



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO SERTÃO
PERNAMBUCANO
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA CIVIL
CAMPUS SERRA TALHADA**

THIAGO ALVES DE AQUINO SANTOS

**ANÁLISE DE DRENAGEM URBANA EM MICROESCALA: UMA
MODELAGEM HIDROLÓGICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DE
SERRA TALHADA-PE EM DIFERENTES CENÁRIOS DE ÁREAS
VERDES**

SERRA TALHADA

2025

THIAGO ALVES DE AQUINO SANTOS

**ANÁLISE DE DRENAGEM URBANA EM MICROESCALA: UMA MODELAGEM
HIDROLÓGICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DE SERRA TALHADA-PE EM
DIFERENTES CENÁRIOS DE ÁREAS VERDES**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Bacharelado em
Engenharia Civil do Instituto Federal de
Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão
Pernambucano, campus Serra Talhada, com
requisito parcial à obtenção do título de
Bacharelado em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Me. Kleyton Michell
Nunes de Souza

**SERRA TALHADA
2025**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

S237 Santos, Thiago Alves de Aquino.

Análise de drenagem urbana em microescala: uma modelagem hidrológica da bacia hidrográfica de Serra Talhada-PE em diferentes cenários de áreas verdes / Thiago Alves de Aquino Santos. - Serra Talhada, 2025.
77 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) -Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, Campus Serra Talhada, 2025.

Orientação: Prof. Msc. Kleyton Michell Nunes de Souza.

1. Engenharia civil. 2. Drenagem urbana. 3. Áreas verdes. 4. Sensoriamento remoto. I. Título.

CDD 624

**ANÁLISE DE DRENAGEM URBANA EM MICROESCALA: UMA MODELAGEM
HIDROLÓGICA DA BACIA HIDROGRÁFICA DE SERRA TALHADA-PE EM
DIFERENTES CENÁRIOS DE ÁREAS VERDES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Coordenação do curso de Engenharia Civil do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sertão Pernambucano, campus Serra Talhada, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em: 07/02/2025.

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
 **KLEYTON MICHELL NUNES DE SOUZA**
Data: 11/03/2025 11:25:17 -0300
Verifique em <https://validar.if.gov.br>

Prof. Me. Kleyton Michell Nunes de Souza (Orientador)
IFSertãoPE _ Campus Serra Talhada

Vitor Hugo de Oliveira
Barros: 10208832432
Digitally signed by Vitor Hugo de Oliveira Barros.10208832432
Date: 2025.03.11 11:08:17 -0300

Prof. Me. Vitor Hugo de Oliveira Barros (Membro Interno)
IFSertãoPE _ Campus Serra Talhada

Documento assinado digitalmente
 **MAYARA NATIELY DA SILVA BESERRA**
Data: 11/03/2025 09:48:58 -0300
Verifique em <https://validar.if.gov.br>

Prof. Me. Mayara Natiely da Silva Beserra
UniFIS (Membro Externo)

SERRA TALHADA

2025

DEDICATÓRIA

*Àqueles que acreditaram em meu potencial,
vontade de vencer e nunca me deixaram cair em
momentos difíceis. Este trabalho é em homenagem a
todos os profissionais que passaram por minha
jornada e a minha família.*

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus por todas as coisas que me permitiu viver e sentir, pela oportunidade de estar aqui e ter condições da elaboração deste trabalho. Além disso, lembrar o quão aliviante foi dividir o processo com meus amigos, em especial, Ruan Pinheiro e Gláuber Ferreira, que contribuíram indiretamente para que o dia de hoje fosse possível. Também, mencionar a honra de ter sido orientado por Suzano Guimarães, Emanuely Trindade, Vitor Hugo, Victor Gabriel e, em especial, Kleyton Michell, pela paciência, confiança e amizade desde 2017 até o presente momento. Agradecer, principalmente a minha família, em especial minha mãe, que abdicou de muitas coisas para que eu pudesse continuar frequentando à escola e nos momentos difíceis não me deixou desistir. Acredito que este é um passo importante na minha jornada como engenheiro civil e Todos vocês foram extremamente importantes e tiveram uma contribuição inestimável na minha jornada. Obrigado por terem tornado o processo mais leve.

RESUMO

A urbanização no Sertão Pernambucano altera significativamente a dinâmica hidrológica das bacias urbanas, influenciando o escoamento superficial e a capacidade de infiltração do solo. A impermeabilização do solo, resultante da expansão urbana, pode intensificar a vazão de pico e reduzir a recarga hídrica subterrânea, tornando o manejo das águas pluviais um desafio para o planejamento urbano sustentável. Diante desse contexto, este estudo tem como objetivo analisar, em microescala, os impactos da ampliação de áreas verdes na dinâmica hidrológica da bacia hidrográfica de Serra Talhada-PE. A pesquisa baseia-se em modelagem hidrológica utilizando o software HEC-HMS, aliado a técnicas de geoprocessamento para a delimitação da bacia e a caracterização da cobertura do solo. Inicialmente, foram coletados e processados dados topográficos e de uso do solo, permitindo a parametrização do modelo hidrológico e a definição de um evento de precipitação de chuva convectiva. Foram simulados dois cenários de permeabilidade: um inicial, com 90% de área impermeável, e outro com um acréscimo de 10% de áreas verdes, representando uma estratégia de mitigação dos impactos hidrológicos da urbanização. Os hidrogramas gerados possibilitam a análise comparativa entre os cenários, permitindo avaliar o efeito da redução da impermeabilização sobre a resposta hidrológica da bacia. Os resultados indicam que a ampliação das áreas verdes pode estar associada a alterações na distribuição do escoamento superficial, com potencial para reduzir picos de vazão e aumentar a infiltração. A pesquisa contribui para o entendimento da influência da cobertura vegetal na drenagem urbana, fornecendo subsídios para estratégias de planejamento territorial voltadas à mitigação de impactos hidrológicos em ambientes urbanizados no semiárido.

Palavras-chave: drenagem urbana; modelagem hidrológica; áreas verdes.

ABSTRACT

Urbanization in the Sertão Pernambucano significantly alters the hydrological dynamics of urban basins, influencing surface runoff and the soil's infiltration capacity. Soil impermeabilization, resulting from urban expansion, can intensify peak flow and reduce groundwater recharge, making stormwater management a challenge for sustainable urban planning. In this context, this study aims to analyze, at a micro scale, the impacts of increasing green areas on the hydrological dynamics of the Serra Talhada-PE watershed. The research is based on hydrological modeling using the HEC-HMS software, combined with geoprocessing techniques for basin delimitation and land cover characterization. Initially, topographic and land use data were collected and processed, allowing the parameterization of the hydrological model and the definition of a convective rainfall event. Two permeability scenarios were simulated: one initial, with 90% impermeable area, and another with a 10% increase in green areas, representing a strategy to mitigate the hydrological impacts of urbanization. The generated hydrographs allow for a comparative analysis between the scenarios, enabling the evaluation of the effect of reduced impermeabilization on the basin's hydrological response. The results indicate that increasing green areas may be associated with changes in the distribution of surface runoff, with the potential to reduce peak flow and enhance infiltration. The research contributes to understanding the influence of vegetation cover on urban drainage, providing support for territorial planning strategies aimed at mitigating hydrological impacts in urbanized environments in semi-arid regions.

