ciclo hidrológico.....	23
Figura 3 – Representação esquemática das etapas de modelagem com SWAT.....	32
Figura 4 – Localização geográfica, hipsometria, tipos de solo, precipitação e rede drenagem da bacia hidrográfica do Rio Taperoá – PB.....	33
Figura 5 – Discretização da bacia do Rio Taperoá em sub-bacias e geração da rede ....	38
Figura 6 – Uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do Rio Taperoá – PB.....	40
Figura 7 – Tipos de solos da bacia hidrográfica do Rio Taperoá – PB.....	42
Figura 8 – Mapa de declividade da bacia hidrográfica do Rio Taperoá – PB.....	44
Figura 9 – Mapa de localização dos postos fluviométrico e pluviométricos da bacia hidrográfica do Rio Taperoá – PB.....	46
Figura 10 – Fluxograma com as etapas e reclassificações realizadas para obtenção do mapa das mudanças de uso e cobertura da terra entre os anos 2000 e 2020.....	50
Figura 11 – Hidrograma e ietograma observados para a bacia do Rio Taperoá entre 1997 e 2018.....	54
Figura 12 – Distribuição espacial da precipitação e vazão estimada na bacia do Rio Taperoá.....	55
Figura 13 – Mapa de uso e cobertura da terra do ano de 2000 da bacia hidrográfica do Rio Taperoá – PB.....	57
Figura 14 – Mapa de uso e cobertura da terra do ano de 2020 da bacia hidrográfica do Rio Taperoá – PB.....	58
Figura 15 – Mapa das mudanças de uso e cobertura da terra entre os anos 2000 e 2020 na bacia hidrográfica do Rio Taperoá – PB.....	59
Figura 16 – Comportamento das vazões observada e dos cenários de desflorestamento para a bacia do Rio Taperoá.....	61
Figura 17 – Comportamento das vazões observada e dos cenários de reflorestamento para a bacia do Rio Taperoá.....	62
Figura 18 – Componentes do balanço hídrico do Cenário 1 (a – escoamento superficial, b – percolação, c – teor de água no solo e d – evapotranspiração real) para a bacia do Rio Taperoá.....	64

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Dados de entrada usados no modelo SWAT da bacia do Rio Taperoá .....	36
Tabela 2 – Informações dos reservatórios utilizados neste estudo .....	37
Tabela 3 – Classes de uso e cobertura da terra identificadas na bacia e a associação com as classes de uso e cobertura da terra do banco de dados do SWAT .....	40
Tabela 4 – Distribuição das classes de solos da bacia hidrográfica do Rio Taperoá .....	41
Tabela 5 – Propriedades físico-hídricas dos solos da bacia hidrográfica do Rio Taperoá – PB .....	41
Tabela 6 – Distribuição das classes de declividade da bacia hidrográfica do Rio Taperoá – PB .....	43
Tabela 7 – Informações da estação climatológica utilizado neste estudo .....	44
Tabela 8 – Informações dos postos pluviométricos utilizados neste estudo .....	45
Tabela 9 – Informações do posto fluviométrico utilizado neste estudo .....	45
Tabela 10 – Parâmetros e valores ajustados utilizados para a calibração do modelo SWAT .....	47
Tabela 11 – Parâmetros utilizados para bacia hidrográfica do Rio Taperoá .....	48
Tabela 12 – Cenários de mudanças no uso e cobertura da terra considerando a área total da bacia e o percentual de Formação Savânica (Caatinga) em relação ao uso atual da terra .....	51
Tabela 13 – 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 .....	56
Tabela 14 – Variações médias anuais, e dos períodos seco e chuvoso das vazões causadas pelos cenários de uso e cobertura da terra em relação à linha de base, considerando o período 1997 – 2018 .....	60
Tabela 15 – Indicadores hidrológicos e componentes do balanço hídrico e sua variação da simulação da linha de base .....	62

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AESA	Agência Executiva de Gestão das Águas
AGRL	Mosaico de Usos
ALPHA_BF	Constante de recessão do fluxo de base (dias)
ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
APP	Área de Preservação Permanente
ARS – USDA	Serviço de Pesquisa Agrícola do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos
BARR	Outras Áreas não Vegetadas
BHRM	Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú
BHRT	Bacia Hidrográfica do Rio Taperoá
BSh	Clima Semi-árido quente
C1	20% da vegetação nativa de toda a bacia é convertida em pastagem
C2	50% da vegetação nativa de toda a bacia é convertida em pastagem
C3	20% da pastagem de toda a bacia é convertida em vegetação nativa
C4	50% da pastagem de toda a bacia é convertida em vegetação nativa
CANMX	Quantidade máxima de água interceptada pela vegetação (mm)
CARL	Caatinga
Ce	Cambissolo
CH_N2	Coefficiente de Manning do canal (adimensional)
CN_2	Parâmetro Curva-Número, condição de umidade antecedente II (adimensional)
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
EPCO	Coefficiente de compensação da absorção de água pelas plantas (adimensional)
ESCO	Coefficiente de compensação da evaporação de água no solo (adimensional)
ESRI	Environmental Systems Research Institute

FCAA	Formação Florestal
GW_DELAY	Tempo de recarga do aquífero (dias)
GW_REVAP	Coefficiente de controle do fluxo da água entre as zonas saturada e não saturada (adimensional)
HRU	Hydrologic Response Units
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
LASH	Lavras Simulation of Hydrology
LEGAT	Laboratório de Estudos em Gestão de Água e Território
Lve	Latosolo Vermelho-Amarelo
MapBiomass	Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil
MDE	Modelo digital de elevação
NC	Luvissolo
NS	Coefficiente de Eficiência de Nash-Sutcliffe
PAST	Pastagem
PB	Paraíba
PBIAS	Percentual Tendência
QGIS	<i>Quantum GIS</i>
QSWAT	Interface do SWAT para o Quantum GIS
R <sup>2</sup>	Coefficiente de Determinação
RCHRG_DP	Fração de água percolada para o aquífero profundo (fração)
Re	Solo Litólico Eutrófico
Red	Regosolo Distrófico
Ree	Regosolo Eutrófico
	Research Service
REVAPMN	Limite de água no solo para que ocorra ascensão capilar na zona saturada (mm)
RNGE	Formação Campestre
S	Sul
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SOL_AWC	Capacidade de água disponível no solo, (mm.mm <sup>-1</sup> )
SOL_Z	Profundidade da camada de solo (mm)

SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
SRTM	Shuttle Radar Topography Mission
SS	Planassolo
SWAT	Soil & Water Assessment Tool
SW <sub>t</sub>	Teor final da água do solo
UFPB	Universidade Federal da Paraíba
URBN	Área Urbanizada
USDA-ARS	United States Department of Agriculture – Agriculture
USGS	<i>United States Geological Survey</i>
UTM	Universal Transversa de Mercator
WATR	Rio, Lago e Oceano
WGEN	<i>Weather Generator</i>

## LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
'	Minutos
“	Segundos
°C	Grau Celsius
a	Adiciona o valor dado ao valor existente
C.O	Carbono orgânico
CAD	Capacidade de água disponível
Ds	Densidade do solo
ET	Evapotranspiração no dia <i>i</i>
ET	Evapotranspiração no dia <i>i</i> (mm)
g/cm <sup>3</sup>	Grama por centímetro cúbico
h	Hora
ha	Hectares
hab	Habitantes
IAF	Índice de área foliar
Km	Quilômetro
Km <sup>2</sup>	Quilômetro quadrado
Ksat	Condutividade hidráulica saturada
m s <sup>-1</sup>	Metro por segundo
m	Metro
m <sup>3</sup>	Metro cúbico
MJ m <sup>-2</sup>	Radiação solar
mm	Milímetro
°	Grau
P	Precipitação
P	Precipitação do dia (mm)
Q	Vazão
Q <sub>gw</sub>	Fluxo de retorno no dia <i>i</i> (mm)
Qobs	Vazão observada
Q <sub>s</sub>	Escoamento superficial no dia <i>i</i> (mm)
Qsim	Vazão simulada

$r$	multiplica o valor existente (1+ o valor dado)
$SW_0$	Teor inicial da água do solo no dia $i$ (mm)
$SW_t$	Teor final da água do solo (mm)
$t$	Tempo (dias)
$v$	substitui o valor existente ao valor dado
$W_{gs}$	Fluxo de retorno no dia $i$ (mm)
$W_s$	Água do perfil do solo que entra na zona vadosa no dia $i$ (mm)
$Z$	Profundidade do perfil do solo (mm)

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	18
<b>1.1. OBJETIVOS</b> .....	19
1.1.1. <b>OBJETIVO GERAL</b> .....	19
1.1.2. <b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b> .....	19
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	21
<b>2.1. BACIAS HIDROGRÁFICAS</b> .....	21
<b>2.2. PROCESSOS HIDROLÓGICOS EM BACIAS</b> .....	23
2.2.1. <b>PROCESSOS HIDROLÓGICOS EM BACIAS DO SEMIÁRIDO</b> .....	24
2.2.2. <b>IMPORTÂNCIA DA VEGETAÇÃO NOS PROCESSOS HIDROLÓGICOS</b> .....	24
<b>2.3. USO E COBERTURA DA TERRA E SEUS IMPACTOS</b> .....	25
<b>2.4. IMPACTO DAS MUDANÇAS DE USO E COBERTURA DA TERRA NOS PROCESSOS HIDROLÓGICOS EM BACIAS HIDROGRÁFICAS</b> .....	26
<b>2.5. MODELAGEM ECOHIDROLÓGICA COM O <i>SOIL AND WATER ASSESSMENT TOOL</i> (SWAT)</b> .....	27
<b>2.6. APLICAÇÃO DO MODELO SWAT NA AVALIAÇÃO DE IMPACTOS DE CENÁRIOS DE USO E COBERTURA DA TERRA</b> .....	28
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	32
<b>3.1. ÁREA DE ESTUDO</b> .....	33
<b>3.2. BREVE DESCRIÇÃO DO MODELO SWAT</b> .....	34
<b>3.4. CONSTRUÇÃO DO BANCO DE DADOS UTILIZADO NA MODELAGEM</b> .....	35
3.4.1. <b>DISCRETIZAÇÃO DA BACIA HIDROGRÁFICA</b> .....	37
3.4.2. <b>GERAÇÃO DAS UNIDADES DE RESPOSTA HIDROLÓGICA</b> ....	38
3.4.3. <b>USO E COBERTURA DA TERRA</b> .....	39
3.4.4. <b>TIPOS DE SOLOS</b> .....	41
3.4.5. <b>DECLIVIDADE</b> .....	43
3.4.6. <b>INSERÇÃO DOS DADOS CLIMÁTICOS</b> .....	44
3.4.7. <b>CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO SWAT</b> .....	46
<b>3.5. DINÂMICA DO USO E COBERTURA DA TERRA</b> .....	49
<b>3.6. CENÁRIOS DE USO E COBERTURA DA TERRA</b> .....	50
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	53
<b>4.1. ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DA VAZÃO</b> .....	53
<b>4.2. ANÁLISE DA DINÂMICA DO USO E COBERTURA DA TERRA</b> ....	55

<b>4.3. IMPACTOS DAS MUDANÇAS DE USO NA VAZÃO .....</b>	<b>59</b>
<b>4.4. BALANÇO HÍDRICO DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO TAPEROÁ.....</b>	<b>62</b>
<b>5. CONCLUSÃO .....</b>	<b>66</b>
<b>6. REFERÊNCIAS .....</b>	<b>67</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Na região semiárida do Brasil, o uso inadequado do solo vem acarretando diversos problemas ambientais, tais como, o comprometimento de fontes e mananciais de água, degradação de habitats naturais, erosão, enchentes e assoreamento do solo (Passos, Silva e Silva 2021). Rennó e Soares (2000) citam que na natureza, a manutenção dos recursos hídricos, no que diz respeito ao regime de vazão dos cursos d'água e da qualidade de água, depende de uma relação íntima que existe entre a cobertura vegetal e a água.

Atrelado a isto, questões hidro climáticas, crescimento populacional e econômico exerce grande pressão sobre os recursos ambientais (Aghsaei et al., 2020). Essas pressões desencadeiam mudanças no uso e cobertura da terra com grandes impactos nos serviços ecossistêmicos das bacias hidrográficas, bem como nos processos hidrológicos (Andrade et al., 2019). As mudanças no uso e cobertura da terra, especialmente o desflorestamento, são motivo de preocupação em escala global, devido aos múltiplos impactos ambientais que podem ocasionar (Oliveira et al., 2018; Silva et al., 2020b). Sendo assim, compreender os processos hidrológicos é fundamental para a segurança hídrica, uma vez que a disponibilidade hídrica nessas regiões é limitada (Montenegro et al., 2019).

A bacia hidrográfica do Rio Taperoá (BHRT) desempenha um papel de extrema importância na região semiárida do estado da Paraíba. Isso se deve, principalmente, ao fato de que seu principal afluente, o Rio Taperoá, deságua no maior reservatório do estado, o Açude Epitácio Pessoa, responsável pelo abastecimento de água para a cidade de Campina Grande e outras cidades circunvizinhas, atendendo a mais de meio milhão de habitantes (Rêgo et al., 2015). Além disso, a água proveniente desta bacia é essencial para a irrigação de culturas agrícolas na região. A exploração dos recursos hídricos da bacia do Rio Taperoá é fundamental para impulsionar o desenvolvimento econômico local. Destaca-se especialmente a agricultura irrigada, que não só gera empregos, mas também proporciona renda para a população. Ao longo do tempo, as atividades agropastoris, com destaque para a pecuária extensiva e a agricultura, têm sido a base produtiva da região (Dornellas et al., 2020). No entanto, é importante reconhecer que muitas vezes essas práticas estão associadas à devastação das matas ciliares e às queimadas, o que tem causado mudanças ambientais significativas na região (Wanderley, 2016).

A BHRT é na sua totalidade ocupada pelo bioma Caatinga, um dos mais ameaçados do Brasil, que está passando por mudanças substanciais no uso e cobertura da terra nas últimas décadas (Lins et al., 2024). A Caatinga perdeu 11,6% de sua vegetação

nativa entre 1985 e 2021, enquanto a agricultura e a pecuária cresceram 23,8% no mesmo período (MapBiomias, 2021).

Essas alterações no uso/cobertura da terra têm impactos nos processos hidrológicos e os seus efeitos combinados podem reduzir ou aumentar a disponibilidade de água (Obahoundje et al., 2017). Sendo assim, compreender os mecanismos entre o uso e cobertura da terra e a hidrologia é essencial para melhorar a gestão da água e do uso e cobertura da terra. Para compreender os processos dinâmicos das mudanças do uso e cobertura da terra, é necessária uma análise espaço-temporal detalhada. Segundo Schumann et al. (2010), estudos hidrológicos em bacias hidrográficas, como na BHRT, são essenciais para a compreensão dos processos que governam a disponibilidade hídrica.

Neste contexto, os modelos hidrológicos são instrumentos importantes para monitorar e estimar alterações no uso e cobertura da terra (Näschen et al., 2019). Os modelos ajudam a compreender o funcionamento de um ecossistema, auxiliar na tomada de decisão sobre práticas sustentáveis de uso da terra, no planejamento e gestão da água (Silva et al., 2018). Fontes Júnior e Montenegro (2019) destacam que modelos hidrológicos, como o *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) (Arnold et al., 1998) vem sendo utilizado em estudos em escala de bacia hidrográfica em várias partes do planeta e em diferentes biomas. Esse modelo vem sendo usado para simular a qualidade e a quantidade das águas superficiais e subterrâneas e também para prever os impactos ambientais do uso da terra, das práticas de gestão da terra e clima no ciclo hidrológico (Bressiani et al., 2015; Silva et al., 2018a).

Nesse sentido, esta pesquisa tem como foco contribuir na avaliação de potenciais impactos das mudanças no uso e cobertura da terra no comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica no semiárido brasileiro, fornecendo informações para aprimorar o planejamento e a gestão hídrica nesta bacia por ser uma das regiões mais importantes para o abastecimento público da Paraíba.

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1. Objetivo Geral**

Avaliar os impactos das mudanças no uso e cobertura da terra no comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica no semiárido brasileiro sob diferentes cenários de uso e cobertura da terra.

### **1.1.2. Objetivos Específicos**

- Analisar a dinâmica do uso e cobertura da terra para a bacia hidrográfica do Rio Taperoá no período 2000-2020;
- Estimar os componentes do balanço hídrico da bacia e sua variação da linha de base através de modelagem hidrológica no período 1997-2018;
- Comparar diferentes cenários de uso e cobertura da terra (reflorestamento e desmatamento) e seus impactos nos processos hidrológicos da bacia;

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A estruturação do levantamento bibliográfico desta pesquisa foi orientada pelos temas que abrangem a síntese de ideias desde os elementos de relação territorial até as aplicações da modelagem hidrológica em bacias hidrográficas. A primeira seção visa introduzir as bacias hidrográficas sob uma abordagem conceitual. Em seguida, na segunda seção, são descritos os processos hidrológicos, reguladores naturais que influenciam a dinâmica das bacias hidrográficas. A terceira seção aborda os impactos das mudanças no uso e cobertura da terra. Na quarta seção, é discutido o modelo *Soil and Water Assessment Tool* SWAT. Concluindo o referencial teórico, a quinta seção apresenta as aplicações do modelo hidrológico SWAT na avaliação de impactos de cenários de uso e cobertura da terra nos processos hidrológicos das bacias hidrográficas.

### 2.1. Bacias hidrográficas

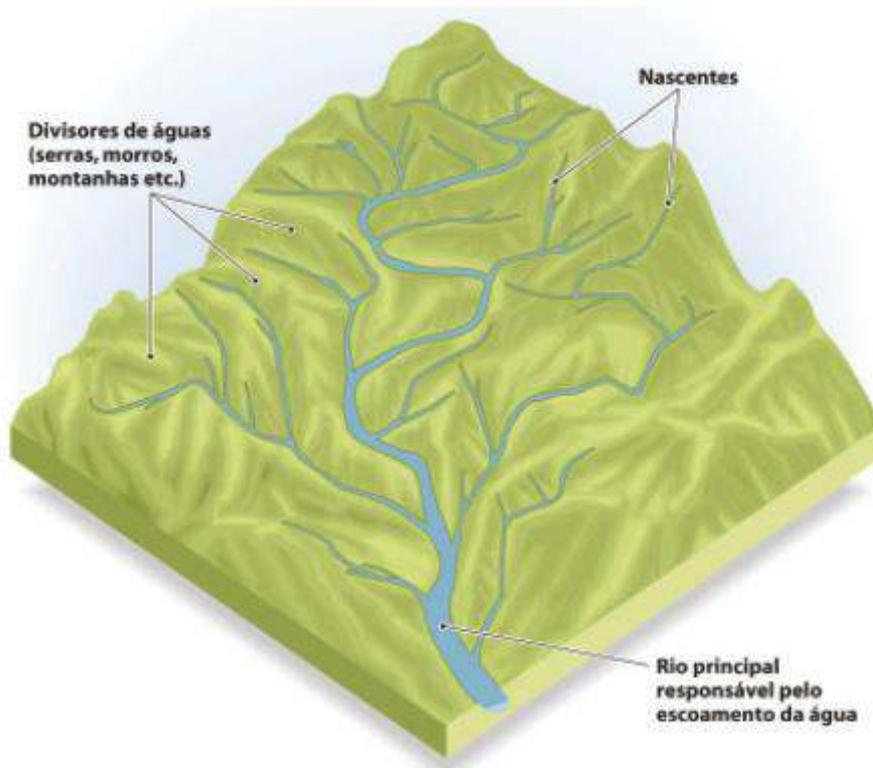
De acordo com Press et al (2006), uma bacia hidrográfica corresponde a um sistema ambiental dentro de uma unidade de área da superfície terrestre que é composta por uma rede de canais de drenagem e delimitada por divisores topográficos que estabelecem uma área de captação da precipitação onde é drenada água, materiais dissolvidos e em suspensão para um único ponto de saída, o exutório da bacia.