Keywords: Urban drainage; Hydrological modeling; Green areas.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Componentes do ciclo hidrológico	20
Figura 2 - Representação de uma bacia hidrográfica e uma das suas sub-bacias ...	21
Figura 3 - Consequências do Aumento Da Urbanização	23
Figura 4 - Chuvas 01/2025 Serra Talhada	24
Figura 5 - Alagamento Serra Talhada	25
Figura 6 - Modelo de Hidrograma tipo.....	29
Figura 7 - Área de Estudo	37
Figura 8 - MDE Serra Talhada	38
Figura 9 - Fluxograma das Etapas da Pesquisa.....	40
Figura 10 - Curvas de Nível Serra Talhada - 1:25000.....	41
Figura 11 - Bacia gerada no HEC-HMS	44
Figura 12 - Sub-bacia de estudo	45
Figura 13 - Maps Sub-bacia	46
Figura 14 - Sub-Bacia ampliado	47
Figura 15 - Parâmetros Sub-Bacia Estudada.....	48
Figura 16 - Delimitação Bacia Inteira	49
Figura 17 - Sub-bacia Estudada.....	50
Figura 18 - Produtos GCN250.....	53
Figura 19 - Cálculo perdas iniciais	55
Figura 20- Parâmetros de Perda	55
Figura 21 - Lag Time Obtido.....	58
Figura 22 - Códigos das classes Coleção 9 MapBiomas	59
Figura 23 - Ocupação e uso do solo 2023	60
Figura 24 - Ocupação do Solo 2013.....	61
Figura 25 - Parâmetros do Evento	62
Figura 26 - Pluviograma Simulado	64
Figura 27 – Permeabilidades analisadas	65
Figura 28 - Hidrograma 80% Impermeabilizada	66
Figura 29 - Hidrograma 90% Impermeabilizada	66
Figura 30 - 90% da Área Impermeabilizada	67
Figura 31 - 80% da Área Impermeabilizada	67

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Equação Tempo de Concentração de Kirpich	30
Equação 2 - Precipitação Efetiva	35
Equação 3 - Retenção Potencial Máxima	54
Equação 4 - Tempo de defasagem	56
Equação 5 - Método Kirpich	57
Equação 6 - Método Kirpich	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Curve Number - CN em função da cobertura do Solo.....	34
Tabela 2 - Tipos de Solo	35
Tabela 3 - Fórmulas de tempo de concentração avaliadas por Silveira	57
Tabela 4 - Uso e ocupação do Solo 2023	60
Tabela 5 - Área Impermeabilizada	61
Tabela 6 - Áreas permeáveis 2013	62
Tabela 7 - Precipitação Simulada.....	62

LISTA DE ABREVIATURAS

HEC-HMS - Hydrologic Modeling System
HEC-RAS - Hydrologic Engineering Center – River Analysis System
IPA - Instituto Agronômico de Pesquisa
DEM - Modelo Digital de Elevação
QGIS - Quantum Geographic Information System
SIG - Sistema de Informação Geográfica
SCS - Soil Conservation Service
CN - Curve Number
ARC - Antecedent Runoff Conditions
GCN250 - Global Curve Number Dataset
INMET - Instituto Nacional de Meteorologia
APAC - Agência Pernambucana de Águas e Clima
MDE - Modelo Digital de Elevação
WGS - World Geodetic System
UTM - Universal Transversa de Mercator
EPSG - European Petroleum Survey Group
SIRGAS - Sistema de Referência Geocêntrico para a América do Sul
GRASS - Geographic Resources Analysis Support System
USDA - United States Department of Agriculture
MDT - Modelo Digital do Terreno

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	Contextualização do problema	15
1.2	Justificativa	17
1.3	Objetivos	17
1.3.1	Objetivo geral	18
1.3.2	Objetivos específicos	18
2	REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1	Ciclo hidrológico	19
2.2	Bacia hidrográfica	20
2.3	Urbanização e inundações	22
2.4	Importância das áreas verdes na dinâmica hidrológica	25
2.5	Áreas verdes e espaços livres: conceitos e diferenças	27
2.6	Parâmetros do escoamento superficial	28
2.7	Modelagem hidrológica e uso do hec-hms	30
2.8	Uso de geoprocessamento na delimitação de bacias hidrográficas	31
2.9	Método SCS	32
3	METODOLOGIA	35
3.1	Caracterização da área de estudo	36
3.2	Modelo digital de elevação (MDE)	37
3.3	Coleta e processamento de dados topográficos	38
3.4	Delimitação da bacia hidrográfica no HEC-HMS	42
3.5	Sub-bacia de estudo	44
3.6	Parametrização do modelo hidrológico no HEC-HMS	48
3.6.1	Características da sub-bacia	50
3.6.2	Escolha do CN	52

3.6.3	Definição dos parâmetros de escoamento: método SCS unit hydrograph ...	55
3.6.4	Zona impermeável	58
3.6.5	Evento simulado	62
3.6.6	Precipitação simulada.....	62
3.6.7	Simulação hidrológica e cenários analisados	64
3.6.8	Geração e análise dos hidrogramas	65
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	65
4.1	Hidrogramas gerados e análise comparativa	66
4.2	Influência das áreas verdes na resposta hidrológica.....	68
4.3	Implicações para o planejamento urbano sustentável.....	69
5	CONCLUSÃO.....	70
5.1	Considerações finais.....	70
5.2	Limitações do estudo	70
5.3	Sugestões para pesquisas futuras	71
	REFERÊNCIAS.....	71-77

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização do problema

Nas últimas décadas, a expansão urbana e a consequente redução das áreas rurais provocaram um aumento considerável na impermeabilização dos solos. Segundo Mano (2008), essa transformação na ocupação e uso da terra tem gerado alterações significativas no ciclo hidrológico, tornando o desenvolvimento de habitats urbanos equilibrados um desafio frente ao crescimento desordenado.

As áreas verdes desempenham um papel essencial na manutenção da qualidade ambiental das cidades, pois funcionam como um contraponto à expansão das superfícies impermeabilizadas. Esses espaços, que são previstos como obrigatórios pelo Código Municipal de Defesa do Meio Ambiente do município de Serra Talhada, servem de indicativo para a avaliação ambiental urbana, e sua ausência pode comprometer a qualidade do meio ambiente urbano.

A carência de arborização, por exemplo, pode resultar em desconforto térmico e provocar mudanças no microclima local. Além disso, a falta desses espaços, que também cumprem funções de lazer e recreação, impacta negativamente a qualidade de vida da população (LIMA E AMORIM, 2006).

A presença de vegetação não só melhora o ambiente urbano em termos de estética e funcionalidade, mas também contribui para o bem-estar dos habitantes, ao complementar serviços públicos como educação, cultura e infraestrutura, promovendo um ambiente mais saudável e agradável (LIMA E AMORIM, 2006).

Dentro dos serviços ecossistêmicos, as áreas verdes têm um papel fundamental na modulação do escoamento superficial – o movimento das águas pluviais sobre a superfície. A cobertura vegetal atua na redução da velocidade desse escoamento por interceptação, o que é crucial para minimizar os riscos de processos erosivos. Estudos indicam que a remoção de vegetação pode acelerar o escoamento e, conseqüentemente, aumentar a erosão em diferentes escalas (Bias et al., 2012; Santos e Lollo, 2016; Quagliolo, Comino e Pezzoli, 2021).

Além disso, o escoamento superficial em ambientes urbanos tende a ocorrer com maior facilidade e intensidade, dependendo de fatores ambientais como as características pedológicas e geológicas, a declividade e a forma das encostas, bem

como as condições do regime de chuvas. As intervenções antrópicas, como o desmatamento, aterros inadequados, concentração de águas pluviais, vazamentos na rede de abastecimento e a disposição incorreta de resíduos, agravam esse fenômeno (Girão, 2007).

O entendimento do comportamento hidrológico possibilita a investigação das características ecológicas associadas ao regime de vazões, bem como das inter-relações influenciadas por esse regime, contribuindo para a compreensão da estrutura e do funcionamento dos ecossistemas. No entanto, além de analisar o estado atual do ecossistema, torna-se fundamental a capacidade de prever seu comportamento futuro diante de potenciais impactos decorrentes de atividades antrópicas, bem como em cenários de variabilidade climática, os quais podem intensificar os efeitos das intervenções humanas (PAZ et al, 2010).

As transformações nas bacias hidrográficas, decorrentes da expansão urbana desorganizada, acarretam uma série de complicações associadas à drenagem das águas pluviais. Esse processo de urbanização desordenada resulta na impermeabilização dos solos, supressão da cobertura vegetal, ocupação inadequada das áreas de várzeas fluviais, implantação de infraestrutura viária em regiões de fundo de vale, além de contribuir para processos erosivos, assoreamento dos corpos hídricos, acúmulo de resíduos sólidos e contaminação ambiental. Assim, faz-se necessário a utilização de instrumentos capazes de conhecer a dinâmica desses sistemas, além de criar condições técnicas que possam servir de suporte à tomada de decisões (NEVES, 2019).

Segundo o G1 (2025), municípios do interior de Pernambuco receberam um alerta laranja, classificado como grau de severidade de perigo devido à previsão de chuvas intensas para o dia 4 de fevereiro de 2025. Esse nível de alerta indica riscos significativos associados a precipitações volumosas e ventos fortes.

Em Serra Talhada, cidade localizada no sertão pernambucano, onde o clima é predominantemente semiárido, caracterizado por temperaturas elevadas e baixos índices pluviométricos ao longo do ano, a estimativa de precipitação aponta para valores entre 30 e 60 mm/h ou 50 e 100 mm/dia. Além disso, os ventos podem atingir velocidades entre 60 e 100 km/h, representando um risco adicional para a população e infraestrutura local. O alerta permanece válido até as 10h da quinta-feira (6), período em que as condições climáticas adversas ainda podem persistir.

Com a previsão de chuvas intensas e o histórico de alagamentos, Serra Talhada é uma cidade com nítidos problemas de drenagem. Como noticiado pelo Farol de Notícias (2020), de acordo com o Instituto Agrônomo de Pesquisa (IPA) choveu 149,5 mm em uma madrugada, causando alagamentos por pontos da cidade, incluindo o Centro, onde segundo os moradores, a tubulação não suporta um volume mínimo de água.

Essas transformações evidenciam a necessidade de políticas urbanas que promovam a integração de áreas verdes no planejamento das cidades. A manutenção e ampliação desses espaços são estratégias fundamentais para amenizar os impactos negativos do escoamento superficial excessivo, contribuindo para um ambiente urbano mais resiliente e sustentável.

Além disso, é nítido a necessidade de entender como ocorre o processo de drenagem na Sub-bacia urbana de Serra Talhada, a fim de amenizar os impactos causados por chuvas de grande intensidade.

O emprego de ferramentas computacionais pode contribuir significativamente para estudos de planejamento urbano, auxiliando os gestores públicos na tomada de decisões ao fornecer dados e informações essenciais para o zoneamento de planícies de inundação, a elaboração de projetos de drenagem urbana, a implementação de sistemas de alerta e o planejamento do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica (PERCHÉ, 2015).

1.2 Justificativa

De acordo com Baptista, Nascimento e Barraud (2005), o processo de urbanização inevitavelmente provoca transformações expressivas no meio ambiente e nos ciclos hidrológicos, por meio da intervenção direta nos cursos d'água e nas superfícies das bacias hidrográficas.

A seleção do modelo de simulação hidrológica HEC-HMS para a execução deste estudo justifica-se por sua ampla aplicação bem-sucedida, conforme documentado em diversos trabalhos científicos realizados em bacias hidrográficas brasileiras, aliada à sua disponibilidade gratuita e de uso livre, à interface de utilização acessível e ao razoável nível de realismo hidrológico incorporado em sua estrutura.

1.3 Objetivos

1.

1.1.

1.2.

1.3.

1.3.1 OBJETIVO GERAL

Analisar impactos da ampliação de áreas verdes sobre a dinâmica hidrológica da bacia hidrográfica de Serra Talhada-PE, por meio de modelagem hidrológica e geoespacial, a fim de contribuir para o planejamento urbano sustentável e a gestão de águas pluviais na região.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Delimitar a bacia hidrográfica de Serra Talhada-PE e caracterizar a área de estudo por meio de dados topográficos e de uso do solo;
- Processar e preparar os dados de entrada necessários para a modelagem hidrológica utilizando o software HEC-HMS;
- Realizar simulações hidrológicas em dois cenários de permeabilidade;
- Comparar a variação de volume de escoamento superficial em dois cenários temporais (2013 e 2023) na Sub-bacia delimitada na região urbana de Serra Talhada;
- Analisar os hidrogramas gerados para os diferentes cenários e apresentar os efeitos da redução da impermeabilização na resposta hidrológica da bacia;
- Propor recomendações para a ampliação de áreas verdes como uma estratégia para a mitigação dos impactos hidrológicos em áreas urbanas no semiárido.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2

2.1

2.2

2.3

2.4

1

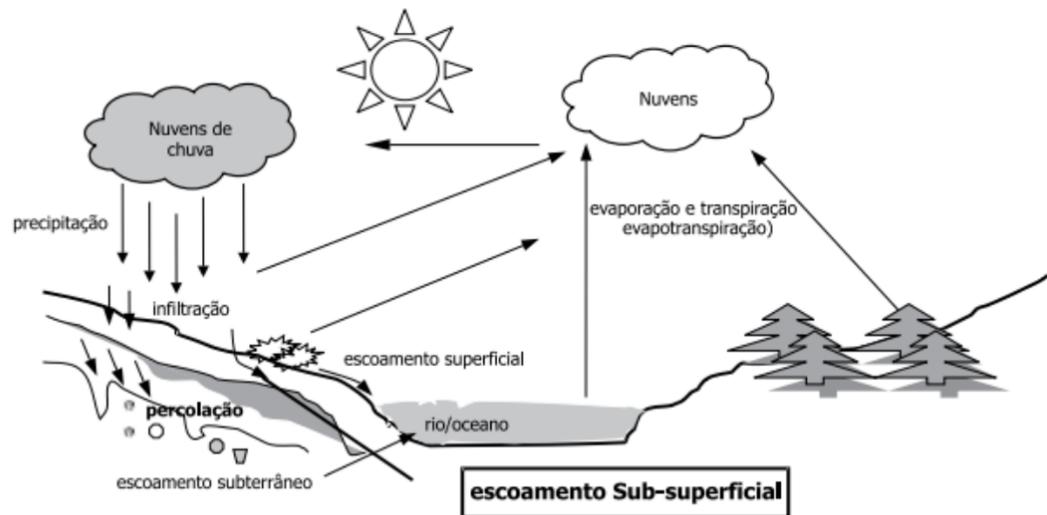
2

2.1 Ciclo hidrológico

A água manifesta-se na superfície terrestre por meio de uma diversidade de cursos hídricos, integrando-se a um ciclo dinâmico que abrange três estados físicos: sólido, líquido e gasoso. Contudo, para a espécie humana, o estado líquido assume primordial importância, uma vez que se configura como elemento indispensável para a sustentação da vida no planeta (TUNDISI, 2003).

O Ciclo Hidrológico consiste em uma sequência interligada de processos naturais, nos quais a água percorre um trajeto contínuo, partindo de um estágio inicial e retornando à sua condição original. Esse fenômeno global, caracterizado por uma circulação fechada da água entre a superfície terrestre e a atmosfera, é impulsionado, essencialmente, pela energia radiante, em associação com a força gravitacional e a rotação do planeta. Estima-se que aproximadamente 10% do vapor atmosférico total seja reciclado diariamente (MIRANDA; OLIVEIRA; SILVA, 2010).