Já Christofletti (1981) define a bacia hidrográfica como uma área drenada por um sistema fluvial que pode ser considerada tanto um sistema aberto quanto fechado onde toda matéria e energia presentes no sistema apresentam uma função própria e estão estruturados intrinsecamente entre si.

A bacia hidrográfica consiste na área delimitada espacialmente pelo relevo através dos divisores de água, sendo drenada por um curso d'água, tal que a vazão efluente é descarregada através de uma simples saída (Cecílio e Reis, 2006). Segundo Silva (1997), nem sempre há uma coincidência entre os dois tipos de divisores, prevalecendo quase sempre o divisor topográfico.

Segundo Silveira (2000), a bacia hidrográfica compõe-se basicamente de um conjunto de superfícies vertentes e de uma rede de drenagem formada por cursos de água que confluem até resultar um leito único no exutório.

Figura 1 – Representação de uma bacia hidrográfica



Fonte: Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) e Fundação Roberto Marinho (2006).

A bacia hidrográfica deve ser considerada como uma unidade ideal de estudo e planejamento quando se deseja a preservação dos recursos hídricos, já que as atividades desenvolvidas no seu interior têm influência no seu comportamento hidrológico, resultando em vários impactos ao ambiente e na disponibilidade de recursos hídricos (Tucci, 1997). Andreozzi (2005) exalta a importância das bacias hidrográficas para estudos que visem compreender a dinâmica de seus componentes, sendo desta forma considerada a menor unidade da paisagem capaz de integrar todos os componentes do meio natural: atmosfera, vegetação, solos, substrato rochoso, águas superficiais e de sub-superfície, sendo, portanto, um sistema que melhor reflete as respostas do meio natural frente às atividades antrópicas. Segundo Miguel et al. (2012), a bacia hidrográfica é uma unidade importante para a compreensão das mudanças no uso e ocupação do solo, possibilitando traçar estratégias de conservação e planejamento ambiental.

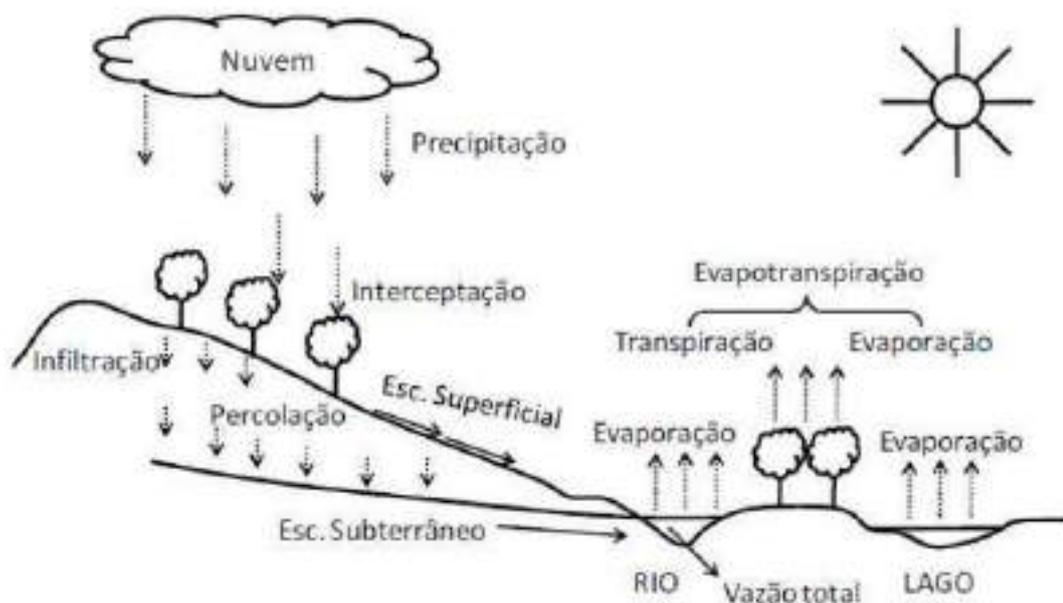
Desta forma, contextualizando os processos naturais em paralelo com as ações humanas de modificação da paisagem, denota-se a relevância da análise e compreensão dos processos naturais que ocorrem em bacias hidrográficas tomando-a como um sistema

e uma unidade natural de planejamento e gestão, visto que todos os elementos da paisagem (atmosfera, biosfera, litosfera e hidrosfera) interagem de maneira que os reflexos das atividades antrópicas podem ser representados nesta unidade natural (Mondan e Cerny, 1994).

## 2.2. PROCESSOS HIDROLÓGICOS EM BACIAS

Um dos fenômenos naturais que controlam a dinâmica da bacia hidrográfica é o ciclo hidrológico. Esse ciclo ocorre em escala global devido às interações complexas que a água sofre, possibilitando a sua circulação no planeta. Contudo, mesmo sendo único para todo o planeta, o ciclo hidrológico varia de volume de cada um de seus componentes em diferentes bacias hidrográficas de localizações distintas no planeta (Pielou, 1998).

Figura 2 – Representação dos processos envolvidos no ciclo hidrológico



Fonte: Kobiyama et al. (2011)

Os processos hidrológicos na bacia hidrográfica possuem duas direções predominantes de fluxo na bacia: vertical e longitudinal. O vertical é representado pelos processos de precipitação e evapotranspiração e o longitudinal pelo escoamento na direção dos gradientes da superfície (escoamento superficial e rios) e do subsolo (escoamento subterrâneo) (Tucci e Clarke, 1997).

### 2.2.1. PROCESSOS HIDROLÓGICOS EM BACIAS DO SEMIÁRIDO

Os recursos hídricos na região semiárida merecem atenção devido à intermitência dos rios, precipitações espaço-temporalmente irregulares e à escassez hídrica. Essa região está sujeita a uma maior variabilidade de chuvas, produzindo períodos de estiagem aguda, e, ao mesmo tempo, propiciando eventos extremos de precipitação (Montenegro e Montenegro, 2012).

Dessa forma, as características geoambientais do semiárido brasileiro, principalmente as altas temperaturas, as elevadas taxas de evapotranspiração e a irregularidade da precipitação interferem significativamente no regime hídrico local (Silva, 2020). A alta variabilidade climática se manifesta em um padrão sazonal, anual e decenal, sendo a variabilidade anual no semiárido modulada pelo El Niño/Oscilação Sul no Pacífico e pelo Padrão Dipolo no Atlântico (Marengo et al., 2011).

Entre as variações ambientais que interferem na dinâmica das bacias hidrográficas semiáridas, as variações climáticas têm um forte efeito no balanço hídrico a curto prazo, enquanto alterações na cobertura das terras influenciam o balanço hídrico a longo prazo (Zhang et al., 2016).

Além disso, o nível de desmatamento do bioma Caatinga, presente no semiárido, interfere diretamente na manutenção das nascentes, no assoreamento de rios, na proteção dos solos e, conseqüentemente, no escoamento superficial (Silva, 2020). De fato, as características da cobertura vegetal nas áreas áridas e semiáridas possibilitam um comportamento diferenciado nas taxas de evapotranspiração. Além disso, a presença da vegetação interfere em outros processos como infiltração, interceptação e na manutenção da água no solo.

### 2.2.2. Importância da vegetação nos processos hidrológicos

A vegetação tem um papel fundamental no balanço de energia e no fluxo de volumes de água em uma bacia hidrográfica. A parcela inicial da precipitação é retida pela vegetação, e quanto maior for a superfície de folhagem, maior será a área de retenção da água durante a precipitação. Esse volume retido é evaporado assim que houver capacidade de evaporação (Tucci e Clarke, 1997).

Da parcela de precipitação que atinge o solo, a mesma pode infiltrar ou escoar superficialmente dependendo da capacidade do solo em infiltrar. A capacidade de infiltração depende do tipo e do uso e cobertura da terra. Normalmente, a capacidade de

infiltração de solos com floresta é alta (Pritchett, 1979), o que produz pequena quantidade de escoamento superficial. Para solos com superfície desprotegida que sofre a ação de compactação, a capacidade de infiltração pode diminuir drasticamente, resultando em maior escoamento superficial.

Especificamente no semiárido nordestino, inserido no bioma Caatinga, as características da cobertura vegetal possibilitam um comportamento diferenciado nas taxas de evapotranspiração (Silva, 2020), onde ocorre perdas das folhas nos períodos secos, o que contribui para alteração da resposta hidrológica no início do período chuvoso (Palácio, 2011), e se configura ainda como um fator ambiental primordial para os processos hidrológicos. Segundo Silva (2020), a presença da vegetação interfere em outros processos como infiltração, interceptação e na manutenção da água no solo.

### **2.3. USO E COBERTURA DA TERRA E SEUS IMPACTOS**

As mudanças no uso e na cobertura da terra têm provocado impactos nas paisagens e o agravamento dos problemas ambientais, comprometendo a sustentabilidade do ecossistema (Melo et al. , 2021). Em nível de bacia hidrográfica, a cobertura vegetal sofre várias modificações, produzindo diversos impactos ao meio ambiente, um deles é o escoamento superficial, sendo um dos primeiros e principais fatores que são alterados quando ocorre remoção da vegetação nativa (Santos et al., 2000). Sendo assim, estudos relacionados ao uso e ocupação das terras são importantes, pois permitem planejar a ocupação territorial em determinada região, considerando ainda, que o manejo incorreto da terra pode acarretar danos à qualidade ambiental dos serviços ecossistêmicos (Fiorese; Leite, 2018).

A partir disso, segundo Santos e Santos (2010), muitos autores consideram o mapeamento de uso e ocupação do solo uma ferramenta importante para um melhor entendimento das rápidas mudanças na paisagem. Com base nessas informações, planejadores e gestores podem elaborar melhores políticas que permitam o estabelecimento de ações para a utilização racional dos recursos disponíveis de uma determinada região (Brito e Prudente, 2005; Pereira e Pinto, 2007). Segundo Campos (1997), o planejamento das áreas com presença de atividades agrícolas, desmatamento para pecuária e moradia vem sendo desenvolvido de forma que o uso e cobertura da terra seja aproveitado de maneira racional visando proteger sua capacidade produtiva e que seja eficaz.

## **2.4. Impacto das mudanças de uso e cobertura da terra nos processos hidrológicos em bacias hidrográficas**

As mudanças naturais e artificiais na cobertura vegetal de bacias hidrográficas influenciam no seu comportamento hidrológico, resultando em vários impactos ao ambiente e na disponibilidade de recursos hídricos (Tucci, 1997). Mudanças na cobertura do solo e nas práticas de manejo da terra têm sido consideradas os principais fatores que influenciam no sistema hidrológico, gerando mudança no escoamento superficial, podendo afetar as taxas de erosão e carga de sedimentos em uma bacia hidrográfica, assim como a alteração da qualidade das águas superficiais (Abdelwahabet et al., 2014).

Entre as atividades antrópicas responsáveis pela degradação ambiental, podem-se citar a agricultura, pecuária, mineração, obras civis, urbanização, muitas vezes decorrentes de um processo de ocupação desordenado. Considerando a interação entre os diversos componentes do meio, deve-se considerar que as mudanças do uso e cobertura da terra podem ocorrer em diferentes escalas, incorrendo em consequências como alteração do regime hídrico, das propriedades físico-químicas e redução da biodiversidade (Zuquette et al., 2013).

O uso inadequado do solo vem acarretando diversos problemas ambientais, tais como o comprometimento de fontes e mananciais de água, degradação de habitats naturais, erosão, enchentes e assoreamento do solo (Dupasa et al., 2015; Fia et al., 2015). Segundo Tucci e Clarke (1997), com a retirada da floresta, os fluxos envolvidos no ciclo hidrológico se alteram, ocorrendo o seguinte:

- Aumento do albedo. A floresta absorve maior radiação de onda curta e reflete menos;
- Maiores flutuações da temperatura e déficit de tensão de vapor das superfícies das áreas desmatadas;
- O volume evaporado é menor devido a redução da interceptação vegetal pela retirada da vegetação das árvores;
- Menor variabilidade da umidade das camadas profundas do solo, já que a floresta pode retirar umidade de profundidades superiores a 3,6 m, enquanto a vegetação rasteira como pasto age sobre profundidades de cerca de 20 cm.

Rennó e Soares (2000) citam que na natureza, a manutenção dos recursos hídricos, no que diz respeito ao regime de vazão dos cursos d'água e da qualidade de água, depende de uma relação íntima que existe entre a cobertura vegetal e a água. Moreira et al. (2015)

ênfatisam que o uso e cobertura da terra, que inclui a vegetação e as atividades antropogênicas, afetam a disponibilidade hídrica.

Nesse contexto, a detecção das mudanças de uso e cobertura da terra permite relacionar os impactos ambientais daí decorrentes e obter indicadores chave para análises ambientais a partir da mensuração espaço-temporal dessas alterações (Meyer; Turner, 1996). Com isso a utilização de modelos hidrológicos aparece como uma importante ferramenta de gestão de bacias hidrográficas, devido a sua rapidez de obtenção de resultados, principalmente, quando estes são associados a sistemas de informações geográficas (SIGs), permitindo a simulação para locais remotos (Sousa et al., 2018). Segundo Mengatto Junior, Silva e Oliveira (2017), o mapeamento do uso e ocupação do solo, com a utilização de geotecnologias, como o sensoriamento remoto e o geoprocessamento, representa um importante instrumento para o planejamento do território.

### **2.5. Modelagem ecohidrológica com o *Soil And Water Assessment Tool* (SWAT)**

O modelo SWAT foi desenvolvido em 1996 pelo *United States Department of Agriculture – Agricultural Research Service* (USDA-ARS) e pela *Texas A&M University*. É um modelo matemático de parâmetro distribuído, o qual permite que diferentes processos físicos sejam simulados em bacias hidrográficas com o objetivo de analisar os impactos das alterações no uso e cobertura da terra sobre o escoamento superficial e subterrâneo, produção de sedimentos e qualidade de água em bacias hidrográficas agrícolas (Arnold et al., 2012).

O modelo é baseado fisicamente e de tempo contínuo, para simular diferentes processos físicos em uma bacia hidrográfica em um longo período, não sendo aplicável na simulação detalhada de eventos isolados. O modelo SWAT requer variáveis de entrada sobre o clima, propriedades dos solos, topografia, vegetação e uso e cobertura da terra que são necessárias para modelagem dos processos físicos associados à movimentação hídrica e sedimentar, ao crescimento da colheita e ao ciclo de nutrientes (Neitsch et al., 2011).

Diante das características citadas, o SWAT funciona em três níveis de informações: 1) bacia hidrográfica, onde a representação é realizada por parâmetro com os quais o modelo não distingue variabilidade espacial dentro da bacia; 2) sub-bacia, onde a representação é feita por áreas espaciais hidrologicamente conectadas a bacia maior; 3)

as *Hydrologic Response Units* – HRUs, onde são definidas pelo usuário com base nas características dominantes ou em algum nível de sensibilidade. O nível de sensibilidade diz respeito a combinação das classes de uso e cobertura da terra, tipos de solo e declividade (Silva, 2020).

A modelagem no SWAT é dividida entre a fase terrestre do ciclo hidrológico e a fase de propagação no canal. Na fase de propagação no canal, são modelados o fluxo de massa e as transformações dos elementos químicos no canal e seu leito. No canal principal, o SWAT calcula a propagação considerando a água, os sedimentos, os nutrientes e os compostos orgânicos. A propagação da vazão pode ser calculada por meio do método de Muskingum ou método do coeficiente de armazenamento variável desenvolvido por Williams (1969).

## **2.6. Aplicação do modelo SWAT na avaliação de impactos de cenários de uso e cobertura da terra**

Atualmente, o modelo SWAT tem sido um dos mais utilizados na modelagem hidrológica de bacias hidrográficas, principalmente na simulação de cenários de uso e ocupação dos solos, auxiliando na tomada de decisões de gestores de bacias hidrográficas (Passos, Silva e Silva, 2021).

Beskow et al. (2013) aplicaram a Simulação de Hidrologia de Lavras (modelo LASH) a uma bacia hidrográfica tropical brasileira dominada por Latossolos, para estimar vazões máximas, mínimas e médias para o uso atual da terra (“cenário 1”) e outros cenários de tendência regional de uso da terra (“cenário 2” — pastagem em eucalipto; e “cenário 3” — eucalipto em pastagem).

Viola et al. (2014) simularam, usando o modelo LASH, os impactos no regime hidrológico na UGRB com cinco tendências de uso da terra: S-1 e S-2 - reflorestamento com eucalipto cobrindo 20% e 50%, respectivamente, da área atual de pastagem; S-3 - reflorestamento com eucalipto cobrindo 100% da área atual de pastagem apenas nas sub-bacias onde essa tendência é predominante; S-4 e S-5 desmatamento de 30% e 70% dos remanescentes florestais na região da Serra da Mantiqueira para o cultivo de pastagens, respectivamente.

Wagner et al. (2015) objetivaram integrar dinamicamente as projeções do modelo de uso da terra com um modelo hidrológico para analisar potenciais impactos futuros da mudança no uso da terra sobre os recursos hídricos de uma bacia hidrográfica em rápido

desenvolvimento a montante de Pune, na Índia. Nas condições climáticas de base, estas mudanças no uso da terra induzem mudanças sazonais nas componentes do balanço hídrico. A produção de água aumenta particularmente no início das monções devido ao aumento da área impermeável, enquanto a evapotranspiração diminui na estação seca como resultado da perda de área agrícola irrigada. Dado que as projeções são feitas para o futuro próximo (2009–2028), os impactos das alterações no uso e cobertura da terra são semelhantes nas condições climáticas A1B do IPCC.

Serpa et al. (2015) analisaram os impactos das mudanças climáticas e de uso da terra no fluxo de água e na exportação de sedimentos para uma bacia hidrográfica úmida (São Lourenço) e seca (Guadalupe) do Mediterrâneo, utilizando o modelo SWAT. As projeções de mudanças climáticas mostraram uma diminuição na vazão para ambas as bacias hidrográficas, enquanto a produção de sedimentos diminuiu apenas para a bacia hidrográfica de São Lourenço. As mudanças no uso da terra resultaram num aumento no fluxo de água, mas a resposta erosiva diferiu entre as bacias hidrográficas. A combinação de cenários de mudanças climáticas e de uso da terra levou a uma redução no fluxo de água para ambas as bacias hidrográficas.

Lin et al. (2015) realizaram uma investigação abrangente das respostas do escoamento na escala diária, bem como nas escalas de tempo anuais e mensais usando o SWAT, em uma bacia hidrográfica do sudeste da China. O escoamento superficial foi então simulado e comparado usando os mesmos dados meteorológicos, mas dois cenários diferentes de uso da terra (1985 e 2006, com redução de floresta e aumento de terras agrícolas e áreas urbanizadas). Os resultados mostraram mudanças variáveis no escoamento entre três escalas de tempo. O escoamento anual teve o menor aumento entre dois cenários, os escoamentos mensais tiveram taxas médias (aumentando em todos os meses, exceto outubro-novembro) e o escoamento diário teve as maiores taxas com o aumento nos picos de inundação, mas diminuição nos fluxos de seca, devido à influência variável na perda de interceptação/evapotranspiração, percolação e armazenamento antecedente de água no solo. Indicadores de diferentes escalas de tempo (escoamento anual, escoamento mensal, escoamento máximo de inundação de 1 dia e 5 dias, escoamento mínimo de 1 dia e 7 dias) provaram ser apropriados para analisar os impactos da mudança no uso e cobertura da terra.

Andrade et al. (2017) avaliaram os processos hidrológicos sob diferentes condições de cobertura vegetal na Bacia Hidrográfica do Rio Mundaú (BHRM), Nordeste do Brasil, utilizando o modelo SWAT. Perceberam que a mudança de uso e cobertura da

terra exerce influência no regime hidrológico da Bacia do Rio Mundaú. A implantação de vegetação Caatinga em áreas agrícolas proporcionou redução no escoamento superficial. Por outro lado, processos como evapotranspiração, percolação para o aquífero raso e recarga para o aquífero profundo aumentaram.