Figura 1 - Componentes do ciclo hidrológico

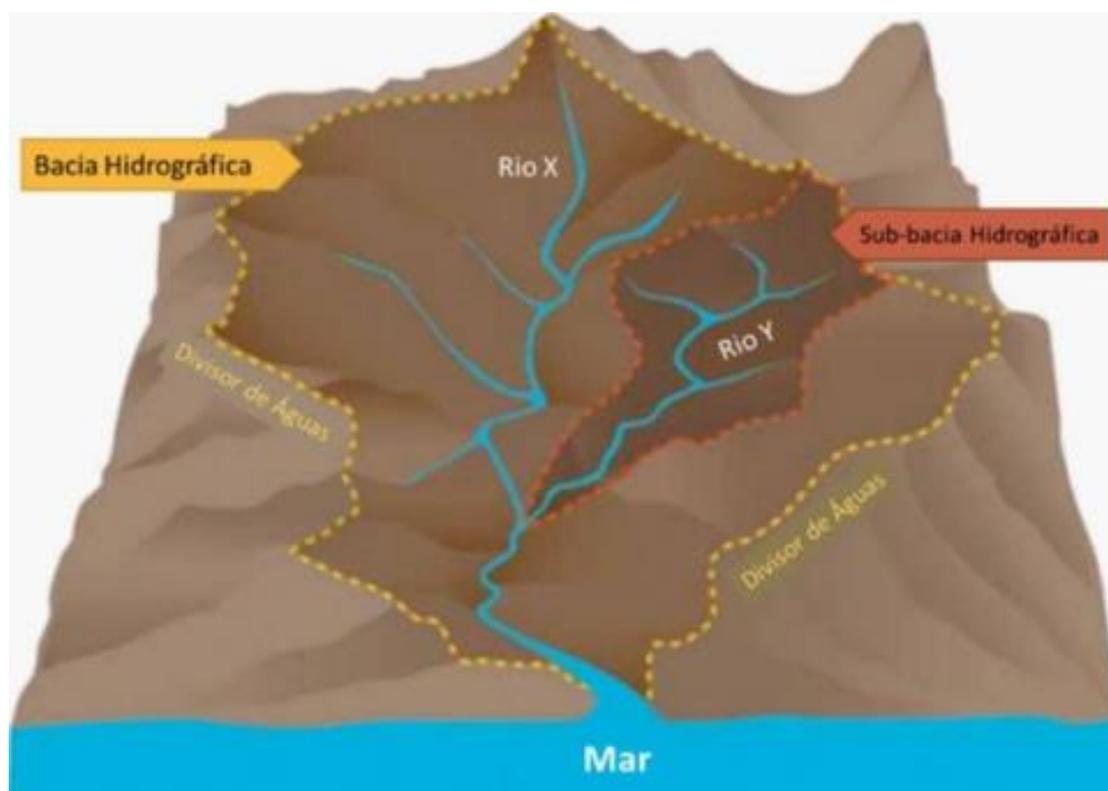


Fonte: (SCHIAVETTI e CAMARGO, 2002)

2.2 Bacia hidrográfica

A bacia hidrográfica constitui uma unidade territorial natural de captação das águas pluviais, direcionando o fluxo hídrico para um único ponto de descarga, denominado exultório (TUCCI, 2015). Do ponto de vista espacial, sua delimitação é estabelecida por um divisor topográfico, o qual corresponde a uma linha imaginária que percorre as elevações máximas do relevo (topos de morros), circundando uma rede de drenagem específica (SILVA, 2015).

Figura 2 - Representação de uma bacia hidrográfica e uma das suas sub-bacias



FREITAS, NUNES, et al., 2015

As sub-bacias hidrográficas são divisões menores dentro de uma bacia hidrográfica principal, desempenhando um papel fundamental na dinâmica do escoamento superficial e na gestão dos recursos hídricos. Uma bacia hidrográfica é uma área delimitada naturalmente pelo relevo, onde toda a água das chuvas converge para um único ponto de saída, como um rio principal, lago ou oceano. Dentro dessa bacia maior, existem diversas sub-bacias, cada uma drenando uma porção específica da região e contribuindo para o fluxo total de água do sistema (FULLER; COSTA; TEIXEIRA; TEODORO, 2007).

As sub-bacias são delimitadas por divisores topográficos menores e possuem suas próprias redes de drenagem, compostas por afluentes que alimentam rios principais. A interação entre as sub-bacias e a bacia hidrográfica ocorre de maneira hierárquica: a água escoada das áreas mais altas para os cursos d'água menores e, gradualmente, para os rios de maior porte, seguindo o gradiente natural do terreno. Esse processo influencia diretamente aspectos como o volume de água disponível, a qualidade da água e a suscetibilidade a eventos extremos, como inundações e secas. (PIROLI, 2022).

O exultório é o ponto de saída natural da água de uma bacia hidrográfica. Trata-se do local mais baixo do relevo da bacia, onde ocorre a concentração final do escoamento superficial, podendo ser representado, por exemplo, pelo encontro com outro curso d'água maior ou diretamente com um corpo receptor, como um rio principal, lago ou reservatório. Todo o comportamento hidrológico da bacia se organiza em função do caminho que a água percorre até esse ponto.

Outro termo recorrente é a drenagem dendrítica, que descreve um padrão de organização da rede de drenagem semelhante ao formato de galhos de uma árvore. Esse padrão ocorre em áreas onde o relevo apresenta pouca variação e o substrato geológico é relativamente homogêneo, permitindo que os cursos d'água se formem de maneira ramificada, sem grandes obstáculos naturais. Esse é o padrão mais comum em bacias localizadas em regiões de clima semiárido, como ocorre na bacia hidrográfica do Rio Pajeú, onde está inserida a sub-bacia deste estudo.

Além desses, outros conceitos importantes incluem a área de drenagem, que corresponde à superfície total que contribui com o escoamento para o exultório, e a rede de drenagem, formada pelo conjunto de todos os cursos d'água, naturais ou artificiais, que coletam e conduzem as águas pluviais dentro da bacia.

2.3 Urbanização e inundações

É válido diferenciar conceitos utilizados de maneira indevida, dada sua similaridade. Embora possuam processos semelhantes, inundações e alagamentos possuem conceitos diferentes. Portanto, é necessário entender o que diferencia ambos os processos.

A inundação ocorre quando as águas de um curso d'água ultrapassam os limites do leito, atingindo a planície de inundação ou áreas de várzea adjacentes. Já as enchentes, também chamadas de cheias, referem-se ao aumento do nível da água dentro do canal de drenagem devido a um acréscimo na vazão, alcançando a capacidade máxima do leito sem, no entanto, transbordar (AMARAL E RIBEIRO, 2009).

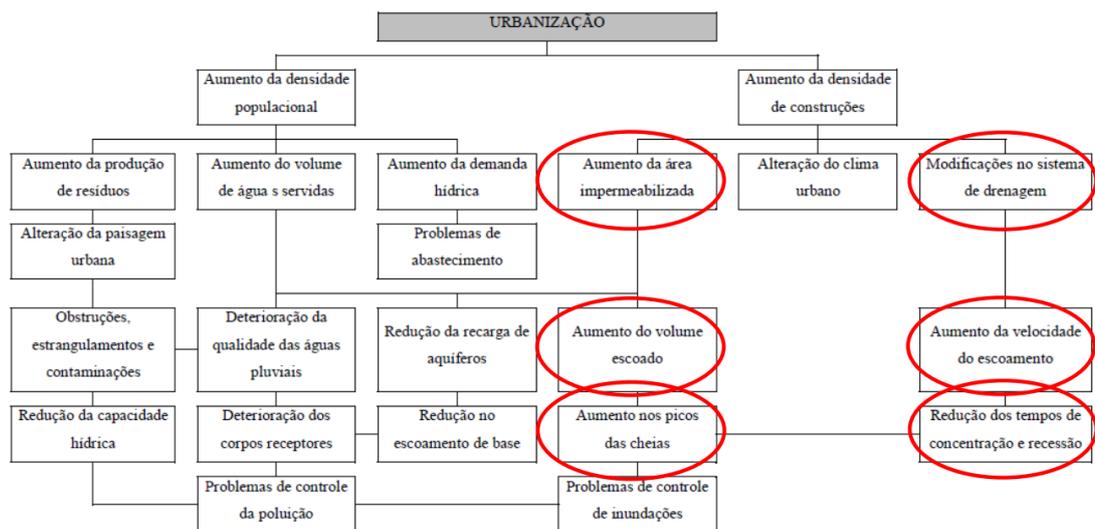
Ainda, para Amaral e Ribeiro (2009), o alagamento, por sua vez, caracteriza-se pelo acúmulo temporário de água em determinadas regiões, resultado da ineficiência ou insuficiência do sistema de drenagem na condução do escoamento. Por fim, a enxurrada consiste em um escoamento superficial intensificado e altamente

energético, capaz de transportar sedimentos e detritos. Esse fenômeno pode ocorrer tanto dentro quanto fora das áreas tradicionalmente influenciadas pelos processos fluviais.

Outro elemento que contribui para o incremento da frequência e magnitude dos eventos de inundação é o processo de impermeabilização do solo nas bacias de contribuição. Conforme a urbanização avança, observa-se uma elevação nas vazões máximas e na recorrência desses picos, em decorrência da redução da permeabilidade das superfícies (TUCCI, 1997).

Ademais, TUCCI (2001) ressalta que as inundações fluviais acarretam impactos profundos e multifacetados na vida da população, tais como: danos materiais e perdas humanas, interrupção das atividades econômicas nas áreas afetadas, proliferação de doenças de veiculação hídrica, como a leptospirose, e a contaminação dos recursos hídricos devido à inundação de depósitos de substâncias tóxicas, estações de tratamento de água e esgoto, entre outros.

Figura 3 - Consequências do Aumento Da Urbanização

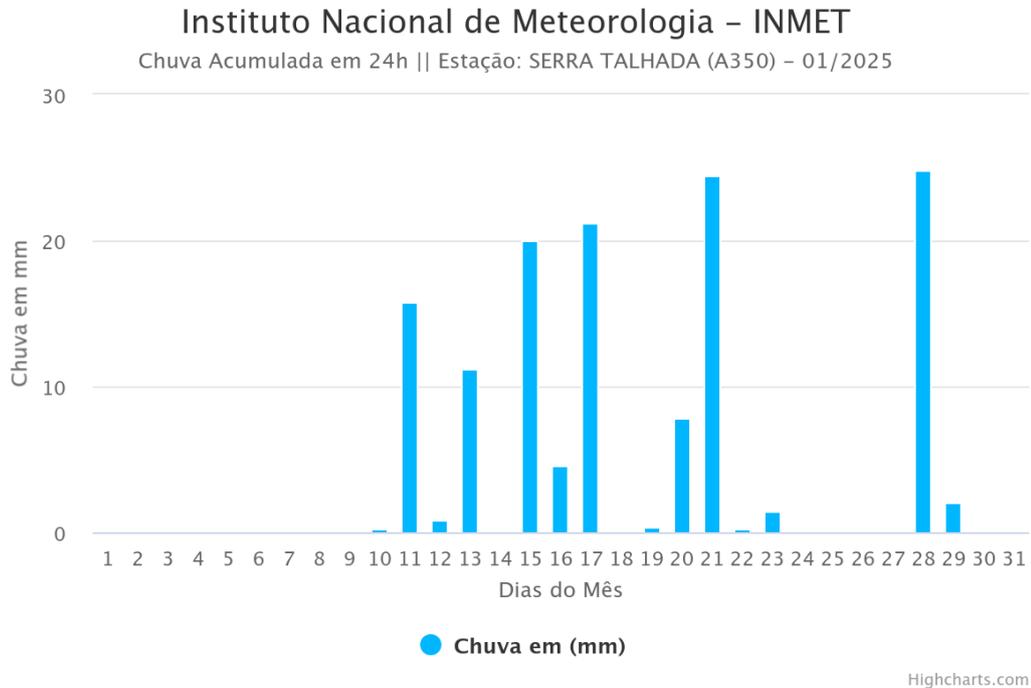


Fonte: Tucci, 1997 apud Nakazone, 2005

Vale ressaltar que a cidade de Serra Talhada - PE vivencia inundações recorrentemente em períodos de chuvas, sendo o evento mais recente em Janeiro de 2025. Segundo informações confirmadas pela Defesa Civil do município, em pouco mais de 40 minutos de chuvas, vários pontos da cidade foram prejudicados com alagamentos (G1, 2025).

Na figura 4, é possível notar o valor das precipitações ocorridas no mês de Janeiro em Serra Talhada. Para o evento em questão, foram precipitados aproximadamente 27 mm.

Figura 4 - Chuvas 01/2025 Serra Talhada



Fonte: INMET, 2025

Segundo a Defesa Civil, o volume de 27 mm corresponde a mais de 50% do volume esperado para todo o mês de dezembro, que é de 50,1 mm, de acordo com a média história da Agência Pernambucana de Águas e Clima (Apac).

Figura 5 - Alagamento Serra Talhada



Fonte: Farol de Notícias, 2025

2.4 Importância das áreas verdes na dinâmica hidrológica

As áreas verdes desempenham um papel fundamental na dinâmica hidrológica das cidades, atuando como elementos reguladores dos processos naturais de infiltração e escoamento superficial. A substituição da cobertura vegetal por superfícies impermeáveis, como asfalto e concreto, altera significativamente os padrões naturais de percolação das águas pluviais, intensificando o escoamento superficial e reduzindo a infiltração no solo. Esse fenômeno contribui para o desequilíbrio dos ecossistemas urbanos, aumentando a suscetibilidade a enchentes, processos erosivos e deslizamentos (AMORIM, 2001; CASTRO, 2020).

A vegetação urbana, além de proporcionar benefícios estéticos, recreativos e de qualidade de vida, atua como um agente mitigador dos impactos hidrológicos. A cobertura vegetal reduz a velocidade do escoamento superficial, favorecendo a infiltração da água no solo e diminuindo a carga de sedimentos transportados para os corpos hídricos (BIAS et al., 2012; SANTOS e LOLLO, 2016; QUAGLILOLO, COMINO e PEZZOLI, 2021). Essa função é especialmente relevante em áreas urbanas, onde a impermeabilização do solo e a concentração das águas pluviais em sistemas de

drenagem inadequados exacerbam os problemas relacionados ao escoamento superficial.

A remoção das áreas verdes, por outro lado, acelera o escoamento superficial, aumentando o risco de erosões de diferentes magnitudes e comprometendo a estabilidade do solo (CASTRO, 2020). Além disso, a ausência de vegetação nas cidades está associada a alterações climáticas locais, como o aumento das temperaturas e a redução da umidade relativa do ar, agravando ainda mais os desafios enfrentados pelos centros urbanos (LOBODA, 2003).

Estudos recentes destacam a importância das áreas verdes como provedoras de serviços ecossistêmicos, que sustentam a vida humana e promovem a resiliência urbana. Esses serviços incluem a regulação do ciclo hidrológico, a melhoria da qualidade do ar e a redução dos efeitos das ilhas de calor (MORALES-CERDAS et al., 2018; AMATOLOURENÇO et al., 2016). Em particular, a vegetação urbana contribui para a redução da velocidade do escoamento superficial, atenuando os impactos das chuvas intensas e favorecendo a recarga dos aquíferos.

Ferramentas de geoprocessamento têm sido amplamente utilizadas para analisar a influência das áreas verdes na dinâmica hidrológica. Pesquisas como as de Zhang et al. (2015), que avaliaram o impacto da vegetação no escoamento superficial em Pequim, e Sampaio, Cordeiro e Bastos (2016), que estudaram a bacia hidrográfica do Alto do Mundaú no Brasil, demonstram a eficácia dessas tecnologias na compreensão dos processos hidrológicos urbanos. No Recife, por exemplo, estudos utilizando geoprocessamento evidenciaram a relação entre a redução das áreas verdes e o aumento dos processos erosivos, reforçando a necessidade de planejamento urbano que integre a preservação da vegetação (OLIVEIRA et al., 2010).

Diante desse cenário, a preservação e a ampliação das áreas verdes nas cidades emergem como estratégias essenciais para o equilíbrio ambiental, social e econômico. A integração desses espaços na dinâmica urbana não apenas melhora a qualidade de vida da população, mas também contribui para a mitigação dos impactos hidrológicos decorrentes da urbanização desordenada. Portanto, o planejamento urbano deve considerar as áreas verdes como elementos fundamentais para a sustentabilidade das cidades, garantindo sua funcionalidade e resiliência frente aos desafios impostos pelas mudanças climáticas e pela expansão urbana acelerada.

2.5 Áreas verdes e espaços livres: conceitos e diferenças

A distinção entre áreas verdes e espaços livres é um ponto central no planejamento urbano e na gestão ambiental, pois ambos desempenham papéis fundamentais na qualidade de vida das cidades. No entanto, esses conceitos muitas vezes são utilizados de maneira equivocada como sinônimos, gerando confusão sobre suas funções e características.