Teixeira (2017) utilizou o modelo hidrológico *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT) para determinar a vazão em uma bacia hidrográfica localizada no estado do Espírito Santo – Brasil e, posteriormente, simular cenários alternativos de uso e ocupação do solo na bacia. Após a calibração, aplicou-se três cenários distintos de composição total para a sub-bacia calibrada: mata nativa, eucalipto e pastagem. a mata nativa demonstrou maiores valores de vazão em épocas de seca, em virtude do maior fluxo de base, enquanto o cenário de pastagem retornou um escoamento superficial superior às outras situações.

Oliveira et al. (2018) tiveram objetivo de investigar os potenciais impactos das mudanças no uso da terra no comportamento hidrológico da Bacia do Alto Rio Grande, sul de Minas Gerais, Brasil, com base em diferentes cenários de uso da terra usando o modelo SWAT. Foram desenvolvidos quatro cenários de uso da terra a partir de relatórios oficiais de planejamento ambiental: C1 e C2 – conversão de floresta em pastagens de 20 e 50%, respectivamente; C3 e C4 – conversão de pastagem em floresta de 20 e 50%, respectivamente. Os resultados mostraram que, em geral, os cenários de desmatamento (C1 e C2) apresentaram aumento no escoamento total e vazão de pico e diminuição no fluxo de base e evapotranspiração, enquanto os cenários de reflorestamento (C3 e C4) mostraram o oposto. Os resultados mostraram que as mudanças no uso da terra podem gerar impactos positivos, como redução do escoamento superficial e aumento do fluxo de base, bem como negativos, como aumento da erosão do solo e riscos de inundação.

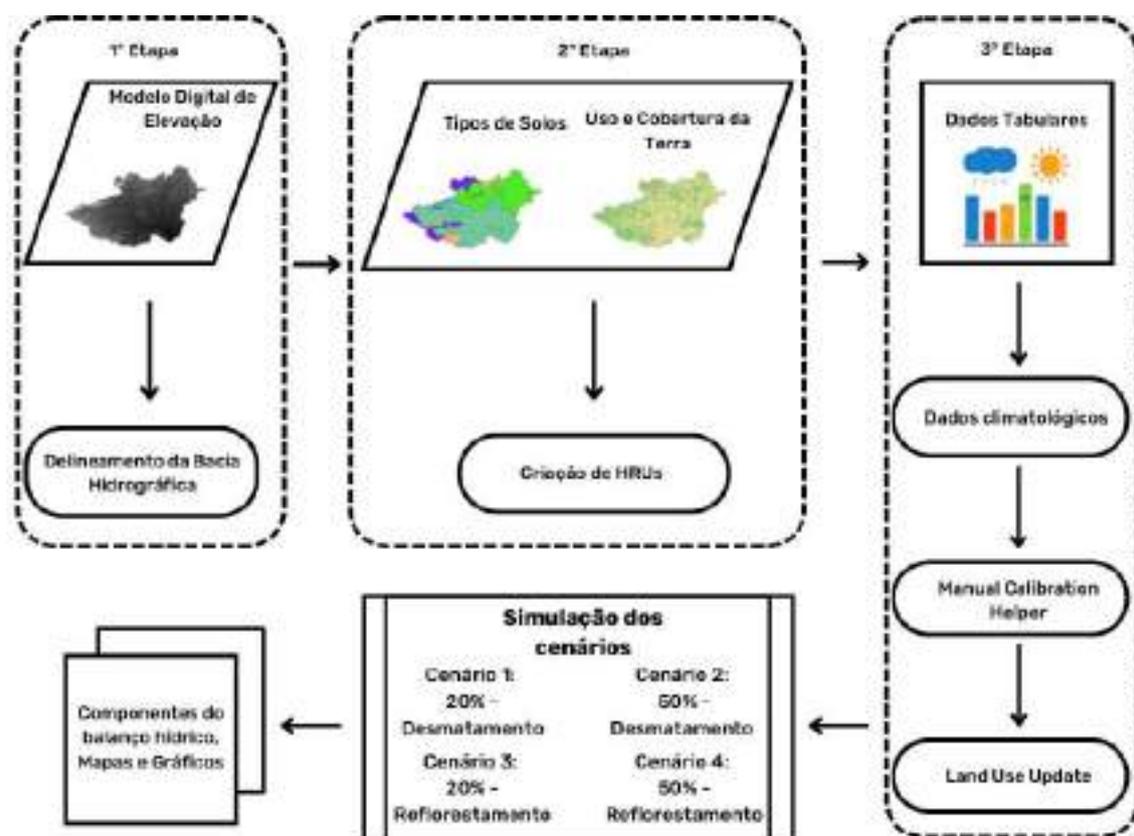
Passos, Silva e Silva (2021) realizaram uma análise do impacto nas vazões de uma bacia hidrográfica de pequena escala (Ribeirão José Pereira) devido a mudanças no uso e ocupação do solo, utilizando o modelo distribuído *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT). Foram gerados cinco cenários de uso e ocupação do solo, que foram idealizados a partir de características observadas na bacia ou de tendências futuras de ocupação, a saber, o cenário do estado atual, de manejo do solo, de recuperação das áreas de preservação permanente (APPs) de margens de rios, de substituição total por floresta e de crescimento urbano. Os resultados indicam que o modelo SWAT pode ser utilizado na simulação das componentes hidrológicas de bacias hidrográficas de pequeno porte, e ainda que o manejo agrícola e o reflorestamento da bacia são mais eficientes na

diminuição do escoamento superficial do que a recuperação das APPs, chegando a um a diminuição de aproximadamente 40% nas vazões máximas simuladas.

### 3. METODOLOGIA

A abordagem metodológica adotada para este estudo baseou-se na aplicação do modelo SWAT, visando alcançar os objetivos propostos. Contudo, a utilização efetiva do SWAT demanda a obtenção de uma ampla gama de dados específicos da área em análise, como dados de precipitação, tipos de solo, declividade e uso e cobertura da terra, entre outros. Esses dados são integrados ao modelo por meio de um Sistema de Informação Geográfica (SIG). Assim, esta seção discorrerá sobre as características do modelo SWAT, além de abordar a natureza dos dados empregados na modelagem e como estes foram organizados para alimentar o modelo. Para facilitar a visualização do processo metodológico, um fluxograma com as etapas de execução do processo de modelagem da bacia do Rio Taperoá é apresentado na Figura 3.

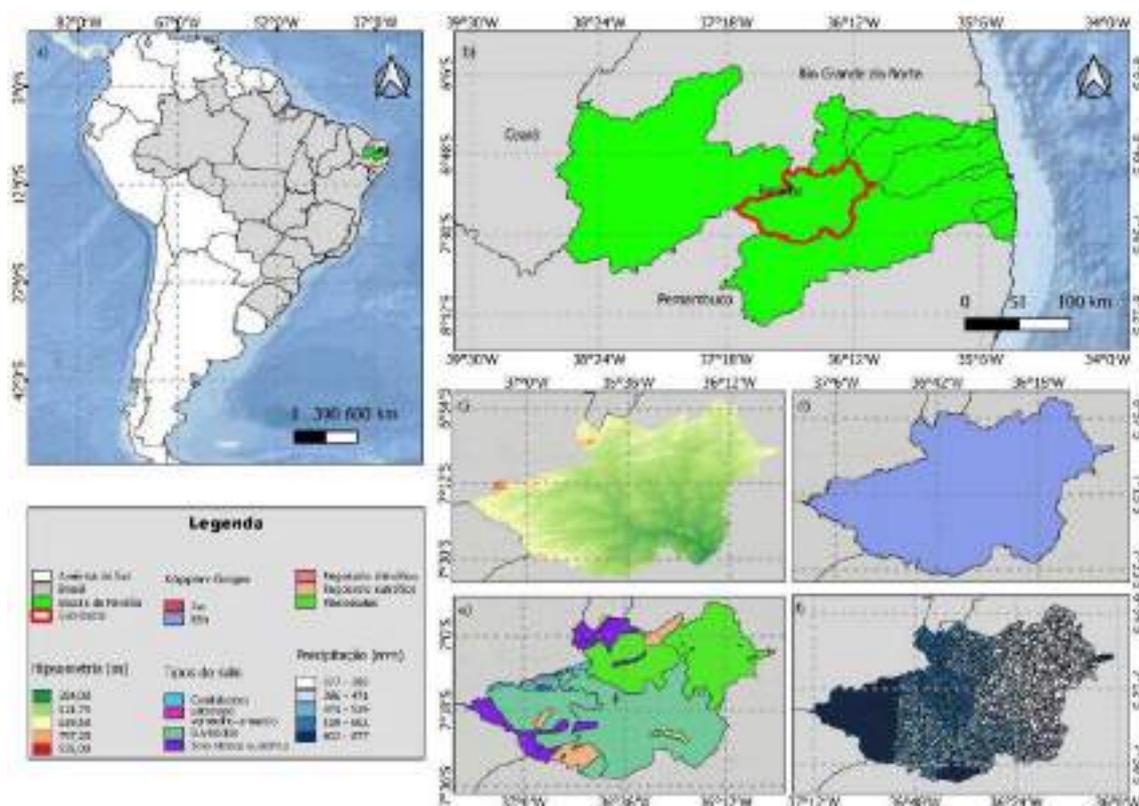
Figura 3 – Representação esquemática das etapas de modelagem com SWAT



### 3.1. Área de estudo

O estudo foi desenvolvido na bacia hidrográfica do Rio Taperoá, localizada na porção central do estado da Paraíba, entre as latitudes  $6^{\circ}51'31''$  e  $7^{\circ}34'21''$  Sul e entre as longitudes  $36^{\circ}0'55''$  e  $37^{\circ}13'9''$  a Oeste de Greenwich (AESAs, 2023) (Figura 4). O Rio Taperoá possui uma extensão de 152 km e possui 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, (Barreto et al., 2010; Dantas et al., 2015).

Figura 4 – Localização geográfica, hipsometria, tipos de solo, precipitação e rede drenagem da bacia hidrográfica do Rio Taperoá – PB



A bacia do Rio Taperoá é formada 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) (Lima et al., 2017; IBGE, 2023). Nessa bacia, a pecuária é a principal atividade econômica, e sua expansão ao longo dos últimos anos vem contribuindo para a progressiva redução e transformação da cobertura vegetal de Caatinga, potencializando processos que ao longo do tempo

poderão reduzir a capacidade do Açude Presidente Epitácio Pessoa, resultando em sérios problemas econômicos e ambientais (Seabra et al., 2014).

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 elevada (AESAs, 2004). A precipitação média anual varia de 350 a 600 mm, com estação seca de 8 a 10 meses (AESAs, 2004). A maior concentração da precipitação total ocorre entre dois e quatro meses (fevereiro, março, abril e maio), com médias anuais que oscilam de 250 a 900 mm (Nascimento, Lima, Lima, 2014). A temperatura máxima varia entre 28° e 31°C nos meses de novembro e dezembro, enquanto a evaporação varia entre 2.500 a 3.000 mm (AESAs, 2004). 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 (AESAs, 2004).

A vegetação natural predominante na região é de Caatinga hiperxerófila, (Francisco et al., 2013). As áreas desmatadas e utilizadas para a agricultura são em geral ocupadas pelas culturas de palma forrageira, agave, algodão, milho e feijão (AESAs, 2004). Em relação aos tipos de solo, a bacia apresenta Luvisolos de pouca espessura, que cobre todo cristalino existente na área da bacia, além de Neossolos Litólicos, Planossolos, Neossolos Regolíticos e Cambissolos (Dornellas et al., 2019; AESAs, 2004). A bacia apresenta relevos ondulado, forte ondulado e montanhoso. As variações hipsométricas da topografia apresentam altitudes consideradas relevantes, onde os pontos mais altos atingem a cota de 600 m nas escarpas orientais do Planalto da Borborema (AESAs, 2004).

### **3.2. BREVE DESCRIÇÃO DO MODELO SWAT**

O SWAT é um modelo hidrossedimentológico que foi desenvolvido pelo Dr. Jeff Arnold e sua equipe no Serviço de Pesquisa Agrícola do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (ARS – USDA), para analisar os impactos das mudanças no uso e cobertura da terra no escoamento de água, produção de sedimentos e qualidade da água em grandes bacias hidrográficas (Arnold et al., 1998). A classificação do SWAT é 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),

umidade do solo, crescimento de plantas, nutrientes, pesticidas, bactérias e patógenos e manejo do solo (Arnold et al., 2012).

### 3.3. CÁLCULO DO BALANÇO HÍDRICO

O modelo SWAT simula uma diversidade de processos hidrológicos que incluem a interceptação e armazenamento nas copas das árvores, escoamento superficial, infiltração, evapotranspiração, fluxo lateral, drenagem subsuperficial, redistribuição de água no perfil do solo, uso de água através de bombeamento, fluxo de retorno e recarga por infiltração de águas superficiais, lagoas, canais e tributários (Ferrigo, 2014).

O cálculo do balanço hídrico no SWAT é realizado a partir das Unidades de Resposta Hidrológica (HRUs), que agregam relevo, uso e cobertura da terra 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 da água (Eq. (1)) (Arnold et al., 1998):

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

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).

Para obter mais detalhes sobre as equações e processos do modelo SWAT apresentados neste trabalho, eles podem ser encontrados na documentação teórica do SWAT em Neitsch et al. (2011).

### 3.4. CONSTRUÇÃO DO BANCO DE DADOS UTILIZADO NA MODELAGEM

Para o desenvolvimento da pesquisa foram utilizados diversos dados e informações que permitiram a obtenção dos resultados propostos. 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 Modelo Digital de Elevação (MDE); o segundo dado é o mapa de uso e cobertura da terra 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) (variável que mais influencia a modelagem com o SWAT), temperaturas máximas e mínimas do ar (°C), umidade relativa do ar (%), velocidade do vento ( $\text{m s}^{-1}$ ) e radiação solar ( $\text{MJ m}^{-2}$ ).

Os dados exigidos pelo SWAT para a realização das simulações foram fornecidos ao modelo por meio do *software* QSWAT, que foi desenvolvido para ser integrado ao SIG QGIS, pertencente ao *Environmental Systems Research Institute* – ESRI. A interface do QSWAT tem o intuito de facilitar a organização dos dados que serão utilizados na aplicação do SWAT, pois sem o auxílio de um *software* com interface gráfica acoplada a um SIG se torna bastante complexa a organização destes dados para serem fornecidos ao modelo (Dantas et al., 2015).

Para que o SWAT possa simular os processos físicos na bacia hidrográfica, é essencial a construção de um banco de dados de entrada. Este modelo segue uma série de etapas na elaboração desse banco de dados, as quais incluem: a) inserção do MDE e discretização da bacia hidrográfica; b) inserção dos mapas de uso e cobertura da terra, tipos de solo e declividade para a criação das unidades de resposta hidrológica; e c) fornecimento dos dados climáticos para o início da modelagem.

O período de dados simulados pelo modelo se deu entre 1994 e 2018, onde 3 anos foram utilizados para o aquecimento do modelo. Os dados de saída ocorreram em passo de tempo mensal. Assim, os dados climáticos, hidrológicos, de uso e cobertura da terra e tipos de solo foram obtidos ao longo dessa série temporal. A seguir, serão detalhados o processo de construção do banco de dados do SWAT e os dados empregados na modelagem. Na Tabela 1, apresenta, em resumo, as fontes dos dados e detalhes da obtenção deles.

Tabela 1 – Dados de entrada usados no modelo SWAT da bacia do Rio Taperoá

<b>Dado</b>	<b>Resolução</b>	<b>Período</b>	<b>Descrição</b>	<b>Fonte</b>
Modelo Digital de Elevação (MDE)	90 m	-	Elevação do terreno	EMBRAPA
Mapa de Uso e Cobertura da Terra	30 m	2020	Classificação dos usos da terra	MapBiomass
Mapa de solo Meteorológico	1:5.000.000	1979	Tipos dos solos	EMBRAPA
	Diário	1994-2018	Tmax, Tmin, Umd.relativa, Rad. solar, Precip, Veloc. do vento	INMET

Precipitação	Diária	1994-2018	Precipitação	INMET e ANA
Vazão	Mensal	1994-2018	Vazão (m <sup>3</sup> /s)	Hidroweb ANA
Reservatórios	-	-	Capacidade máxima (m <sup>3</sup> )	AESA

### 3.4.1. Discretização da bacia hidrográfica

Como primeira etapa, o modelo SWAT necessita que se insira o MDE para a discretização da bacia hidrográfica. Nessa primeira parte o modelo irá, nessa ordem: identificar o direcionamento e acumulação do fluxo de escoamento superficial no terreno; gerar a rede hidrográfica do MDE (a área mínima de acumulação de fluxo pelos canais foi de 599 ha, gerando 51 sub-bacias); gerar as sub-bacias e o exutório de cada uma delas; delimitar a bacia hidrográfica com base na definição de seu exutório; e calcular os parâmetros relacionados à topografia em cada sub-bacia. Também é possível indicar a existência de reservatórios de acumulação (açudes). No presente estudo, as informações dos 12 reservatórios existentes na bacia foram disponibilizadas pela Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESAs), (Tabela 2).

Tabela 2 – Informações dos reservatórios utilizados neste estudo

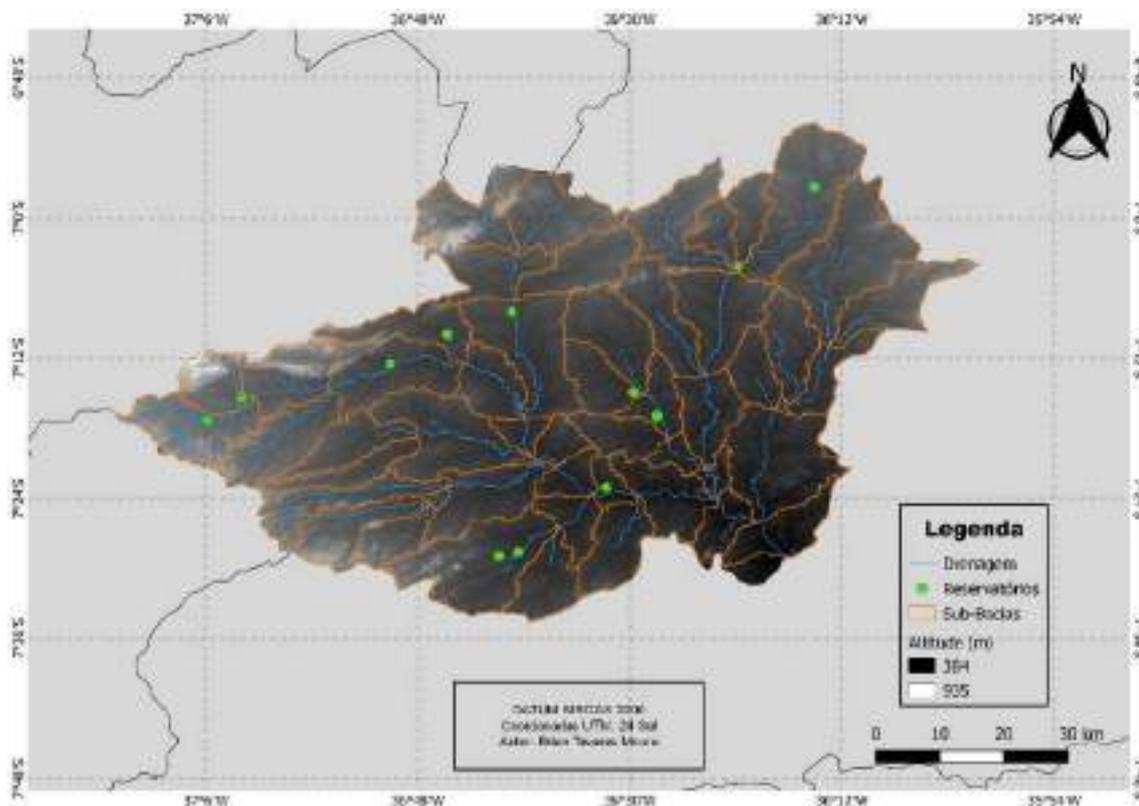
Nome do Posto	Capacidade Máxima (m <sup>3</sup> )	Latitude (°)	Longitude (°)
Coronel Jueca	6.126.875	-7.2565	-37.0494
Gurjão	3.789.215	-7.2487	-36.4956
Jeremias	4.658.430	-7.2886	-37.0978
Lagoa do meio	6.647.875	-7.1660	-36.7589
Livramento	2.432.420	-7.2819	36.4615
Mucutu	25.373.341	-7.1334	-36.6666
Namorado	2.118.980	-7.3841	-36.5339
Olivedos	5.875.124	-6.9555	36.2395
Serra Branca I	2.117.062	-7.4768	-36.6578
Serra Branca II	14.042.568	-7.4825	-36.6853
Soledade	27.058.000	-7.0689	-36.3468
Taperoa II	14.797.430	-7.2079	-36.8391

Fonte: AESA (2023)

O Modelo Digital de Elevação (MDE) foi obtido por meio da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) (<https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/relevobr/>), que disponibiliza imagens da missão *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) para

todo o território brasileiro com resolução espacial de 90 m, em escala 1:250.000. Neste estudo foram utilizadas duas cartas para recobrimento de toda a área da bacia, as quais foram: SB-24-Z-B e SB-24-Z-D. Para usar o MDE no modelo SWAT foi necessário projetar os dados para em coordenadas planas e sistema de projeção UTM, e Datum Sirgas 2000, zona 24S (Figura 5).