De acordo com Arfelli (2004), as áreas verdes são caracterizadas pela continuidade e predominância da cobertura vegetal, diferenciando-se da arborização viária, que é apenas um elemento acessório. Essas áreas podem assumir diferentes formas, como praças, jardins e parques urbanos, mas não devem ser confundidas com espaços livres de construção ou áreas de lazer privadas, como clubes.

A falta de consenso nas definições desses termos é destacada por Bargas e Matias (2011), que apontam que a confusão se dá principalmente pela utilização indistinta de expressões como áreas verdes, espaços livres, arborização urbana e verde urbano. Os autores afirmam que, embora a vegetação seja um indicador de qualidade ambiental urbana, os conceitos são diferentes e apresentam finalidades distintas.

Segundo Bargas e Matias (2011): Apesar de muitos pesquisadores considerarem a vegetação um fator essencial para avaliar a qualidade ambiental urbana, ainda há divergências conceituais entre os estudiosos da área. Isso ocorre porque expressões como áreas verdes, espaços livres e áreas de lazer são frequentemente empregadas como sinônimos para se referir à vegetação urbana, quando, na verdade, possuem significados distintos. Outro autor que se dedica a essa distinção é Llarden (1982), que define os sistemas de espaços livres como o conjunto de espaços urbanos ao ar livre destinados a diferentes atividades recreativas e sociais, como descanso, caminhadas e esportes. Ele ainda especifica que o termo espaço livre corresponde a qualquer área verde inserida nesse sistema. Assim, segundo Llarden, as zonas verdes ou áreas verdes são espaços livres nos quais a vegetação tem predominância, incluindo parques, jardins e praças.

No mesmo sentido, Lima et al. (1994, p. 545) reforçam a diferença entre os conceitos, estabelecendo que:

- Espaço livre é um conceito mais abrangente, que se contrapõe às áreas construídas e engloba diferentes tipos de espaços urbanos não edificados.
- Área verde é uma categoria específica dentro dos espaços livres, caracterizada pela predominância de vegetação arbórea e que inclui praças, jardins públicos e parques urbanos.

Além disso, os autores exemplificam os diferentes tipos de áreas verdes:

- Parques urbanos, que cumprem funções ecológicas, estéticas e de lazer, com maior extensão territorial.
- Praças, que são espaços livres públicos voltados principalmente para o lazer, mas que só são consideradas áreas verdes quando apresentam vegetação significativa.
- Arborização urbana, composta por elementos vegetais de porte arbóreo na cidade, mas que não integram diretamente o sistema de áreas verdes, especialmente quando se encontram em calçadas impermeabilizadas.

Por fim, Mazzei et al. (2007) acrescentam que nem todas as áreas verdes têm como principal função o lazer e a recreação, pois algumas podem ser destinadas exclusivamente à preservação ambiental. No caso dos espaços livres, o objetivo essencial é oferecer infraestrutura e equipamentos adequados ao lazer e recreação para diferentes faixas etárias.

Portanto, a diferenciação entre áreas verdes e espaços livres é fundamental para um planejamento urbano eficaz, garantindo que as cidades contem com áreas adequadas tanto para preservação ambiental quanto para uso social e recreativo.

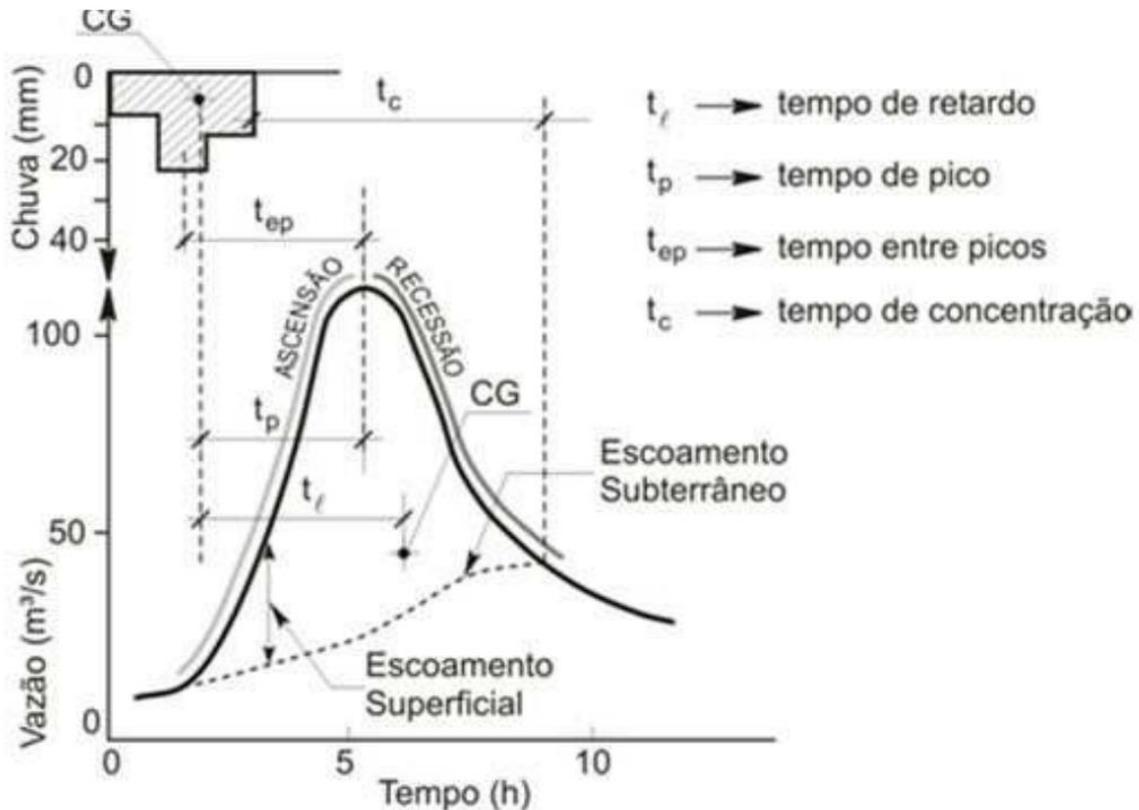
2.6 Parâmetros do escoamento superficial

O escoamento superficial em uma bacia hidrográfica pode ser representado por meio de um hidrograma, que é um gráfico relacionando a vazão com o tempo. Segundo Tucci (2012), esse hidrograma resulta da interação de todos os componentes do ciclo hidrológico com a precipitação, refletindo a resposta dinâmica da bacia após a ocorrência de um evento pluviométrico.

A forma do hidrograma é influenciada por diversos fatores, tais como o relevo, a cobertura da bacia, modificações artificiais no curso do rio, bem como características da precipitação – como distribuição, duração e intensidade – e as propriedades do solo. Esses elementos são determinantes para definir o comportamento da bacia e, conseqüentemente, a configuração do hidrograma (JUNIOR, sd.).

Dentro do contexto da análise do escoamento superficial, determinados parâmetros temporais são utilizados para caracterizar a resposta da bacia. De acordo com Tucci (2012), esses parâmetros incluem o tempo de retardo, o tempo de pico, o tempo de concentração e o tempo de ascensão, cada um refletindo uma etapa distinta da resposta hidrológica.

Figura 6 - Modelo de Hidrograma tipo.



Fonte: COLLISCHONN e TASSI (2008).

O tempo de retardo (t_l) é definido como o intervalo entre o centro de massa da chuva – representado pelo hietograma – e o centro de massa do hidrograma. Esse parâmetro indica a defasagem temporal entre a ocorrência da precipitação e a resposta máxima da bacia.

Já o tempo de pico (t_p) corresponde ao intervalo entre o centro de massa da precipitação e o pico do hidrograma. Esse tempo reflete o momento de máxima vazão,

essencial para a avaliação dos riscos de inundação e sobrecarga da rede de drenagem.