Figura 5 – Discretização da bacia do Rio Taperoá em sub-bacias e geração da rede



Durante a primeira etapa da modelagem hidrológica com o SWAT, é realizada a delimitação da bacia estudada e são definidas a rede drenagem e as sub-bacias, a partir de um valor mínimo de área de drenagem, que no presente estudo foi de 599 ha (10% da área total). Este valor define a área de drenagem mínima para a formação da rede de drenagem, influenciando, portanto, no detalhamento das características citadas (a própria rede de drenagem e a quantidade de sub-bacias). O manual do SWAT recomendada a adoção de uma área de drenagem mínima de 2% da área total em estudo (Winchell et al., 2013).

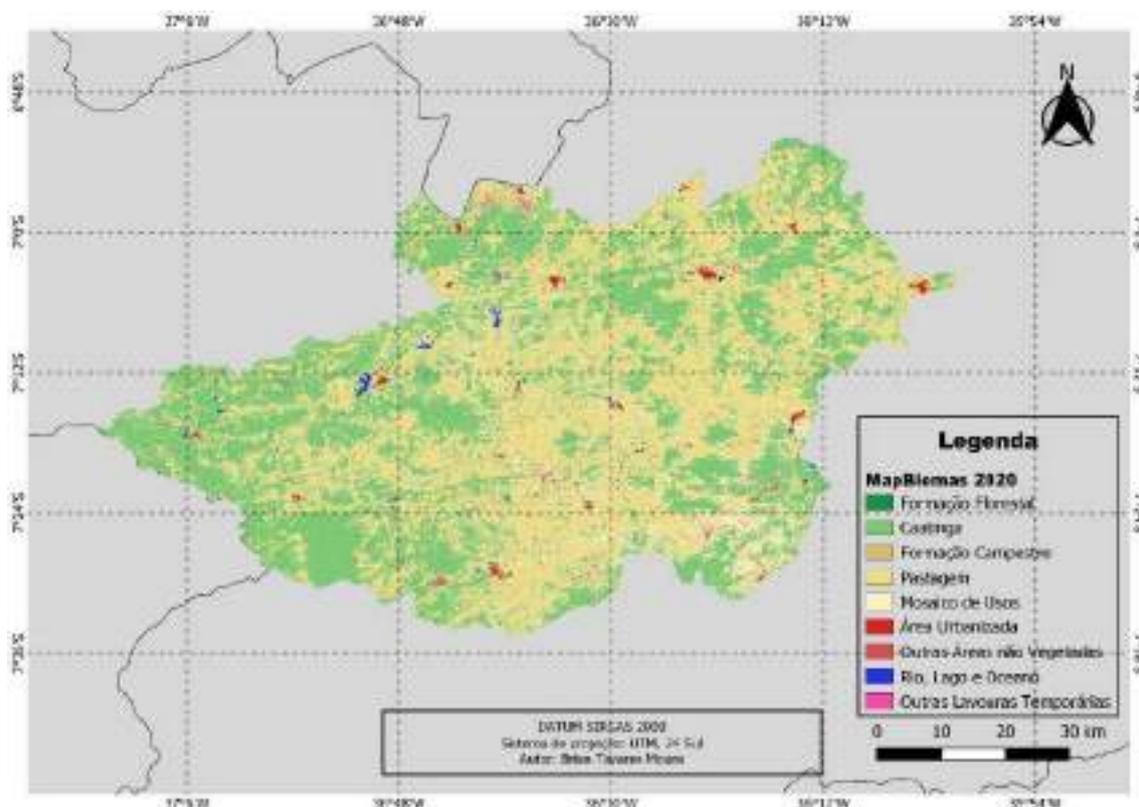
### 3.4.2. Geração das unidades de resposta hidrológica

Após a discretização da bacia parte-se para a criação das Unidades de Resposta Hidrológica, do inglês *Hydrologic Response Units* – HRU. As HRUs, as quais representam combinações únicas de uso e cobertura da terra, tipo de solo e relevo, são criadas individualmente em cada sub-bacia. O SWAT fornece duas opções de distribuição de HRUs para cada sub-bacia: uma HRU única, com tipo de solo e cobertura predominantes, ou HRUs múltiplas, caso em que cada uma corresponde a uma combinação de solo, cobertura e declividade (Frade et al., 2019). Isso é feito adotando-se um nível de sensibilidade que elimina as classes de uso, tipo do solo e declividade com área menor do que o valor arbitrado (Lelis, 2011). Nesse trabalho, foi utilizado HRU múltiplas: que pode ser formada por mais de uma HRU por sub-bacia. Nesta opção, é definido um percentual mínimo de 10% da ocupação de cada característica na área da sub-bacia, para então formar uma HRU. Sendo assim, foram geradas 501 HRUs.

#### 3.4.3. Uso e cobertura da terra

A caracterização do uso e cobertura da terra é fundamental para analisar os processos hidrossedimentológicos de uma região, pois reflete a cobertura superficial à qual o terreno está sujeito, exercendo influência direta na dinâmica do escoamento superficial e na erosão. Para este estudo, o mapa de uso e cobertura da terra foi coletado por meio da plataforma do Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil, o MapBiomas (Coleção 8), disponível em <https://brasil.mapbiomas.org>, considerando o ano de 2020 (Figura 6).

Figura 6 – Uso e cobertura da terra da bacia hidrográfica do Rio Taperoá – PB



Foram encontradas oito classes que compõem a bacia hidrográfica do Rio Taperoá. A associação destas classes de uso e cobertura da terra com as classes existentes no banco de dados do modelo SWAT, com as respectivas áreas, é apresentada na Tabela 3. Em relação as classes de uso 'FCAA' e 'CARL', presente na Tabela 3, foi desenvolvido por Fernandes et al. (2019).

Tabela 3 – Classes de uso e cobertura da terra identificadas na bacia e a associação com as classes de uso e cobertura da terra do banco de dados do SWAT

<b>Classe de uso e cobertura da terra na bacia</b>	<b>Classe de uso e cobertura da terra no SWAT</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Área (%)</b>
Formação Florestal	FCAA	2606,34	0,47
Formação Savânica (Caatinga)	CARL	212125,12	38,43
Formação campestre	RNGE	1133,07	0,21
Pastagem	PAST	139183,96	25,22
Mosaico de usos	AGRL	188287,95	34,11
Área urbanizada	URBN	3645,07	0,66
Outras áreas não vegetadas	BARR	2794,20	0,51
Rio, lago e oceano	WATR	2155,57	0,39

### 3.4.4. Tipos de solos

Conforme mencionado pela AESA (2004), a bacia hidrográfica do Rio Taperoá apresenta tipos distintos de solos em sua extensão (conhecidos como unidades de solos), conforme detalhado na Tabela 4. Os parâmetros relativos aos diferentes tipos de solos na bacia foram adquiridos por meio do Sistema de Informação de Solos Brasileiros (EMBRAPA, 1979) e do Levantamento exploratório – reconhecimento de solos no Estado da Paraíba, criado em 1972. Este banco de dados abarca uma variedade de informações relevantes sobre os solos, essenciais para a geração dos resultados pelo modelo. Os valores dos parâmetros de solo usados na modelagem podem ser vistos no Tabela 5. Já a Figura 7 oferece uma representação geoespacial detalhada da distribuição dos sete tipos de solos ao longo da bacia hidrográfica do Rio Taperoá.

Tabela 4 – Distribuição das classes de solos da bacia hidrográfica do Rio Taperoá

<b>Tipo de solo</b>	<b>Classe de tipo de solo no SWAT</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Área (%)</b>
Luvisolo	NC	284038,77	51,46
Latosolo vermelho-amarelo	Lve	172,67	0,03
Solo litólico eutrófico	Re	52572,74	9,53
Regosolo eutrófico	Ree	29167,07	5,28
Regosolo distrófico	Red	295,90	0,05
Planassolo	SS	174481,05	31,61
Cambissolo	Ce	11203,08	2,03

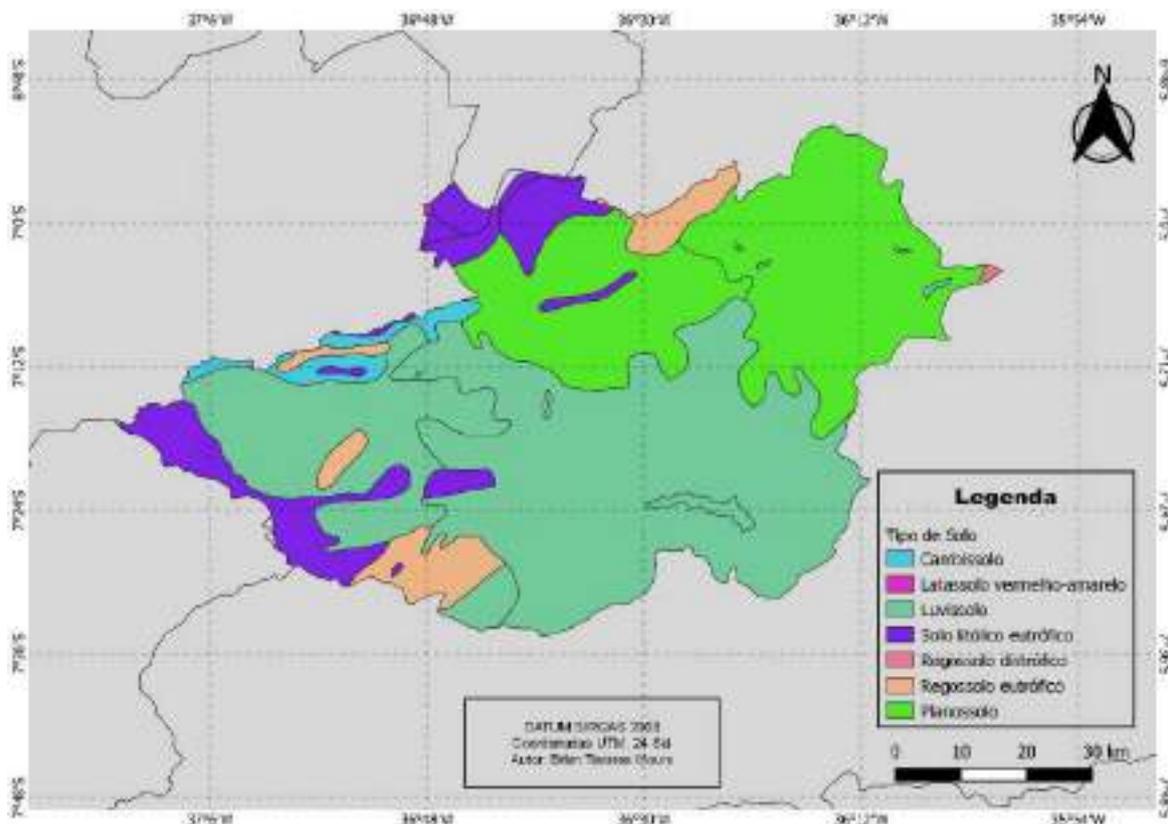
Tabela 5 – Propriedades físico-hídricas dos solos da bacia hidrográfica do Rio Taperoá – PB

<b>Número</b>	<b>Solo</b>	<b>Propriedades físico-hídricas</b>							
		<b>Z (mm)</b>	<b>D<sub>s</sub> (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>CAD (mm/mm)</b>	<b>K<sub>sat</sub> (mm/hr)</b>	<b>Textura (%)</b>			<b>C.O (%)</b>
						<b>Argila</b>	<b>Silte</b>	<b>Areia</b>	
1	NC	140	2,18	0,15	6,27	33	26	41	0,23
		220	1,42	0,12	1,73	52	14	34	0,14
		460	1,40	0,13	1,86	54	16	30	0,10
		700	1,50	0,14	3,72	40	25	35	0,05
		850	1,65	0,11	29,28	17	23	60	0,05
2	Lve	200	1,62	0,04	103,40	14	5	80	0,11
		400	1,64	0,03	88,33	17	5	78	0,05
		750	1,65	0,04	54,41	22	6	75	0,05
		1200	1,65	0,05	51,93	22	6	72	0,05
		1650	1,64	0,07	19,82	30	8	62	0,05

3	Re	110	1,80	0,10	78,45	9	18	73	0,05
		280	1,71	0,11	44,55	15	19	66	0,05
4	Ree	80	1,56	0,04	158,65	2	13	85	0,09
		850	1,57	0,03	165,10	2	12	86	0,05
		1500	1,57	0,03	165,17	2	12	86	0,05
5	Red	270	1,54	0,02	217,26	1	8	91	0,05
		650	1,55	0,02	204,75	1	9	90	0,05
		1600	1,55	0,02	231,23	1	7	92	0,05
		2000	1,58	0,03	192,53	1	10	89	0,05
6	SS	170	1,64	0,17	31,31	10	37	53	0,08
		350	1,65	0,08	34,45	20	15	65	0,05
		850	1,63	0,09	27,89	22	15	63	0,05
7	Ce	150	1,64	0,10	41,76	16	18	66	0,07
		420	1,64	0,11	38,06	16	20	64	0,05
		1000	1,64	0,10	39,83	16	19	65	0,05
		1450	1,64	0,11	36,18	16	21	63	0,05
		1550	1,64	0,13	40,62	12	27	67	0,05

NC – Luvissole, Lve – Latosolo Vermelho-Amarelo, Re – Solo Litólico Eutrófico, Ree – Regosolo Eutrófico, Red – Regosolo Distrófico, SS – Planossolo, Ce – Cambissolo, Z – profundidade do perfil (mm), Ds – densidade do solo (g/cm<sup>3</sup>), CAD – capacidade de água disponível (mm/mm), Ksat – condutividade hidráulica saturada (mm/hr), C.O – carbono orgânico (%).

Figura 7 – Tipos de solos da bacia hidrográfica do Rio Taperoá – PB



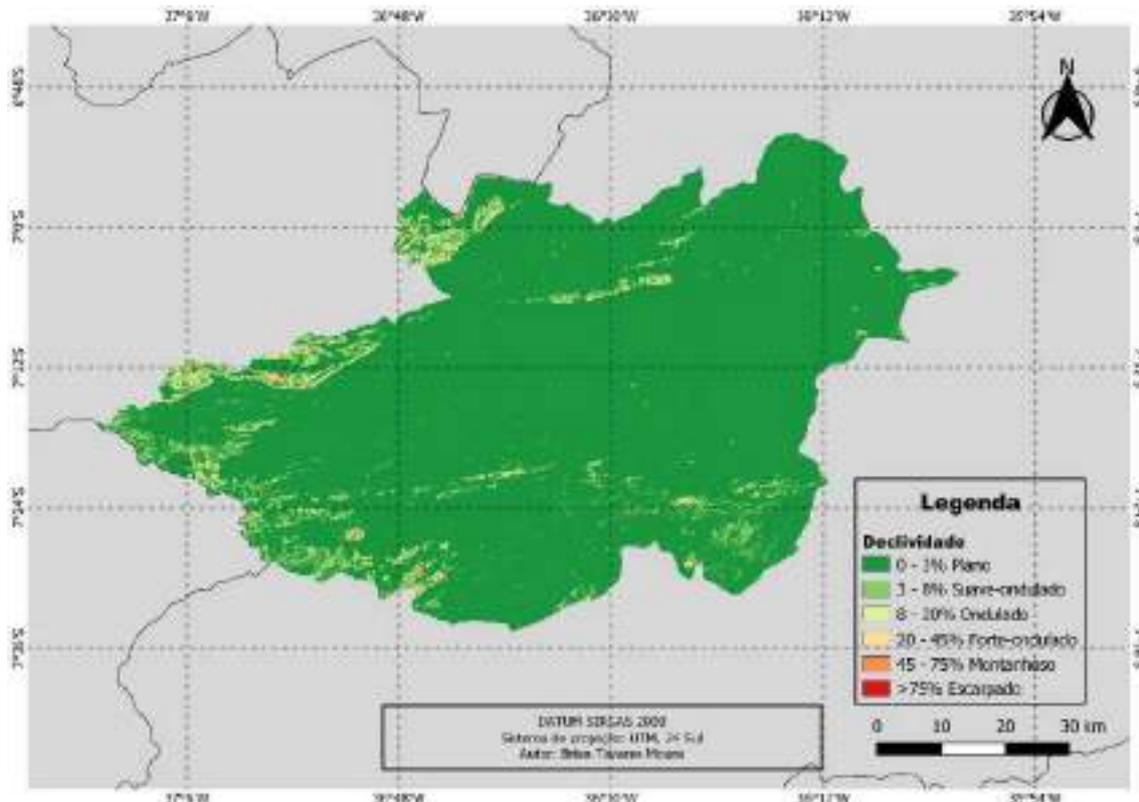
### 3.4.5. Declividade

Os dados finais necessários para a elaboração das Unidades Hidrológicas de Resposta (HRU) são as categorias de declividade encontradas na bacia hidrográfica. Assim, para a bacia hidrográfica do Rio Taperoá, foi empregue a classificação de declividade do terreno proposta pela EMBRAPA (1979), onde as classes de declividade foram divididas em seis intervalos distintos, apresentadas na Tabela 6 e a Figura 8 mostra a espacialização da declividade da bacia do Rio Taperoá calculadas com base na classificação proposta.

Tabela 6 – Distribuição das classes de declividade da bacia hidrográfica do Rio Taperoá – PB

<b>Declividade (%)</b>	<b>Classificação</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Área (%)</b>
0 – 3	Relevo plano	194983,92	36,06
3 – 8	Relevo suavemente ondulado	295979,69	56,15
8 – 20	Relevo ondulado	50932,13	6,90
20 – 45	Relevo fortemente ondulado	9637,60	0,89
45 – 75	Relevo montanhoso	380,93	0,00
> 75	Relevo fortemente montanhoso	17,00	0,00

Figura 8 – Mapa de declividade da bacia hidrográfica do Rio Taperoá – PB



### 3.4.6. Inserção dos dados climáticos

Como último dado de entrada para o início da modelagem, o SWAT necessita de dados relacionados às condições climáticas da bacia, a respeito da chuva, temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar. As informações climáticas foram obtidas, considerando o período de 1994 a 2018, 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 (Tabela 7).

Tabela 7 – Informações da estação climatológica utilizado neste estudo

Nome do Posto	Código	Latitude (°)	Longitude (°)	Altitude (m)
Campina Grande	82795	-7,2255	-35,9047	546

Fonte: ANA (2024)

Os dados de precipitação foram obtidos a partir de 17 pluviômetros, o de Campina Grande – PB obtido pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e o restante, todos disponibilizados pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), que compreendem dados diários para o período de 1994 e 2018 (Tabela 8). Cabe ressaltar que os postos pluviométricos utilizados no estudo apresentaram falhas no monitoramento. Dessa forma, para o preenchimento das falhas existentes, utilizou-se o gerador climático *Weather Generator* (WGEN) do modelo SWAT, o qual contém os dados estatísticos necessários para gerar dados climáticos diários representativos para as sub-bacias, a partir dos dados climáticos observados.

Tabela 8 – Informações dos postos pluviométricos utilizados neste estudo

<b>Nome do Posto</b>	<b>Código</b>	<b>Latitude (°)</b>	<b>Longitude (°)</b>	<b>Altitude (m)</b>
Coxixola	736017	-7,6286	-36,5556	465
Sumé	736003	-7,6736	-36,8964	533
Desterro	737018	-7,2903	-37,0881	591
São Vicente do Seridó	636074	-6,8553	-36,4106	631
Cabaceiras	736022	-7,4922	-36,2869	390
Boa Vista	736066	-7,2575	-36,2375	493
Juazeirinho	736015	-7,0683	-36,58	558
Livramento	736043	-7,3761	-36,9492	550
Campina Grande	735021	-7,2255	-35,9047	546
Gurjão	736016	-7,2478	-36,4892	480
Santo André	736005	-7,2214	-36,6311	470
São José dos Cordeiros	736011	-7,3908	-36,8058	610
Taperoá II	736000	-7,2175	36,8289	500
Junco do Seridó	636046	-6,995	-36,7131	590
São João do Cariri	736012	-7,4167	-36,5	458
Soledade	736008	-7,0608	-36,3619	521
Tenório	636070	-6,9408	-36,6294	610

Fonte: ANA (2024).

Os dados observados de vazão foram obtidos a partir de uma seção fluviométrica localizada no município de Poços de Pedra – PB, disponibilizados pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), também para o período de 1994 e 2018 (Tabela 9).

Tabela 9 – Informações do posto fluviométrico utilizado neste estudo

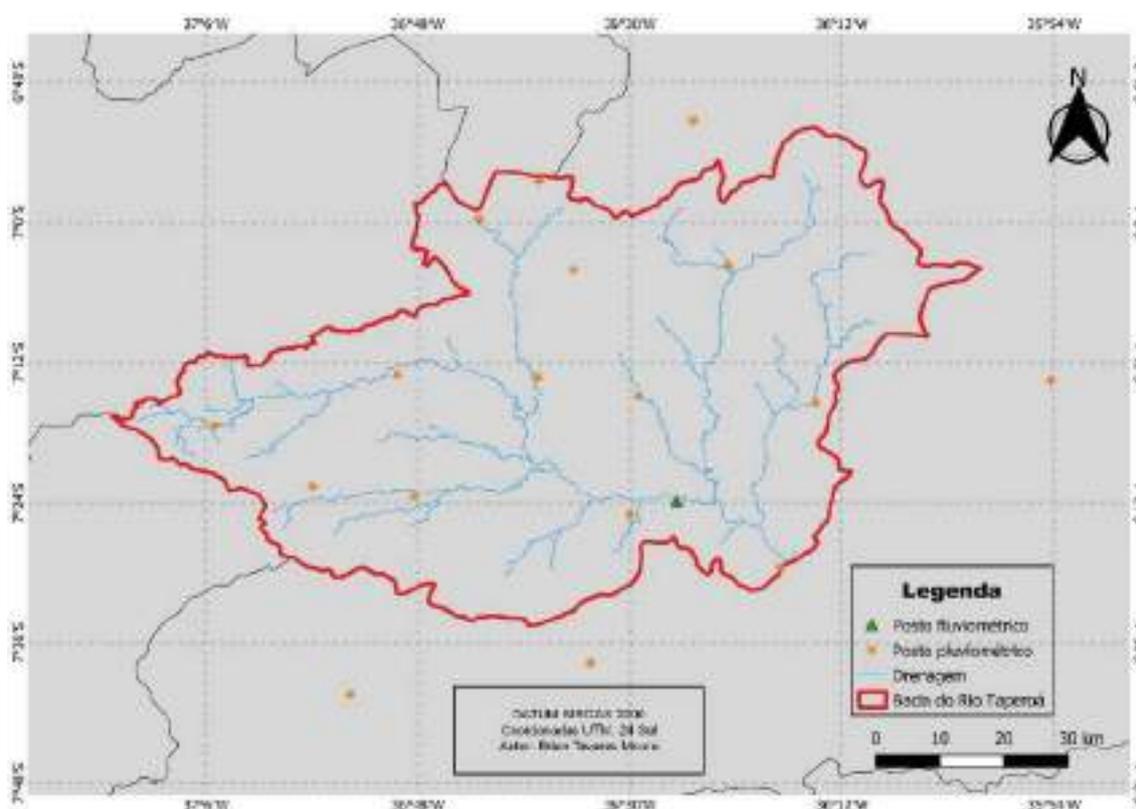
<b>Nome do Posto</b>	<b>Código</b>	<b>Latitude (°)</b>	<b>Longitude (°)</b>	<b>Altitude (m)</b>
----------------------	---------------	---------------------	----------------------	---------------------

Poço de Pedras	38850000	-7,3981	-36,4335	430
----------------	----------	---------	----------	-----

Fonte: ANA (2024).

As estações pluviométricas inseridas na região da BHRT compreendem 17 postos, distribuídos ao longo do território de 17 municípios do estado da Paraíba. Já a estação fluviométrica está localizada no município São João do Cariri. As estações, bem como suas localizações na bacia hidrográfica do Rio Taperoá – PB são apresentadas na Figura 9.

Figura 9 – Mapa de localização dos postos fluviométrico e pluviométricos da bacia hidrográfica do Rio Taperoá – PB



### 3.4.7. Calibração e validação do modelo SWAT

A calibração do modelo foi realizada manualmente pelo QSWAT, utilizando a função Manual Calibration Helper, o modelo SWAT foi calibrado para representar com precisão os processos hidrológicos da bacia do Rio Taperoá. Foram utilizados um total de 12 parâmetros para garantir uma simulação precisa e confiável. 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. Os parâmetros, suas descrições, bem como os valores ajustados são apresentados na Tabela 10.

Os procedimentos de calibração e validação para modelagem da bacia do Rio Taperoá, realizada pela equipe LEGAT, foram utilizando o SWAT Calibration and Uncertainty Programs (SWAT-CUP). O algoritmo Sequential Uncertainty Fitting (SUFI-2) foi utilizado considerando dados observados de vazão (1997-2018). O modelo foi calibrado e validado utilizando a técnica split-sample (Klemes, 1986), aplicando os parâmetros de entrada previamente calibrados para um determinado período (período de calibração: 2006-2018) para outro período (período de validação: 1997-2005). Na calibração e validação, foi considerada 1 iteração, com 500 simulações.

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).

Tabela 10 – Parâmetros e valores ajustados utilizados para a calibração do modelo SWAT

<b>Parâmetro</b>	<b>Descrição</b>	<b>Valor ajustado</b>
r_CN2, mgt	Parâmetro Curva-Número, condição de umidade antecedente II (adimensional)	-0,2965
v_ALPHA_BF, gw	Constante de recessão do fluxo de base (dias)	0,279
v_GW_REVAP, gw	Coefficiente de controle do fluxo da água entre as zonas saturada e não saturada (adimensional)	0,1895
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)	33,5299
v_RCHRG_DP, gw	Fração de água percolada para o aquífero profundo (fração)	0,057
v_ESCO, hru	Coefficiente de compensação da evaporação de água no solo (adimensional)	0,563
v_EPCO, hru	Coefficiente de compensação da absorção de água pelas plantas (adimensional)	0,2227
v_CH_N2, rte	Coefficiente de Manning do canal (adimensional)	0,2234
r_SOL_Z (), sol	Profundidade da camada de solo (mm)	-0,1705
r_SOL_AWC (), sol	Capacidade de água disponível no solo, (mm.mm <sup>-1</sup> )	1,6447
v_CANMX, hru	Quantidade máxima de água interceptada pela vegetação (mm)	75,1399

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

Estudos realizados na BHRT, utilizando o modelo SWAT em suas calibrações, demonstraram similaridades entre os parâmetros utilizados. A Tabela 11 apresenta os dez parâmetros mais sensíveis (indo do mais sensível ao menos sensível) utilizados em três estudos realizados na BHRT.

Tabela 11 – Parâmetros utilizados para bacia hidrográfica do Rio Taperoá

	<b>Alves da Silva (2015)</b>	<b>Dantas (2016)</b>	<b>Meideiros (2017)</b>
1	CN2	GWQMN	GWQMN
2	GW_DELAY	GW_REVAP	GW_REVAP
3	GWQMN	CN2	GW_DELAY
4	GW_REVAP	ESCO	SOL_AWC
5	SOL_AWC	GW_DELAY	CN2
6	SOL_Z	SOL_AWC	SOL_Z
7	ALPHA_BF	CH_K2	CANMX
8	BIOMIX	CANMX	CH_N2
9	SOL_K	SLSUBBSN	SLSUBBSN
10	CANMX	SOL_Z	CH_K2

Comparando os parâmetros utilizados neste trabalho, com os parâmetros destacados na Tabela 11, constatou-se que, com relação ao trabalho de Alves e Silva (2015), Dantas (2016) e Medeiros (2017), sete parâmetros foram coincidentes com este trabalho. Vale ressaltar que os parâmetros GW\_REVAP, CN2, GW\_DELAY, SOL\_AWC, SOL\_Z e CANMX foram recorrentes em todos os trabalhos citados acima, incluindo esta pesquisa.

Os 12 parâmetros utilizado neste trabalho, estão relacionados à umidade do solo (Cn2), propriedades do solo (Sol\_Z), presença da água no solo (Gw\_revap, Alpha\_bf, Gw\_delay, Sol\_awc, Revapmn e Rchrg\_dp), evaporação da água no solo (Esco), absorção de água pelas plantas (Epc), influência da vegetação para o escoamento (Canmx) e rugosidade de escoamento (Ch\_N2).

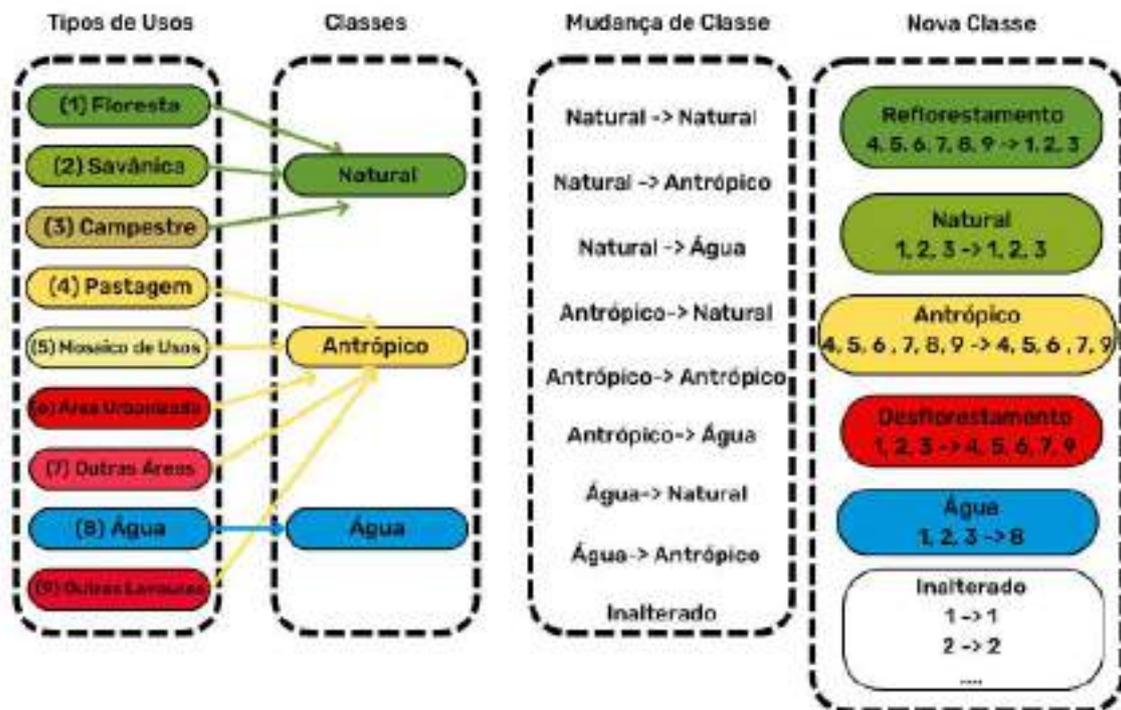
Os parâmetros selecionados têm uma influência direta no comportamento do escoamento superficial, pois estão relacionados à dinâmica da água no solo e na superfície. Parte da água é interceptada pela vegetação e evaporada, enquanto outra parte infiltra-se até atingir o ponto de saturação do solo. Quando o solo atinge esse ponto, o excesso de água escoar pelo terreno, contribuindo também para a umidade do solo.

### **3.5. Dinâmica do uso e cobertura da terra**

A análise da dinâmica espaço-temporal do uso e cobertura da terra foi desenvolvida pelo Projeto de Mapeamento Anual do Uso e Cobertura da Terra no Brasil (MapBiomias), 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) para analisar a dinâmica do uso e cobertura da terra na bacia estudada.

Com base nos mapas temáticos gerados para cada ano estudado, foi realizada uma análise das mudanças no uso do solo entre os anos de 2000 e 2020. Isso envolveu a utilização da ferramenta QGIS versão 3.18.3, utilizando o plugin Semi-Automatic Classification Plugin (SCP). A Figura 10 apresenta um fluxograma com as etapas e reclassificações realizadas para obtenção do mapa das mudanças de uso e cobertura da terra entre os anos 2000 e 2020. Os 9 tipos de usos existentes nos mapas obtidos pelo MapBiomias foram reclassificados para três classes principais: natural, antrópico e água. As diferentes mudanças entre essas 3 classes foram então analisadas, gerando-se um mapa sobre tais mudanças. O mapa final, considerando as mudanças ocorridas, foi gerado com 6 novas classes: reflorestamento, natural, antrópico, desflorestamento, água e inalterado.

Figura 10 – Fluxograma com as etapas e reclassificações realizadas para obtenção do mapa das mudanças de uso e cobertura da terra entre os anos 2000 e 2020



### 3.6. Cenários de uso e cobertura da terra

Este estudo investigou os impactos das mudanças no uso da terra causados pelas interações através de quatro cenários diferentes. Esses cenários foram desenvolvidos com base em estudos realizados por Oliveira et al. (2018), Viola et al. (2014), Beskow et al. (2013) e Seabra et al. (2014).

Na bacia do rio Taperoá, Seabra et al. (2014), afirmam que a pecuária é a principal atividade econômica, e que sua expansão ao longo dos últimos anos vem contribuindo para a progressiva redução e transformação da cobertura vegetal de Caatinga. Nesse sentido, foram considerados dois cenários de desmatamento: C1 que considera que 20% do uso Formação Savânica (Caatinga) de toda a bacia é convertida em Mosaico de Usos (Agropecuária); e C2 que considera 50% de conversão.

Além desses cenários, outros dois foram estruturados motivados por programas ambientais governamentais em andamento, como o “Projeto Sertão Vivo, Semeando Resiliência Climática em Comunidades Rurais no Nordeste”, a iniciativa é do BNDES e do Fundo Internacional de Desenvolvimento Agrícola (Fida), que prevê a implantação de políticas públicas com ações de reflorestamento da Caatinga, visando a proteção do meio

ambiente e promoção do desenvolvimento sustentável. Neste contexto, os cenários C3 e C4 consideraram a conversão da classe Mosaico de Usos (Agropecuária) em Formação Savânica (Caatinga) em toda a área da bacia em 20% e 50%, respectivamente.

As mudanças no uso da terra foram realizadas através do módulo SWAT “*Land-Use Update*”. A “Atualização do Uso e Cobertura da Terra” ajusta automaticamente as frações de HRUs, atualizando o uso atual para o novo uso com base na porcentagem dada pelo modelador, conseqüentemente, os parâmetros vegetativos, como Índice de Área Foliar (IAF), condutância aerodinâmica e estomática e outros relacionados à evapotranspiração são automaticamente alterados (Oliveira et al., 2018). Essa metodologia foi empregada em diversos estudos sobre os impactos das mudanças no uso da terra, como evidenciado por Hernandez et al. (2018), Lamparter et al. (2018), Castillo et al. (2014) e Oliveira et al. (2018).

Os impactos das mudanças no uso e cobertura da terra no comportamento hidrológico foram quantificados comparando as simulações obtidas nos cenários de uso da terra com a simulação obtida no cenário atual. Os parâmetros calibrados, os dados meteorológicos, o mapa do solo, declividade e usos permaneceram os mesmos para os cenários, a fim de fornecer uma base consistente para comparação entre os cenários da linha de base e de mudança no uso da terra (Can et al., 2015). Além disso, conforme indicado por Bieger et al. (2015) e Hessel et al. (2003), ao examinar os efeitos das mudanças no uso e cobertura da terra, todos os cenários são afetados pela mesma incerteza nos dados de entrada. Portanto, é razoável presumir que as variações relativas nos resultados podem ser atribuídas às alterações influenciadas pelo cenário específico aplicado.

A Tabela 12 resume os cenários de uso e cobertura da terra, apresentando as novas porcentagens de florestas e áreas agrícolas após alterações do cenário atual. As alterações foram feitas considerando toda a área de cada classe de uso e cobertura da terra.

Tabela 12 – Cenários de mudanças no uso e cobertura da terra considerando a área total da bacia e o percentual de Formação Savânica (Caatinga) em relação ao uso atual da terra

<b>Cenário</b>	<b>Descrição</b>	<b><math>\Delta</math> Área total da bacia (km<sup>2</sup>)</b>	<b>(%)</b>	<b>Área total da classe (km<sup>2</sup>)</b>	<b><math>\Delta</math> (%)</b>
C1	20% - Desmatamento	-42425,02	7,69	169700,09	-30,74

---

C2	50% - Desmatamento	-106062,56	19,22	106062,56	-19,22
C3	20% - Reflorestamento	37657,59	6,82	249782,71	45,25
C4	50% - Reflorestamento	94143,98	17,05	306268,1	55,49

---

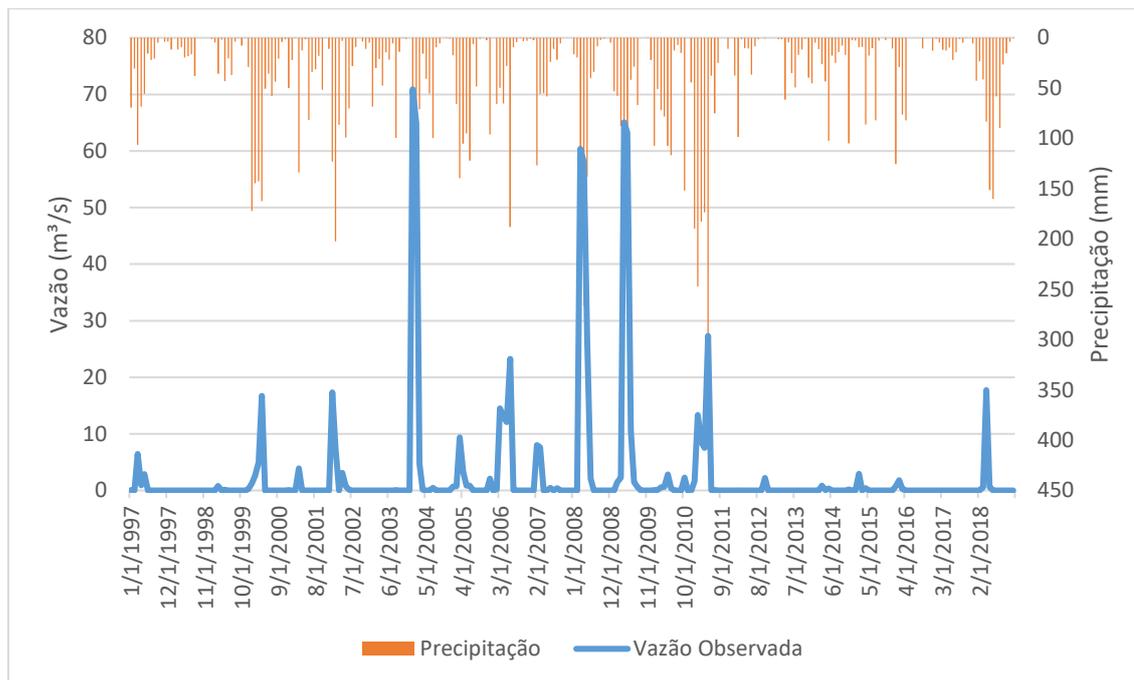
## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1. Análise do comportamento da vazão**

A Figura 11 apresenta o hidrograma e ietograma observados para a bacia do Rio Taperoá entre 1997 e 2018. Verifica-se que a bacia frequentemente apresenta vazões iguais ou próximas a 0,0 m<sup>3</sup>/s no posto fluviométrico Poço de Pedras, especialmente durante o período seco. De acordo com Dantas et al. (2015), essa característica reflete a presença de rios intermitentes e efêmeros na região. Esse padrão está associado a irregularidade na distribuição anual das chuvas, que varia de 350 a 600 mm por ano, com uma estação seca que pode durar de 8 a 10 meses (AESAs, 2004). A maior parte da precipitação anual ocorre entre os meses de fevereiro e maio, com médias que vão de 250 a 900 mm (Nascimento, Lima, Lima, 2014). Assim, a vazão na bacia segue o mesmo padrão da precipitação, sendo registrada apenas durante os meses chuvosos (Figura 11).