O tempo de concentração (t_c) é o período necessário para que a precipitação que ocorre no ponto mais distante da bacia atinja a seção principal (exultório). Alternativamente, pode ser definido como o intervalo entre o término da precipitação e o ponto de inflexão do hidrograma, marcando o fim do escoamento superficial.

O tempo de ascensão (t_m) é o intervalo que decorre entre o início da chuva e o pico do hidrograma. Esse parâmetro evidencia a rapidez com que a bacia responde ao evento pluviométrico, influenciando diretamente a intensidade do pico de vazão.

Cada bacia hidrográfica possui um tempo de concentração característico, o qual pode ser estimado por diversos métodos. Para bacias de pequena escala, a equação de Kirpich é frequentemente empregada, na qual o tempo de concentração (t_c , em minutos) é calculado em função do comprimento do curso d'água principal (L , em km) e da diferença de altitude ao longo desse percurso (Δh , em metros) (Tucci, 2012).

Equação 1 – Equação Tempo de Concentração de Kirpich

$$t_c = 57 \cdot \left(\frac{L^3}{H} \right)^{0,385}$$

2.7 Modelagem hidrológica e uso do HEC-HMS

O HEC-HMS (Hydrologic Modeling System) na sua versão 4.12 é um programa gratuito desenvolvido para representar processos hidrológicos em bacias hidrográficas dendríticas, podendo simular cheias para eventos de chuva de curta ou longa duração e um grande número situações que incluem desde grandes bacias hidrográficas até pequenas bacias urbanas.

A simulação por meio do modelo HEC-HMS baseia-se na representação gráfica de uma bacia hidrográfica, utilizando elementos hidrológicos tais como: sub-bacias, junções, reservatórios não controlados, extrações, fontes e sumidouros (MILDE et al., 2002).

O HEC-HMS pressupõe que uma bacia hidrográfica pode ser representada como um conjunto interconectado de áreas, e que os processos hidrológicos podem

ser descritos por meio de parâmetros que refletem as condições específicas de cada área (MILDE et al., 2002).

Os hidrogramas gerados por esse software são utilizados de forma direta ou em conjunto com outros programas computacionais para estudos relacionados à disponibilidade hídrica, drenagem urbana, previsão de vazões, avaliação dos impactos da urbanização futura, dimensionamento de vertedouros de reservatórios, mitigação de danos causados por inundações, gestão de várzeas e operação de sistemas complexos (SCHARFFENBERG e FLEMING, 2010).

No entanto, os modelos matemáticos apresentam limitações inerentes à sua capacidade de incorporar, em suas equações, a complexidade e a heterogeneidade da realidade. Fatores como características topográficas, tipos de solo, padrões de cobertura do solo e suas mudanças ao longo do tempo exercem influência significativa sobre os processos hidrológicos.

Em geral, a variabilidade espacial é representada por meio de valores e parâmetros, o que pode dificultar a calibração dos modelos e a interpretação física desses parâmetros, especialmente em modelos que envolvem um grande número de variáveis (BEVEN, 1989).

2.8 Uso de geoprocessamento na delimitação de bacias hidrográficas

O geoprocessamento consiste em um conjunto de ferramentas tecnológicas e técnicas que permitem a coleta, armazenamento, tratamento e análise de dados espaciais, sendo amplamente aplicado em estudos ambientais e na gestão de recursos hídricos. Segundo Aquino e Valladares (2013), os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) e o Sensoriamento Remoto, que compõem o geoprocessamento, são instrumentos fundamentais para a análise e monitoramento ambiental, bem como para o ordenamento territorial. Estas tecnologias possibilitam uma melhor compreensão e representação dos fenômenos espaciais, permitindo um planejamento mais eficaz e integrado.

No contexto das bacias hidrográficas, o geoprocessamento desempenha um papel essencial na modelagem e análise hidrológica. Moura (2017) destaca que o geoprocessamento envolve um conjunto de técnicas de representação computacional que facilitam o tratamento das informações geográficas, permitindo a criação de bases de dados espaciais georreferenciadas. Essas bases de dados podem ser utilizadas

para caracterizar a morfometria da bacia, delimitar a rede de drenagem e estimar parâmetros hidrológicos relevantes, auxiliando na previsão de escoamento superficial e na gestão de recursos hídricos.

A utilização do geoprocessamento na delimitação de bacias hidrográficas é um procedimento fundamental para diversas aplicações, como modelagem hidrológica, monitoramento de recursos hídricos e análises ambientais. Por meio de softwares especializados, como o QGIS, ArcGIS e HEC-HMS, é possível realizar a delimitação automática das bacias a partir de Modelos Digitais de Elevação (DEM), identificando os pontos de exultório e a hierarquia da rede hidrográfica. Essa abordagem proporciona maior precisão e agilidade em comparação aos métodos tradicionais, além de permitir a integração de dados físicos e socioeconômicos para subsidiar a tomada de decisão em gestão ambiental.

Além disso, o geoprocessamento permite a extração de parâmetros morfométricos das bacias hidrográficas, como área de drenagem, coeficiente de compacidade, densidade de drenagem e declividade média, fatores determinantes na compreensão da dinâmica hidrológica. Com base nesses parâmetros, é possível realizar modelagens preditivas para avaliar o impacto de mudanças no uso e ocupação do solo, permitindo um planejamento mais eficaz para mitigação de eventos extremos, como inundações e estiagens.

O estudo das bacias hidrográficas no contexto do semiárido brasileiro é de extrema importância, uma vez que a região sofre com secas cíclicas e escassez hídrica. Para Silva e Marino (2015), a crescente demanda pelo uso do geoprocessamento tem impulsionado o desenvolvimento de novas metodologias e técnicas que favorecem a pesquisa científica e a tomada de decisões. Nesse sentido, a aplicação do geoprocessamento permite uma melhor compreensão da dinâmica hidrológica das bacias, contribuindo para um gerenciamento eficiente dos recursos hídricos e de todos os componentes ambientais associados.

2.9 Método SCS

Em relação ao Método Soil Conservation Service (SCS), Franco (2004) descreve que para bacias maiores, adequadas ao uso de um hidrograma unitário, o efeito do armazenamento sobre o escoamento pode ser avaliado em função do uso e tipo do solo. De acordo com Matias (2006), este método baseia-se na definição de

uma grandeza, que é designada pela capacidade máxima de detenção da bacia hidrográfica, que quantifica a capacidade da bacia para reter a água não utilizada na geração do escoamento superficial.

As perdas hidrológicas correspondem à fração da precipitação que não contribui para a formação do escoamento superficial. Diversos tipos de perdas podem ocorrer em uma bacia hidrográfica, destacando-se: a interceptação, o armazenamento superficial e a infiltração. A interceptação e o armazenamento superficial referem-se à retenção de água em elementos como a vegetação, depressões impermeáveis, fendas em pavimentos ou coberturas, ou em qualquer área da superfície onde a água não possui liberdade para fluir como escoamento superficial. Por sua vez, a infiltração consiste no processo de penetração da água no solo, a partir da superfície terrestre.

O modelo SCS-CN (Soil Conservation Service Curve Number) incorpora todas essas perdas e é reconhecido como um dos métodos mais simples e amplamente utilizados para a estimativa da precipitação efetiva. O termo SCS refere-se ao National Resources Conservation Center dos Estados Unidos (anteriormente denominado Soil Conservation Service), enquanto CN (Curve Number) deriva de um parâmetro que sintetiza as características do solo e da ocupação da bacia hidrográfica.

O método SCS Curve Number (CN) foi desenvolvido pelo Serviço de Conservação de Solos dos Estados Unidos (Soil Conservation Service – SCS, atualmente Natural Resources Conservation Service – NRCS) e é amplamente utilizado para estimar a perda de precipitação por infiltração em uma bacia hidrográfica. O método considera que a capacidade do solo de armazenar água e permitir sua infiltração depende de fatores como tipo de solo, uso da terra, condição da cobertura vegetal e umidade antecedente.