A região do Cariri Paraibano é marcada pelo clima semiárido, caracterizado pela irregularidade na distribuição das chuvas tanto no espaço quanto no tempo, alta incidência de radiação solar e temperatura máxima variando entre 28° e 31°C nos meses de novembro e dezembro (AESAs, 2004). Esses fatores influenciam significativamente a dinâmica dos processos físicos na região. Nesse caso, o caráter de variabilidade da precipitação é o principal agente climático responsável pelo comportamento da vazão e da erosão na região, controlando, principalmente, os períodos em que estes processos apresentam um comportamento estável ou anômalo (Dantas et al., 2015).

Figura 11 – Hidrograma e ietograma observados para a bacia do Rio Taperoá entre 1997 e 2018



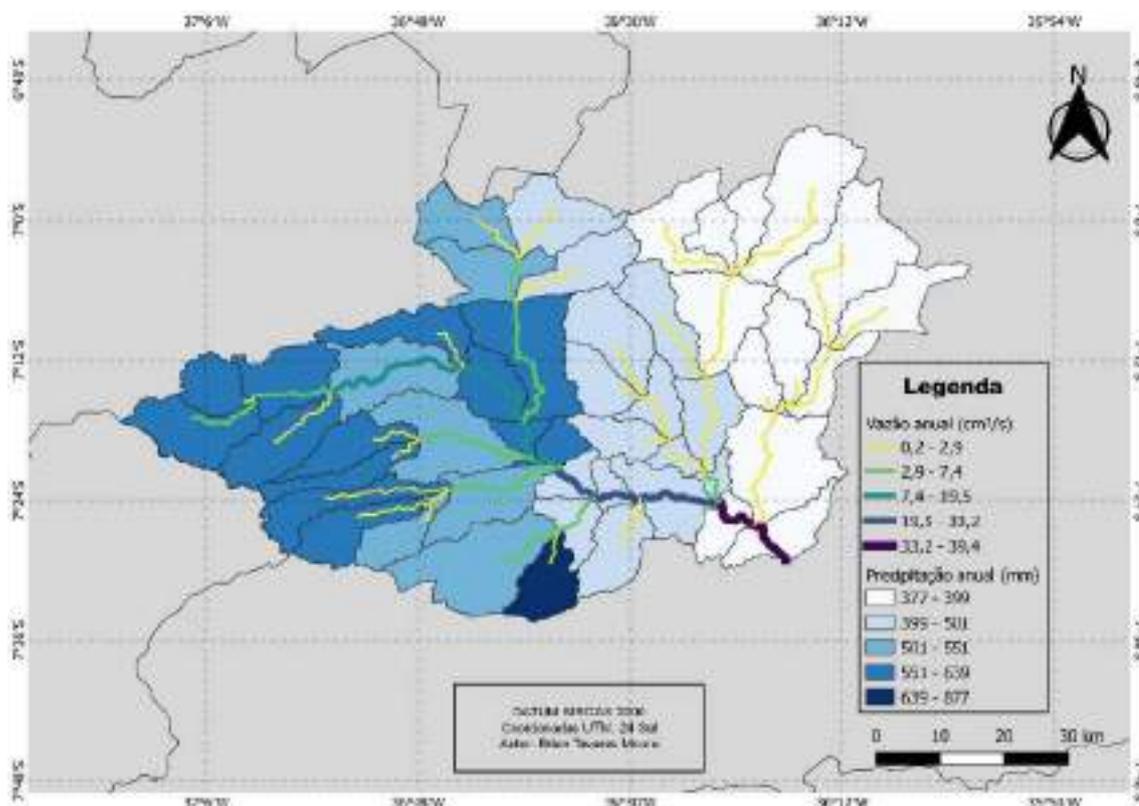
O mapa da vazão média anual ao longo dos canais da bacia do Rio Taperoá durante o período de 1997 a 2018 é apresentado na Figura 12. Verifica-se uma correlação positiva significativa entre a precipitação e a vazão, onde a bacia apresenta os maiores valores de precipitação na região oeste. Então com a alta 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.

Na porção Nordeste da BHRT, onde o uso predominante é a vegetação arbórea/arbustiva, foram estimados os menores valores de vazão. Segundo Dantas et al. (2016), o uso e cobertura da terra também possui influência no comportamento da vazão na bacia, mostrando que a presença da cobertura vegetal contribui com a diminuição da velocidade da enxurrada por meio da interceptação das gotas de chuva, proporcionando, ao mesmo tempo, a infiltração da água no solo (Bertoni e Lombardi Neto, 2010). Além disso, nesta porção da bacia também são registrados os menores valores de precipitações, contribuindo, também, com as baixas taxas de vazão.

Na porção central da bacia, mais precisamente nas áreas onde estão localizadas as sub-bacias que apresentam as maiores taxas de vazão, a classe de vegetação herbácea (que também compreende áreas de solo exposto) influencia no aumento do escoamento superficial, por deixar o terreno com menos proteção de cobertura, o que favorece a

enxurrada. Além disso, se observa que nessa porção da bacia existem áreas com declividades elevadas, as quais contribuem para o aumento da velocidade do escoamento, além de estar acumulando a vazão que se origina nas sub-bacias das áreas de nascentes. Esses achados concordam com Dantas et al. (2016).

Figura 12 – Distribuição espacial da precipitação e vazão estimada na bacia do Rio Taperoá



#### 4.2. Análise da dinâmica do uso e cobertura da terra

Observando-se as classes de formação florestal, formação savânica (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 (AESA, 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 floresta.

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 floresta 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 km<sup>2</sup> entre os anos 2000 e 2010, e de 1.604 km<sup>2</sup> entre os anos de 2016 e 2018.

A Tabela 13 apresenta as classes de Cobertura e Uso da Terra e suas respectivas áreas, evidenciando as mudanças ocorridas entre 2000 e 2020 na bacia hidrográfica do Rio Taperoá.

Tabela 13 – 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 <sup>2</sup> )	Área (%)	Área (km <sup>2</sup> )	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

As Figuras 13 e 14 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 8). 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).

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.

Figura 13 – Mapa de uso e cobertura da terra do ano de 2000 da bacia hidrográfica do Rio Taperoá – PB

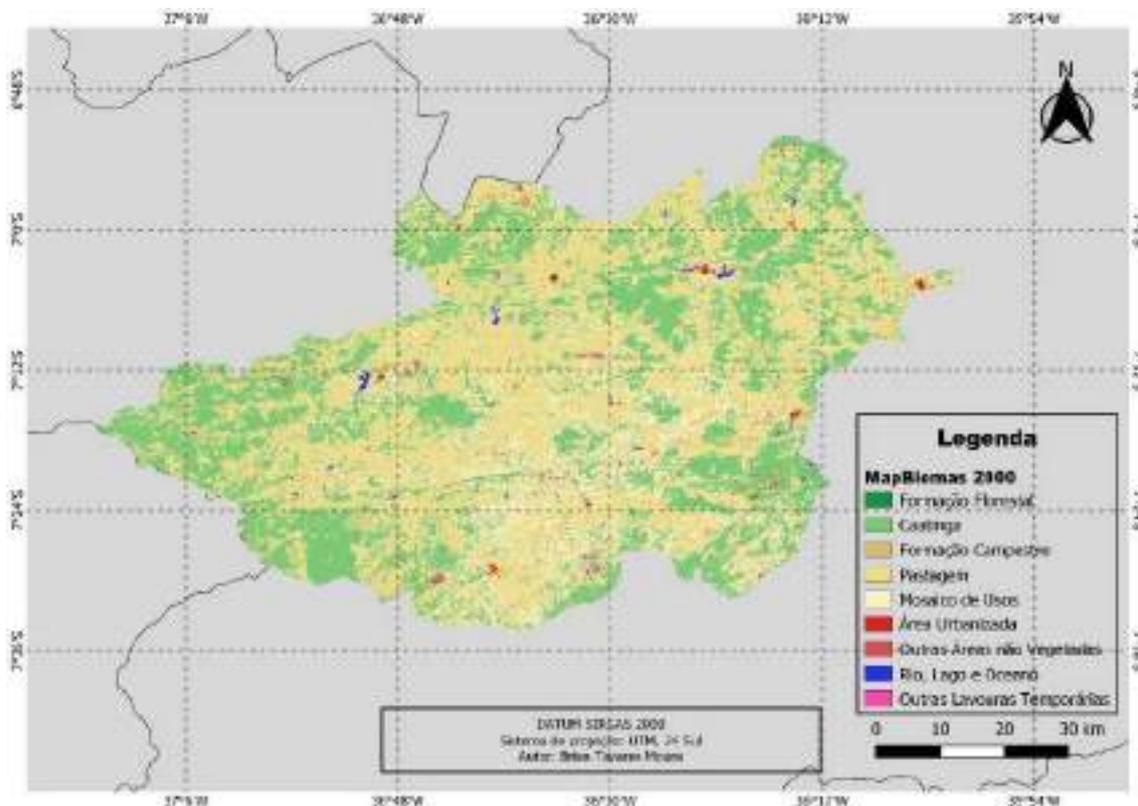
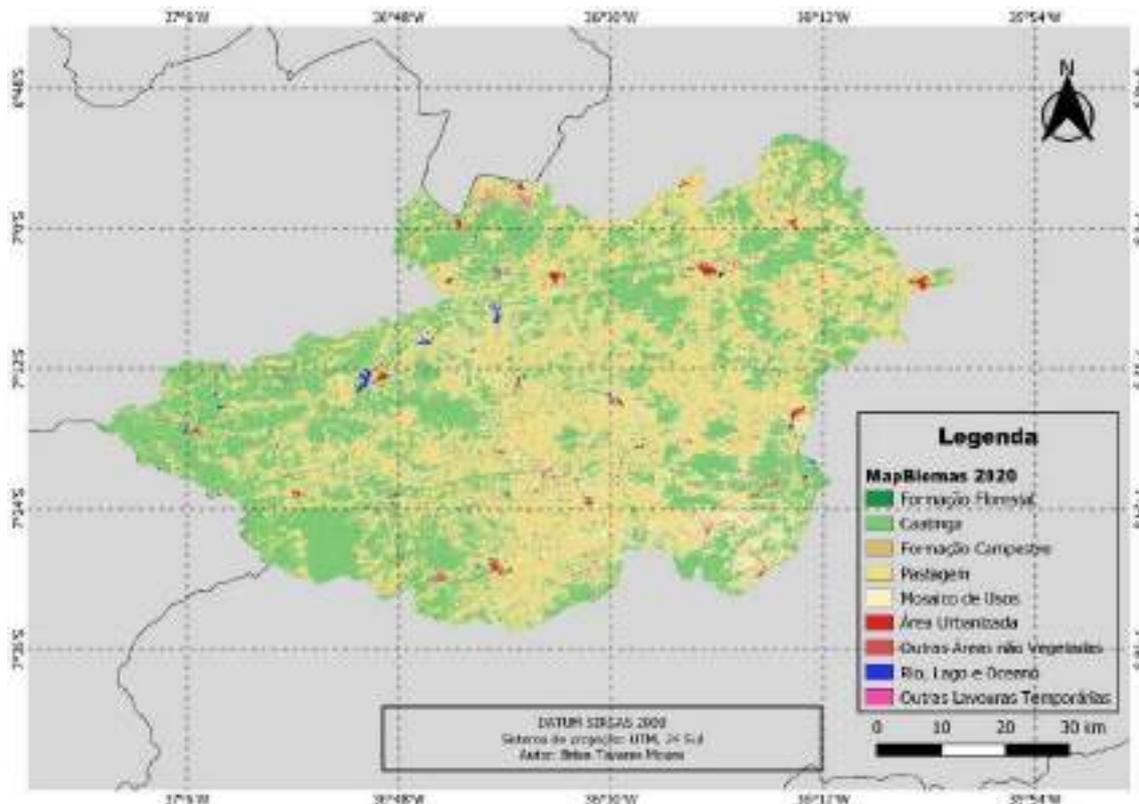
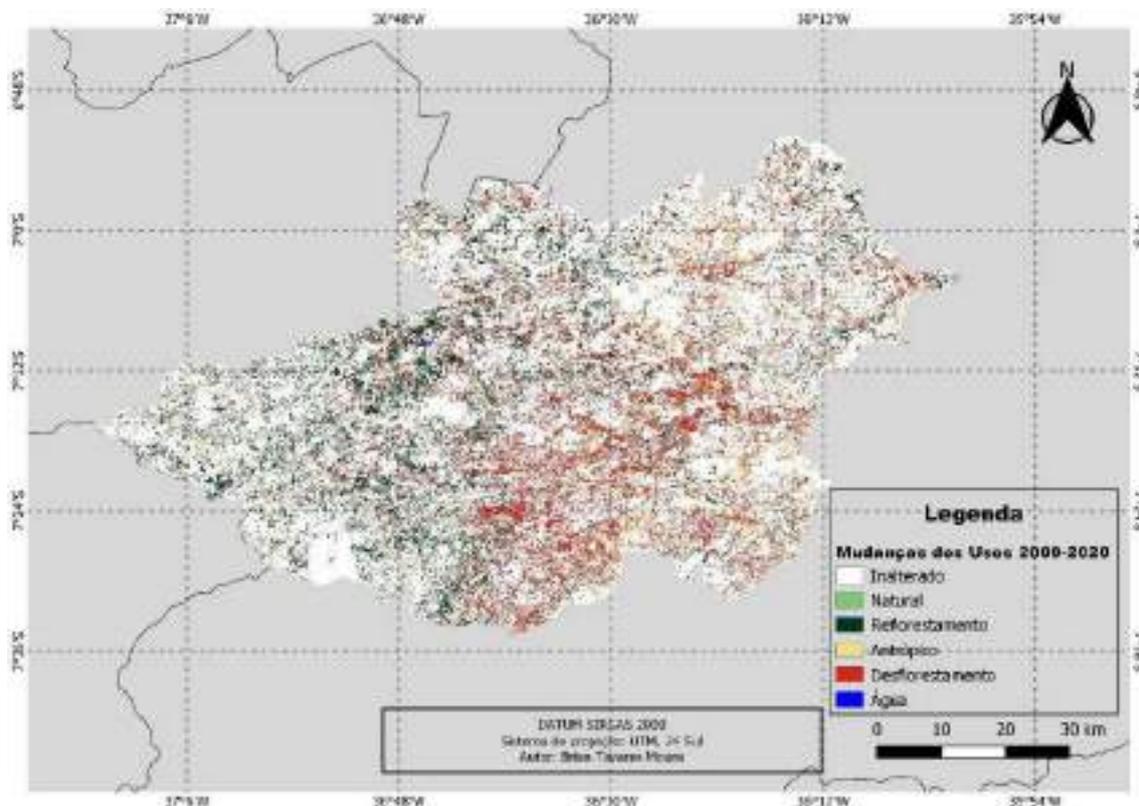


Figura 14 – Mapa de uso e cobertura da terra do ano de 2020 da bacia hidrográfica do Rio Taperoá – PB



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 15. 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 15 – Mapa das mudanças de uso e cobertura da terra entre os anos 2000 e 2020 na bacia hidrográfica do Rio Taperoá – PB



### 4.3. Impactos das mudanças de uso na vazão

A fim de avaliar os impactos das mudanças no uso da terra na hidrologia, o conjunto de dados de vazões médias foi dividido em vazões sazonais. Esta avaliação é essencial, pois indica as variações da vazão durante os períodos seco e chuvoso, quando as vazões baixas e máximas, respectivamente, são pronunciadas (Oliveira et al., 2018). A Tabela 14 mostra as variações das vazões médias dos períodos seco e chuvoso em comparação com a linha de base. Também mostra a vazão média anual observada para todo o período analisado (1997 – 2018). A vazão média do período seco foi calculada considerando os meses de junho a janeiro, refletindo as condições de baixa precipitação. Por outro lado, a vazão média do período chuvoso abrange os meses de fevereiro a maio, capturando o aumento das águas devido às chuvas mais intensas nesse intervalo. Essas médias anuais foram obtidas para o período de 1997 e 2018. Para a vazão máxima, foi observado o maior valor registrado na série de dados entre 1997 e 2018, da mesma forma a vazão mínima foi identificada como o menor valor registrado nesse mesmo intervalo.

Tabela 14 – Variações médias anuais, e dos períodos seco e chuvoso das vazões causadas pelos cenários de uso e cobertura da terra em relação à linha de base, considerando o período 1997 – 2018

Vazões (Q)	Observada ( $m^3 \cdot s^{-1}$ )	Baseline ( $m^3 \cdot s^{-1}$ )	$\Delta Q(m^3 \cdot s^{-1})$			
			C1	C2	C3	C4
Qmédia	2,64	2,75	0,01	0,03	-0,01	-0,03
Qchuvoso	24,74	21,73	0,14	0,33	-0,13	-0,32
Qseco	6,41	11	0,01	0,04	0,01	0,03
Qmáxima	70,90	64,72	0,39	0,90	-0,08	-0,16
Qmínima	0	0	0	0	0	0

Os resultados mostram que a vazão média aumentou sob os cenários de desmatamento de 0,01 e 0,03  $m^3 \cdot s^{-1}$  para C1 e C2, respectivamente, e diminuiu nos cenários de reflorestamento de 0,01 e 0,03  $m^3 \cdot s^{-1}$  para C3 e C4, respectivamente. Adicionalmente, houve aumento das vazões médias do período chuvoso de 0,14 e 0,33  $m^3 \cdot s^{-1}$  para C1 e C2, respectivamente, e aumento das vazões médias do período seco de 0,01 e 0,04  $m^3 \cdot s^{-1}$ . Esses resultados indicam um aumento nas vazões nos cenários de desmatamento, tanto no período chuvoso quanto no período seco, levando também ao aumento das vazões máximas de 0,39 e 0,90  $m^3 \cdot s^{-1}$  para os cenários C1 e C2, respectivamente. Segundo Viola et al. (2014), quando as florestas são removidas, a infiltração é reduzida, o que leva a um aumento no escoamento superficial e, portanto, a elevação dos picos de fluxo e do escoamento total. O aumento do pico de fluxo em cenários de desmatamento também é relatado por Lamparter et al. (2018) que de acordo com os resultados relatados, tanto para a bacia hidrográfica das Mortes quanto para a bacia do Jamanxim, o modelo mostra um aumento da vazão de acordo com o desmatamento contínuo. Para a bacia hidrográfica das Mortes, com uma redução do Cerrado de 5% teve um aumento nas pastagens de 12%, resultou num aumento de 3,4% na vazão anual. Já bacia hidrográfica do Jamanxim, 24% a mais de desmatamento, aumentou a vazão em 13 mm por ano.

Nos cenários de reflorestamento, os fluxos médios do período chuvoso tiveram uma redução de 0,13 e 0,32  $m^3 \cdot s^{-1}$  para C3 e C4, respectivamente, indicando assim uma baixa nas vazões e aumento da recarga de água subterrânea. Por outro lado, houve aumento nas vazões do período seco de 0,01 e 0,03  $m^3 \cdot s^{-1}$  e reduções nas vazões máximas de 0,08 e 0,16  $m^3 \cdot s^{-1}$ , para C3 e C4, respectivamente, indicando uma atenuação dos picos de vazão de fevereiro a maio. Segundo Lamparter et al. (2018) e

Viola et al. (2014), o reflorestamento em áreas campestres leva a uma regulação dos fluxos baixos e à redução dos fluxos de pico, pois aumenta a capacidade de infiltração e a zona radicular efetiva, aumentando assim capacidade de retenção de água no solo devido ao aumento da matéria orgânica e dos fluxos preferenciais formados no perfil do solo (Pinto et al., 2015). Também aumenta a interceptação das chuvas e a evapotranspiração devido ao aumento da área de cobertura do solo. Além disso, os riscos de erosão do solo são reduzidos, uma vez que o reflorestamento proporciona proteção ao solo. Já a redução das áreas florestadas tende a aumentar o escoamento anual devido à redução da capacidade de infiltração da água no solo, o que pode acelerar os processos erosivos, reduzindo a disponibilidade hídrica e afetando a qualidade da água (Alvarenga et al., 2016).

As Figuras 16 e 17 mostram o comportamento das vazões médias observada e simulada para os cenários de desflorestamento e reflorestamento, respectivamente, para a bacia do Rio Taperoá.

Figura 16 – Comportamento das vazões observada e dos cenários de desflorestamento para a bacia do Rio Taperoá

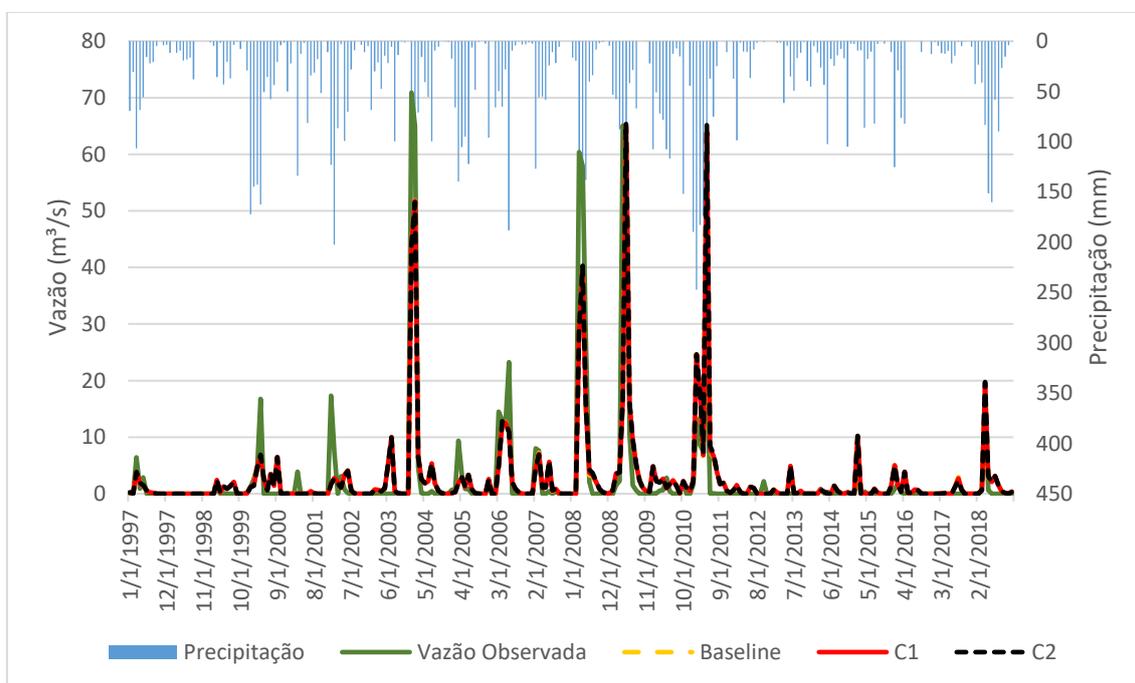
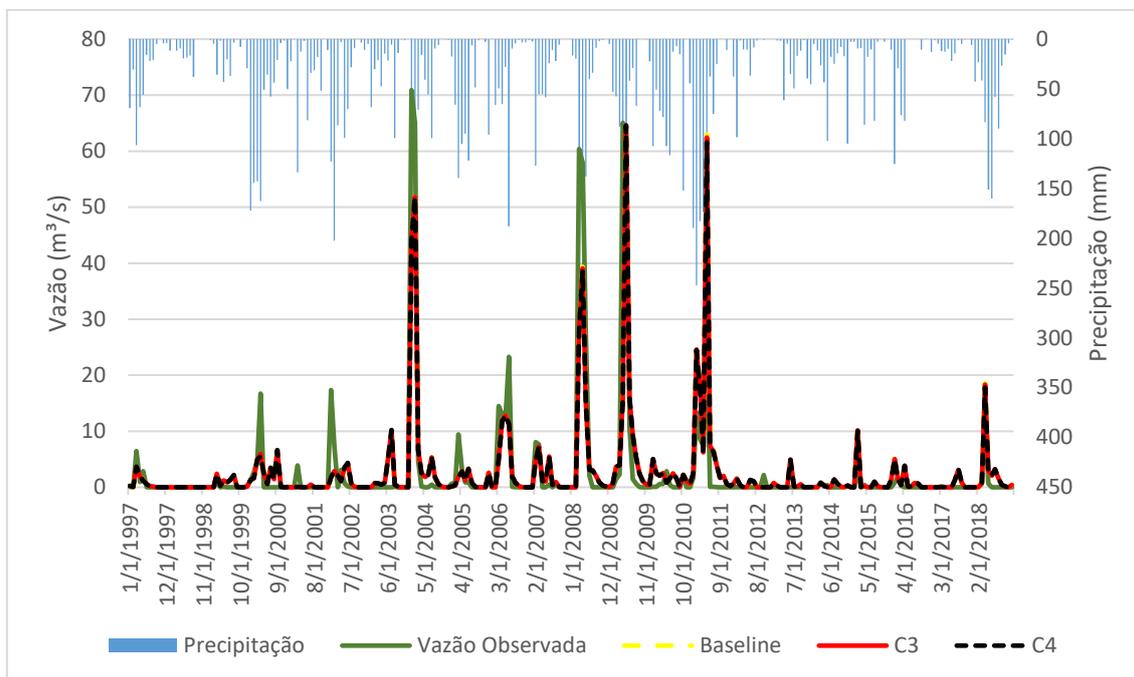


Figura 17 – Comportamento das vazões observada e dos cenários de reflorestamento para a bacia do Rio Taperoá



As Figuras 16 e 17 mostram que o padrão de precipitação ao longo dos anos apresenta picos significativos, especialmente entre 2003 e 2011, que coincidem com a vazão observada. Isso indica uma resposta hidrológica esperada. Na Figura 16, observa-se que a vazão é maior no cenário C2, indicando que a conversão de pastagens em florestas resulta em um aumento da vazão. Por outro lado, a Figura 17 revela uma redução mais acentuada na vazão no cenário C4 em comparação ao C3, refletindo o impacto significativo da conversão de florestas em pastagens, que é mais expressivo no C4.

#### 4.4. Balanço hídrico da bacia hidrográfica do Rio Taperoá

A Tabela 15 mostra os resultados do balanço hídrico para cenários de uso atual, reflorestamento e expansão agrícola (desmatamento). A Figura 17 mostra alguns componentes do balanço hídrico para a BHRT.

Tabela 15 – Indicadores hidrológicos e componentes do balanço hídrico e sua variação da simulação da linha de base

Componentes	Baseline	C1	C2	C3	C4
-------------	----------	----	----	----	----

	$(m^3 \cdot s^{-1})$	$\Delta Q(m^3 \cdot s^{-1})$			
<i>Recarga dos aquíferos</i>	3,12	0	0	0,01	0,02
<i>Evapotranspiração</i>	432	0	0	-0,01	-0,02
<i>Percolação</i>	54,76	0,02	0,04	0,15	0,37
<i>Fluxo Lateral</i>	8,39	-0,10	-0,26	0	-0,02
<i>Fluxo de Retorno</i>	0,51	0,09	0,23	-0,01	-0,04
<i>Escoamento Superficial</i>	11,5	0,11	0,27	-0,07	-0,17
<i>Reevaporação do aquífero</i>	69,37	-0,11	-0,28	0,17	0,42

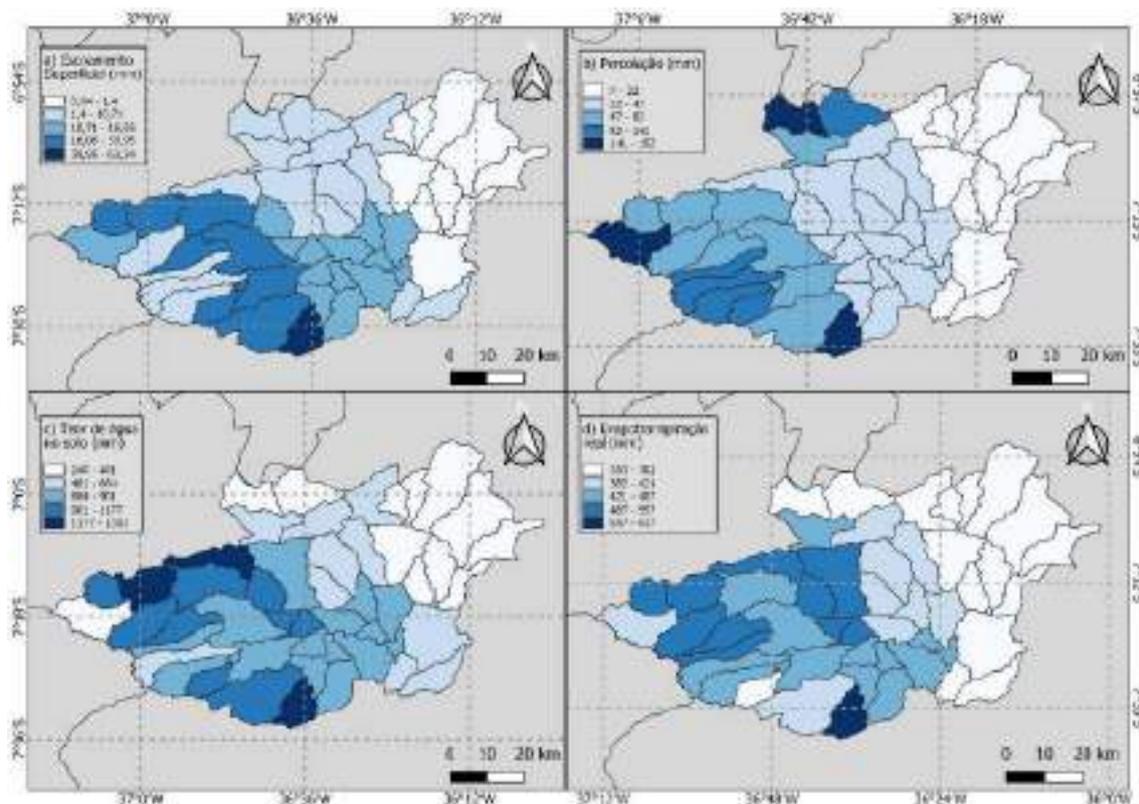
Ao observarmos os resultados dos cenários de reflorestamento (C3 e C4) em relação ao cenário de uso atual, verifica-se que o aumento da floresta nativa proporcionou uma diminuição do escoamento superficial de 0,07 e 0,17 mm, respectivamente. Magalhães et Al. (2018), realizando a modelagem hidrológica de uma bacia experimental no semiárido do estado de Pernambuco, buscaram investigar a efetividade hidrológica em um cenário de recomposição de Caatinga arbórea em áreas de maior elevação topográfica na bacia experimental, e o comportamento dos componentes hidrológicos em um cenário de expansão agrícola, e verificaram que com o aumento da floresta nativa, houve uma diminuição do escoamento superficial de cerca de 51% na bacia, corroborando com o presente estudo. Essa diminuição do escoamento superficial, segundo Magalhães et Al. (2018), pode ser explicada por dois motivos, primeiro pela capacidade das florestas em interceptar a precipitação, reduzindo a perda de água através do escoamento, e segundo devido a maior densidade das plantas, permitindo que por meio da interceptação ocorra uma maior infiltração de água no solo, aumentando os processos de percolação e recarga dos aquíferos. Devido a esses processos, os cenários de reflorestamento tiveram um aumento gradual na recarga de aquíferos de 0,01 e 0,02 mm e aumento da percolação de 0,15 e 0,37 mm para C3 e C4, respectivamente. Isso indica que a infiltração de água para camadas mais profundas do solo é mais significativa, especialmente em C4.

Já nos cenários de desflorestamento (C1 e C2), com a expansão da pastagem em relação a floresta nativa, houve um aumento no escoamento superficial de 0,11 e 0,27 mm, respectivamente. Esses resultados podem ser devidos a diminuição da zona radicular eficaz, uma vez que as florestas têm raízes mais profundas do que as pastagens, o que leva a um aumento do teor de água no solo, aumentando assim o escoamento superficial (Oliveira et al., 2018). Por outro lado, o processo de percolação foi baixo em comparação ao reflorestamento, sendo de apenas 0,02 e 0,04 mm. Ao observar a recarga de aquíferos, não teve mudança em relação ao uso atual. Estas mudanças estão em linha com os mesmos princípios discutidos anteriormente para o cenário de reflorestamento. Verificou-

se que o aumento das áreas agrícolas resultou em maior escoamento superficial, menor percolação de água no solo e nenhuma recarga dos aquíferos.

A Figura 18 mostra os componentes escoamento superficial, percolação, teor de água no solo e evapotranspiração real para os cenários na BHRT.

Figura 18 – Componentes do balanço hídrico do Cenário 1 (a – escoamento superficial, b – percolação, c – teor de água no solo e d – evapotranspiração real) para a bacia do Rio Taperoá



Os resultados mostraram que, apesar das mudanças propostas nos cenários, os mapas das variáveis hidrológicas mantiveram-se essencialmente iguais para todos os cenários, refletindo a pequena alteração significativa nos valores médios anuais das componentes analisadas.

Os mapas gerados seguiram um padrão consistente com a distribuição da precipitação. Em áreas onde a precipitação é mais intensa, observou-se um aumento correspondente nos valores de escoamento superficial, percolação, teor de água no solo e evapotranspiração real. Este comportamento reflete a relação direta entre a quantidade de precipitação e os processos hidrológicos subsequentes. Sendo assim, uma análise integrada desses mapas, permite uma compreensão mais aprofundada das dinâmicas

hídricas e contribui para o desenvolvimento de estratégias de manejo e conservação hídrica mais eficazes.

## 5. CONCLUSÃO

Com base no que foi apresentado é possível perceber o impacto das mudanças dos usos do solo nos processos hidrológicos existente na bacia do Rio Taperoá através dos resultados encontrados na pesquisa. Com isso, percebe-se a importância da preservação das matas nativas, para as questões hídricas na bacia.

Os cenários de reflorestamento (C3 e C4) têm um impacto positivo na região, pois aumentam a contribuição das águas subterrâneas e reduzem os picos de vazão, melhorando a capacidade da bacia em sustentar o escoamento de base devido à maior capacidade natural de regularização das vazões. Em contraste, os cenários de desmatamento (C1 e C2) geraram impactos negativos na bacia hidrográfica, não apenas no ciclo hidrológico - com a redução da disponibilidade de água e o aumento dos riscos de inundação - mas também no desenvolvimento socioeconômico, dada a importância da bacia para a agricultura e o abastecimento de água em nível regional.

A análise do balanço hídrico realizada com o modelo SWAT proporcionou uma compreensão aprofundada do comportamento hidrológico da bacia do Rio Taperoá. Os resultados obtidos evidenciam a dinâmica complexa entre os componentes, sendo crucial para a gestão sustentável dos recursos hídricos na região, contribuindo para o planejamento e a implementação de estratégias de conservação e uso eficiente da água.

O modelo SWAT foi capaz de prever adequadamente os processos hidrológicos na BHRT de acordo com os critérios adotados neste estudo, reproduzindo as mudanças no regime hidrológico com base em diferentes cenários de uso da terra, auxiliando na compreensão dos processos hidrológicos de bacias representativas do semiárido brasileiro, sendo desta forma, essenciais no auxílio ao planejamento e manejo adequado dos recursos naturais da região.

As alterações hidrológicas, impulsionadas pelas mudanças no uso do solo, representam uma ameaça à sustentabilidade da bacia e ao bem-estar da população. Com isso, a integração das conclusões do estudo em políticas públicas de gestão de uso do solo e água é crucial para mitigar os impactos negativos e garantir a segurança hídrica, a produção de alimentos e o desenvolvimento sustentável da região. Ações como o incentivo ao reflorestamento, o controle do desmatamento, a gestão integrada dos recursos hídricos e o planejamento territorial são essenciais para proteger a bacia do Rio Taperoá e assegurar a qualidade de vida da população.

## 6. REFERÊNCIAS

ABDELWAHAB, O.M.M., BINGER, R.L., MILILLO, F., GENTILE, F. 2014. Effectiveness of alternative management scenarios on the sediment load in a mediterranean agricultural watershed. *Journal of Agricultural Engineering*, v. 45, n. 3, p. 125-136.

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, 82.

AESA. Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba, 2023. Meteorologia-Chuvas. Disponível: <http://www.aesa.pb.gov.br/aesawebsite/meteorologia-chuvas/?formdate=2023-0418&produto=bacia&periodo=diario>. Acesso: 25/08/2023.

AGÊNCIA Nacional e Águas; FUNDAÇÃO Roberto Marinho. Caminho das águas – Caderno do professor 1. Projeto Caminho das Águas: Rio de Janeiro, 2006.

AGHSAEI, H., DINAN, N.M., MORIDI, A., ASADOLAH, Z., DELAVAR, M., FOHRER, N., & WAGNER, P. N. 2020. Effects of dynamic land use/land cover change on water resources and sediment yield in the Anzali wetland catchment, Gilan, Iran. *The Science of the Total Environment*, 712, 136449.

ALMEIDA, L.C., 2011. Análise espacial de dados com o quantum GIS: Exercícios realizados durante tópico especial ofertado pelo programa de pós-graduação em geografia da UFSCA. *Revista eletrônica de geografia*, v. 3, n. 8, p. 1-21.

ALVARENGA, L.A., MELLO, C.R., COLOMBO, A., CUARTAS, L.A., BOWLING, L.C. 2016. Assessment of land cover change on the hydrology of a Brazilian head- water watershed using the Distributed Hydrology-Soil-Vegetation Model. *Catena*, v. 143, n.1, p. 7-17.

ALVES DA SILVA, M. 2015. Modelagem hidrológica e das perdas de solo: suas relações com as formas de relevo e uso do solo na bacia do rio Taperoá – PB. 104 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.

ANA. Agência Nacional de Águas. Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos. 2024. Disponível em: < <http://www.snirh.gov.br/>>. Acesso em: 07 de ago. 2024.

ANDRADE, C.W.L., MONTENEGRO, S.M.G.L., LIMA, J.R.S., MONTENEGRO, A.A.A., MAGALHÃES, A.G. 2017. Modelagem hidrológica sob mudanças na cobertura vegetal de uma bacia hidrográfica no Nordeste do Brasil. *Journal of Environmental Analysis and Progress* v. 2, p. 239- 248.

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 and Hydrobiology*, v. 19, p. 238-251.

ANDREOZZI, S. L. 2005. Planejamento e gestão de bacias hidrográficas: uma abordagem pelos caminhos da sustentabilidade sistêmica. 2005. 151 f. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2005.

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 resourcer intitute – TR, p. 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 Resources Association*, v. 34, n. 1, p. 73-89.

ARNOLD, J.G.; MORIASI, D.N.; GASSMAN, P.W.; ABBASPOUR, K.C.; WHITE, M. J.; SRINIVASAN, R. 2012. SWAT: Model use calibration and validation. *Transactions of ASABE*, v. 55, n. 4, p. 1494-1508.

BARRETO, J.F., NETO, J.D., FARIAS, S.A.R. 2010. Avaliação socioeconômica e hídrica dos municípios da sub-bacia hidrográfica do Rio Taperoá, PB. *Qualit@s revista eletrônica* v. 9, p. 1-13.

BERTONI, J.; LOMBARDI NETO, F. 2010. Conservação do solo. 7. ed. São Paulo: Ícone, 2010, p. 355.

BESKOW, S.; NORTON, L.D.; MELLO, C.R. 2013. Hydrological Prediction in a Tropical Watershed Dominated by Oxisols Using a Distributed Hydrological Model. *Water Resources Management*, v. 27, n. 1, p. 341-363.

BIEGER, K.; HÖRMANN, G.; FOHRER, N. 2015. The impact of land use change in the Xiangxi Catchment (China) on water balance and sediment transport. *Regional Environmental Change*, v. 15, n. 3, p. 485-498.

BRESSIANI, D.A., GASSMAN, P.W., FERNANDES, J.G., GARBOSSA, L.H.P., SRINIVASAN, R., BONUMA, N.B., & MENDIONDO, E.M. 2015. A review of soil and water assessment tool (SWAT) applications in Brazil: Challenges and prospects. *International International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, v. 8, n. 3, p. 9-35.

BRITO, J.L.S., PRUDENTE, T.D. 2005. Análise temporal do uso e cobertura da terra e cobertura vegetal do município de Uberlândia-MG, utilizando imagens ETM/Landsat 7. *v. 17, n.32, p.37-46.*

CAMPOS, S. 1997. Diagnóstico físico conservação estação da bacia do rio Lavapés - Botucatu (SP). 1997.140p. Tese (livro - docência) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu.

CAN, T., XIAOLING, C., JIANZHONG, L., GASSMAN, P., SABINE, S., PÉ, S. 2015. Using SWAT model to assess impacts of different land use scenarios on water budget of Fuhe River, China. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, v. 8, n. 3, p. 1-15.

CASTLLO, C.R., GÜNERALP, I., GÜNERALP, B. 2014. Influence of changes in developed land and precipitation on hydrology of a coastal Texas watershed. *Applied Geography*, v. 47, n. 1, p. 154-167.

CECÍLIO, R.A., REIS, E.F. 2006. Manejo de bacias hidrográficas. Material didático. UFES/DER.

CHRISTOFOLETTI, A. 1981. Geomorfologia Fluvial. São Paulo, Edgard Blucher Ltda. p. 188.

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*, v. 34, p. 816-827.

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. In: PINHEIRO, L. S.; GORAYEB, A. (Orgs.) *Geografia Física e as Mudanças Globais*. Fortaleza: Editora UFC v. 5, p. 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* v. 21, p. 601-614.

DUPASA, R., DELMASC, M., DORIOZD, J.M., GARNIERE, J., MOATARF, F., GASCUEL-ODOUXA, C. 2015. Assessing the impact of agricultural pressures on N and P loads and eutrophication risk. *Ecological Indicators* v. 48, p. 396-407.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos. (1979). *Súmula da X reunião Técnica de Levantamento de Solos*. Miscelânea 1, Rio de Janeiro: 1979, p. 83.

FERNANDES, J., GALINDO, R., DU BOCAGE NETA, A., JONES, C., & SRINIVASAN, R. 2020. Sistematização de dados de vegetação referente ao bioma caatinga para modelagem de bacias hidrológicas com SWAT. *Pesquisa Agropecuária Pernambucana*, v. 24, n. 2.

FERRIGO, S. 2014. Análise de consistência dos parâmetros do modelo SWAT obtidos por calibração automática – Estudo de caso da bacia do Lago Descoberto – DF. *Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos*, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, p. 147.

FIA, R., TADEU, H.C., MENEZES, J.P.C., FIA, F.R.L., OLIVEIRA, L.F.C. 2015. Qualidade da água de um ecossistema lótico urbano. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* v. 20, p. 267-275.

FIGOIRESE, C.H.U., LEITE, V.R. 2018. Dinâmica do uso e cobertura do solo na sub-bacia hidrográfica do Ribeirão Estrela do Norte no município de Castelo, estado do Espírito Santo. *Agrarian Academy, Goiânia*, v. 5, n. 10, p. 52-65.

FONTES JÚNIOR, R., MONTENEGRO, A. 2019. Impact of land use change on the water balance in a representative watershed in the Semiarid of the state of Pernambuco using the SWAT model. *Engenharia Agrícola* v. 39, n. 1, p. 110–117.

FRADE, T.G. 2019. Modelagem hidrológica utilizando os dados de precipitação Persiann-Cdr e o modelo SWAT para a bacia do rio Piancó – PB. Tese (Monografia) – Faculdade de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, p.103.

FRANCISCO, P.R.M., CHAVES, I. DE B., CHAVES, L.H.G., BRANDÃO, Z.N., LIMA, E.R.V. DE, & SILVA, B.B.DA. 2013. Mapeamento da Vulnerabilidade das Terras da Bacia Hidrográfica do Rio Taperoá (Mapping the Vulnerability of the Land of River Basin Taperoá). *Revista Brasileira De Geografia Física*, v. 6, p. 271-286.

HERNANDES, T.A.D., SCARPARE, F.V., SEABRA, J.E.A. 2018. Assessment of impacts on basin stream flow derived from medium-term sugarcane expansion scenarios in Brazil. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, v. 259, n.1, p. 11-18.

HESSEL, R., MESSING, I., LIDING, C., RITSEMA, C., STOLTE, J. 2003. Soil erosion simulations of land use scenarios for a small Loess Plateau catchment. *Catena*, v. 54, p. 289-302.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2023. IBGE Cidades. Taperoá.

JUNIOR, E.A.M., SILVA, J.S.V., & OLIVEIRA, R.C. (2017). Geotecnologias no planejamento e ordenamento territorial. *Anais. XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto–SBSR.INPE –Santos (SP)*, p. 4835-4842.

KLEMES, V. 1986. Operational testing of hydrological simulation models. *Hydrol. Sci. J.*, v. 31, p. 13-24.

KOBIYAMA, M., GRISON, K., MOTA, A.M. 2011. Curso de capacitação em hidrologia e hidrometria para conservação de mananciais. Florianópolis: UFSC/CTC/ENS/Labhidro, 3ºed. p. 242.

LAMPARTER, G., NÓBREGA, R.L.B., KOVACS, K., AMORIM, R.S., GEROLD, G. 2018. Modelling hydrological impacts of agricultural expansion in two macro-catchments in Southern Amazonia, Brazil. *Regional Environmental Change*, v. 18, n. 1, p. 91-103.

- LELIS, T.A. 2011. Modelagem do escoamento superficial e perda de solo na bacia do ribeirão São Bartolomeu, Zona da Mata de Minas Gerais, utilizando o simulador SWAT. 178 f. Tese (Doutorado em Geotecnia) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- LIMA, F.N., SILVA, J.B., DUARTE, S.M.A. 2017. Environmental characterization of sub-basin of the river Taperoá – Paraíba. *Ambiência* v. 13, p. 284-300.
- LIN, B., CHEN, X., YAO, H., CHEN, Y., LIU, M., GAO, L., JAMES, A. 2015. Analyses of land use change impacts on catchment runoff using different time indicators based on SWAT model. *Ecological Indicators* v. 58, p. 55 – 63.
- LINS, F.A.C., MONTENEGRO, A.A.A., FARIAS, C.W.L.A., SILVA, M.V., SOUZA, W.M., MOURA, G.B.A., SILVA, T.G.F., MONTENEGRO, S.M.G.L. 2024. Soil moisture and hydrological processes dynamics under climate and land use changes in a semiarid experimental basin, Brazil, *Ecohydrology & Hydrobiology*, v. 24, n. 3, p. 681-697.
- MAGALHÃES, A.G., MONTENEGRO, A.A. DE A., ANDRADE, C.W.L. DE, MONTENEGRO, S.M.G.L., & FONTES JÚNIOR, R.V. DE P. 2018. Hydrological modeling of an experimental basin in the semiarid region of the Brazilian State of Pernambuco. *Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal of Applied Science*, v. 13, n. 6, p. 1-19.
- MARENGO, J.A. 2011. Climate change. Extreme meteorological conditions and climate events in Brazil (in Portuguese). In: *Mudanças climáticas e eventos extremos no Brasil* (s/d).
- MAPBIOMAS. 2021. Projeto de mapeamento anual da cobertura e uso do solo do Brasil – Coleção 7.
- MEDEIROS, S.S., GALVÃO, C.O. 2012. Recursos hídricos em regiões semiáridas. Campina Grande, PB: Instituto Nacional do Semiárido, Cruz das Almas, BA: Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, p. 2-27.
- MELO, A.C.A., ALBUQUERQUE, L.B., VILELA, M.F. 2021. Relação do uso e da ocupação do município de Águas Lindas e seus impactos ambientais. *Revista Brasileira de Geografia Física* v. 14, n. 02, p. 634-649.

MEYER, W.B., TURNER, B.L. 1996. Land-Use/Land-Cover change: challenges for geographers. *GeoJournal*, v. 39, n. 3, p. 237-240.

MOLDAN, B., CERNÝ, J. 1994. *Biogeochemistry of Small Catchments: A Tool for Environmental Research*. New York: John Wiley & Sons.

MONTENEGRO, A.A.A., LOPES, I., DE CARVALHO, A.A., DE LIMA, J.L.M.P., DE SOUZA, T.E.M.S., ARAÚJO, H.L., LINS, F.A.C., ALMEIDA, T.A.B., MONTENEGRO, H.G.L.A. 2019. Spatio temporal soil moisture dynamics and runoff under different soil cover conditions in a semiarid representative basin in Brazil. *Adv. Geosci.* v. 48, p. 19-30.

MONTENEGRO, A.A.A., MONTENEGRO, S.M.G.L. Olhares sobre as políticas públicas de recursos hídricos para o semiárido. In: GHYEI, H. R.; PAZ, V. P. S.;

MOREIRA, T.R., SANTOS, A.R., DALFI, R.L., CAMPOS, R.F., SANTOS, G.M.A.D.A, EUGÊNIO, F.C. 2015. Confronto do uso e ocupação da terra em APPs no Município de Muqui, ES. *Floresta e Ambiente*, v. 22, p, 141-152.

NÄSCHEN, K., DIEKKRÜGER, B., LEEMHUIS, C., SEREGINA, L., VAN DER LINDEN, R. 2019. Impact of Climate Change on Water Resources in the Kilombero Catchment in Tanzania. *Water*. v. 11, n. 859, p.10.

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* v. 8, p. 72-93.

NEITSCH, S.L., ARNOLD, J.G., KINIRY, J.R., WILLIAMS, J.R. 2011. *Soil and Water Assessment Tool: Theoretical documentation - version 2009*. Temple: Texas A&M University, 618 p.

OBAHOUNDJE, S., OFOSU, E.A., AKPOTI, K., KABO-BAH, A.T. 2017. Land Use and Land Cover Changes under Climate Uncertainty: Modelling the Impacts on Hydropower Production in Western Africa. *Hydrology*, v. 4, n. 2, p. 1-25.

OLIVEIRA, V. A., MELLO, C. R., VIOLA, M. R., & SRINIVASAN, R. 2018. Land-use change impacts on the hydrology of the upper Grande river basin, Brazil. *Cerne*, v. 24, p. 334-343.

- OLIVEIRA, VA DE, MELLO, CR DE, VIOLA, MR, & SRINIVASAN, R. 2018. Impactos das mudanças no uso e cobertura da terra na hidrologia da bacia do alto rio grande, Brasil. *Cerne*, v. 24, n. 4, p. 334-343.
- PALÁCIO, H.A.Q. 2011. Avaliação energética de microbacias hidrográficas do Semiárido submetidas a diferentes manejos. 150 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.
- PASSOS, F.O., DA SILVA, B.C., & DAS GRAÇAS BRAGA DA SILVA, F. 2021. Avaliação de Impactos de Mudanças no Uso e Manejo do Solo Sobre as Vazões da Bacia Hidrográfica do Ribeirão José Pereira, Utilizando o Modelo Swat. *Revista Brasileira De Geografia Física*, v. 14, n. 2, p. 619–633.
- PEREIRA, L. H., PINTO, S.A.F. Utilização de imagens aerofotográficas no mapeamento multitemporal do uso da terra e cobertura vegetal na Bacia do Rio Corumbataí SP, com suporte de sistemas de informações geográficas. *Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 1321-1328
- PIELOU, E.C. 1998. *Freshwater*. Chicago: The University of Chicago Press, p. 275.
- PINTO, L.C., MELLO, C.R., OWENS, P.R., NORTON, L.D., CURI, N. 2015. Role of Inceptisols in the Hydrology of Mountainous Catchments in Southeastern Brazil. *Journal of Hydrologic Engineering*, v. 21, n. 2, p. 05015017.
- PRESS, P., SIEVER, R., GROTZINGER, J., JORDAN, T.H. 2006. *Para entender a Terra*. 4 ed. Porto Alegre: Bookman.
- PRITCHETT, W.L. 1979. *Properties and Management of Forest Soils*. John Wiley, New York, p. 500.
- RÊGO, J.C., GALVÃO, C.O., RIBEIRO, M.M.R., ALBUQUERQUE, J.P.T., NUNES, T.H.C. 2015. A crise de abastecimento de Campina Grande: Atuações dos gestores, usuários, poder público, imprensa e população in *Anais do XXI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*, Brasília, nov. 2015, p. 1-8.
- RENNÓ, C.D.; SOARES, J.V. 2000. *Modelos Hidrológicos para Gestão Ambiental*. Relatório técnico parcial. Cachoeira Paulista, INPE.

RIBEIRO, G.F. 2021. Aplicação do modelo SWAT na análise dos componentes do balanço hídrico em diferentes usos e cobertura da terra na bacia hidrográfica do Ribeirão das Antas, Minas Gerais" (Doutorado), Instituto de Geociências. p. 1-96.

SANTOS, A. L.C., SANTOS, F. 2010. Mapeamento das classes de uso e cobertura do solo da bacia hidrográfica do Rio Vaza –Barris, Sergipe.Revista Multidisciplinar da UNIESP: Saber Acadêmico, São Paulo, n. 10, p. 57-67.

SANTOS, C.A.G., SUZUKI, K., WATANABE, M., & SRINIVASAN, V. 2000. Influência do tipo da cobertura vegetal sobre a erosão no semi-árido Paraibano. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 4, n. 1, jan./abr.

SÃO MIGUEL, A. E., MEDEIROS, R. B., BRUGNOLLI, C. A. C., & DE OLIVEIRA, W. 2013. Análise do Uso da Terra e Cobertura Vegetal na Bacia do Ribeirão do Meio, Brasilândia/MS (Analysis of the use of the Land and Vegetal Covering in the Basin of the Ribeirão do Meio, Brasilândia/MS). Revista Brasileira De Geografia Física, v. 5, n.5, p. 1088–1098.

SCHUMANN, S., SCHMALZ, B., MEESENBURG, H., SCHRÖDER, U. 2010. Status and perspectives of hydrology in small basins. Results of the international workshop in GoslarHahnenklee, 2009 and Inventory of Small Hydrological Research Basins. IHP/HWRPBerichte 10, Koblenz, Germany.

SEABRA, V., XAVIER, R.A., DAMASCENO, J., DORNELLAS, P.D.C. 2014. Mapeamento do uso e cobertura do solo da bacia do rio Taperoá: região semiárida do Estado da Paraíba. Caminhos de Geografia, v. 15, n. 50, p. 127-137.

SERPA, D., NUNES, J.P., SANTOS, J., SAMPAIO, E., JACINTO, R., VEIGA, S., LIMA, J.C., MOREIRA, M., CORTE-REAL, J., KEIZER, J.J., ABRANTES, N. 2015. Impacts of climate and land use changes on the hydrological and erosion processes of two contrasting Mediterranean catchments. Science of The Total Environment v. 538, p. 64-77.

SILVA, A. M. 1997. Bacias hidrográficas. Material didático. UFLA/ DEG.

SILVA, G. J. F. da. 2020. Modelagem dos componentes do balanço hídrico e monitoramento da seca em bacia hidrográfica no bioma caatinga. 2020. 181 F. Tese (Doutorado em Engenharia Civil e Ambiental) – Programa de PósGraduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa.

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. *Glob. Ecol. Conserv.* v. 21, p. 00811.

SILVA, V.P.R., SILVA, M.T., BRAGA, C.C., SINGH, V.P., SOUZA, E.P., SOUSA, F.A.S., HOLANDA, R.M., ALMEIDA, R.S.R., & BRAGA, A.C.R. 2018a. Simulation of stream flow and hydrological response to land-cover changes in a tropical river basin. *Catena*, v. 162, p. 166-176.

SILVA, V.P.R., SILVA, M.T., SINGH, V.P., SOUZA, E.P., BRAGA, C.C., DE HOLANDA, R.M., ALMEIDA, R.S.R., SOUSA, F.A.S., BRAGA, A.C.R. 2018. Simulation of stream flow and hydrological response to land-cover changes in a tropical river basin. *Catena (Amst)* v. 162, p. 166-176.

SILVEIRA, A.L.L. 2000. Ciclo hidrológico e bacia hidrográfica. In: TUCCI, C. E. M. *Hidrologia – Ciência e Aplicação*. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, p. 35-51.

SOUSA, W.S., VIANA, J.F.S., SILVA, R.R., IRMÃO, R.A. 2018. Estimativa do balanço hídrico de uma sub-bacia da Bacia Hidrográfica do Rio Ipanema com o Modelo SWAT. *Journal of Environmental Analysis and Progress* v. 3, p. 146-154.

TEIXEIRA, L.F.C. 2017. Análise de Sensibilidade de Parâmetros do Modelo Hidrológico Swat em Função de Diferentes Características de Bacias Hidrográficas. Dissertação (Mestrado). Vitória, UFES.

TUCCI, C.E.M. (Org.). 1997. *Hidrologia: ciência e aplicação*. 2. ed. São Paulo: EDUSP.

TUCCI, C.E.M., CLARKE, R.T. 1997. Impacto das mudanças da cobertura vegetal no escoamento: revisão. In: *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 2, n. 1, p. 135-152.

VIOLA, M.R., MELLO, C.R., BESKOW, S., NORTON, L.D. 2014. Impacts of Land-use Changes on the Hydrology of the Grande River Basin Headwaters, Southeastern Brazil. *Water Resources Management*, v. 28, n. 13, p. 4537-4550.

WAGNER, P.D., BHALLAMUDI, S.M., NARASIMHAN, B., KANTAKUMAR, L.N., SUDHEER, K.P., KUMAR, S., SCHNEIDER, K., FIENER, P. 2015. Dynamic integration of land use changes in a hydrologic assessment of a rapidly developing Indian catchment. *Science of The Total Environment* v. 539, p. 153-164.

WANDERLEY, L.S.A. 2016. Climatologia como ferramenta de planejamento agrário na bacia hidrográfica do Rio Taperoá. Dissertação (Mestrado). Recife, Universidade Federal de Pernambuco.

WILLIAMS, J.R. 1969. Flood routing with variable travel time or variable storage coefficients. *Trans. ASAE*, v. 12, n. 1, p. 100-103.

WINCHELL, M., SRINIVASAN, R., DI LUZIO, M., ARNOLD, J. 2013. ArcSWAT Interface for SWAT 2012. User's Guide. Blackland Research and Extension Center. Grassland, Soil and Water Research Laboratory.

ZHANG, L., NA, Z., XU, Y., LI, S. 2016. Hydrological impacts of land use change and climate variability in the headwater region of the Heihe river basin, Northwest China. *Plos One*, v. 11, n.6, p. 1-25.

ZUQUETTE, L.V., RODRIGUES, V.G., PEJON, O.J. 2013. Recuperação de áreas degradadas. In: CALIJURI, M. do C.; CUNHA, D. G. F. *Engenharia ambiental: conceitos, tecnologias e gestão*. Rio de Janeiro: Elsevier. p. 589-617.