O cálculo da infiltração é baseado no Número da Curva (Curve Number – CN), um valor adimensional que varia de 0 a 100 e representa a propensão do solo ao escoamento superficial. Quanto maior o CN, menor a infiltração e maior o escoamento superficial. Conforme a tabela abaixo:

Tabela 1 - Curve Number - CN em função da cobertura do Solo

Utilização ou Cobertura do Solo	Solo Tipo A	Solo Tipo B	Solo Tipo C	Solo Tipo D
Zonas cultivadas:				
Sem conservação do solo	72	81	88	91
Com conservação do solo	62	71	78	81
Pastagens e terrenos em más condições	68	79	86	89
Baldios em boas condições	39	61	74	80
Prados em boas condições	30	58	71	78
Bosques ou zonas florestais:				
Cobertura boa	25	55	70	77
Cobertura ruim	45	66	77	83
Espaços abertos, parques, campos de golfe, cemitérios, em boas condições:				
Com relva em mais de 75% da área	39	61	74	80
Com relva de 50% a 70% da área	49	69	79	84
Zonas comerciais e de escritórios	81	88	91	93

Utilização ou Cobertura do Solo	Solo Tipo A	Solo Tipo B	Solo Tipo C	Solo Tipo D
Zonas industriais	81	88	91	93
Zonas residenciais:				
Lotes de (m ²) % média impermeável				
< 500 65	77	85	90	92
1000 38	61	75	83	87
1300 30	57	72	81	86
2000 25	54	70	80	85
4000 20	51	68	79	84
Parques de estacionamento, telhados, viadutos, etc.	98	98	98	98
Arruamentos e estradas:				
Asfaltadas e com drenagem de águas pluviais	98	98	98	98
Paralelepípedos	76	85	89	91
Terra	72	82	87	89

Fonte: Mello e Silva, 2013

Segue na Tabela 2, os parâmetros para definição do tipo de solo, a fim da identificação do CN na tabela proposto pelo método SCS,

Tabela 2 - Tipos de Solo

Tipo de solo	Tipo de ocupação da área
A	Solos que produzem baixo escoamento superficial e alta infiltração Solos arenosos profundos com pouco silte e argila.
B	Solos menos permeáveis do que o anterior, solos arenosos menos profundos que o do tipo A e com permeabilidade superior à média.
C	Solos que geram escoamento superficial acima da média e com capacidade de infiltração abaixo da média, contendo porcentagem considerável de argila e pouco profundo.
D	Solos contendo argilas expansivas e pouco profundos com muito baixa capacidade de infiltração, gerando a maior proporção de escoamento superficial.

Fonte: TUCCI, 2004

O modelo SCS-CN calcula a precipitação efetiva acumulada com base na precipitação total acumulada e nas condições de cobertura do solo, uso da terra, tipo de solo e umidade antecedente, empregando a Equação 2:

Equação 2 - Precipitação Efetiva

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S}$$

Onde: P_e - precipitação efetiva acumulada no tempo; P - precipitação acumulada no tempo; I_a - perdas iniciais (incluem acúmulo de água na superfície, interceptação, e infiltração no solo antes do início da geração de escoamento superficial); e S - máxima infiltração acumulada potencial (capacidade da bacia em absorver e reter a precipitação).

3 METODOLOGIA

- 1
- 2
- 3

3.1 Caracterização da área de estudo

Serra Talhada está inserida na Bacia Hidrográfica do Rio Pajeú, uma das principais bacias do Sertão Pernambucano. Essa bacia apresenta uma topografia variada, com áreas de relevo moderado que influenciam o escoamento superficial e a distribuição dos recursos hídricos. O Rio Pajeú desempenha um papel crucial na captação e redistribuição das águas pluviais, contribuindo para a manutenção dos ecossistemas e influenciando as condições ambientais locais.

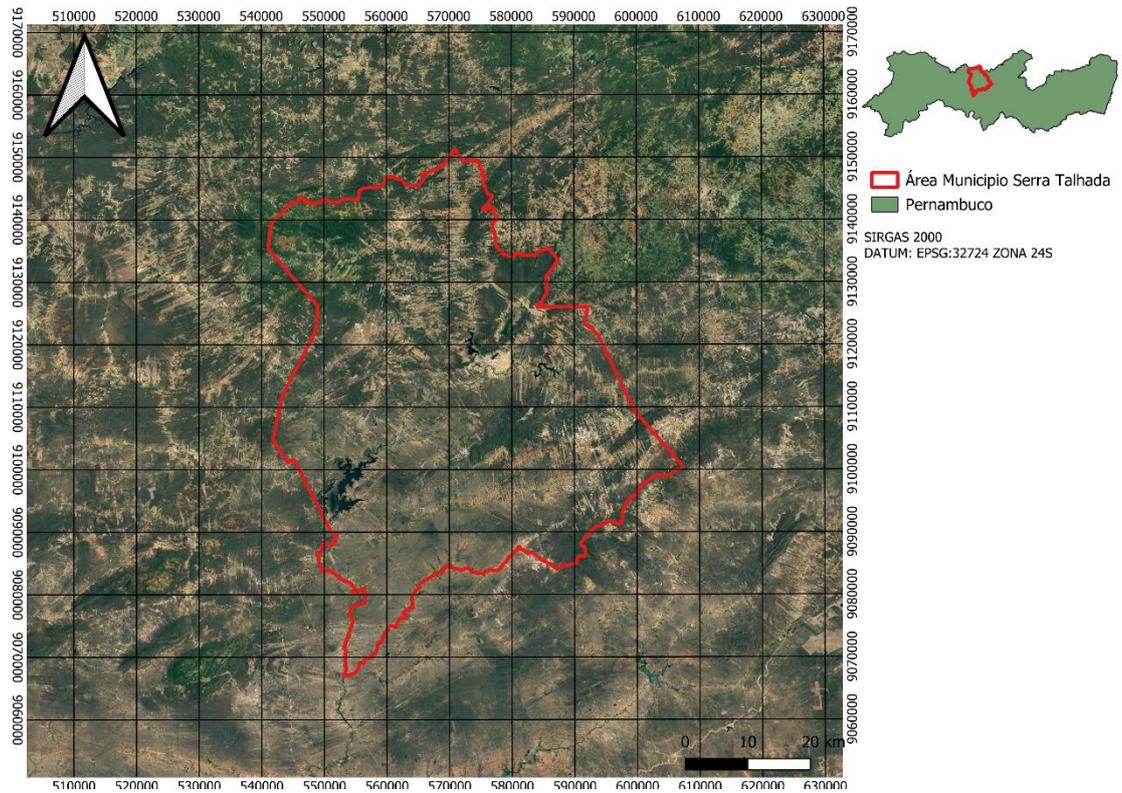
O clima da região de Serra Talhada é tipicamente semiárido, caracterizado por temperaturas elevadas durante a maior parte do ano e um regime pluviométrico concentrado em poucos meses, geralmente entre janeiro e abril. A precipitação anual é baixa e irregular, o que, aliado à alta taxa de evaporação, ocasiona longos períodos de seca. Essa realidade climática impõe desafios significativos à disponibilidade de água, exigindo estratégias adaptativas na gestão dos recursos hídricos e no uso do solo.

Em termos de vegetação, o bioma predominante na região é a Caatinga. Essa formação vegetal é composta por espécies xerófilas – como arbustos, cactáceas e árvores de pequeno porte – que possuem adaptações morfológicas e fisiológicas para sobreviver em condições de aridez, como folhas reduzidas e sistemas radiculares profundos. A vegetação da Caatinga exerce um papel fundamental na modulação do escoamento superficial, contribuindo para a infiltração da água e ajudando a proteger o solo contra a erosão.

Serra Talhada está localizada em latitude 07°59'31" Sul, longitude 38°17'54" Oeste, na Mesorregião do Sertão Pernambucano, Microrregião do Pajeú, a uma altitude de 429 metros e a 415 quilômetros de Recife, capital estadual. A cidade está posicionada em torno do sistema de referência de coordenadas SIRGAS 2000 / UTM zone 24S (EPSG:32724).

Serra Talhada possui 92.228 habitantes (IBGE, 2022). A Figura 7 possui uma representação do município da localização do município no estado de Pernambuco.

Figura 7 - Área de Estudo

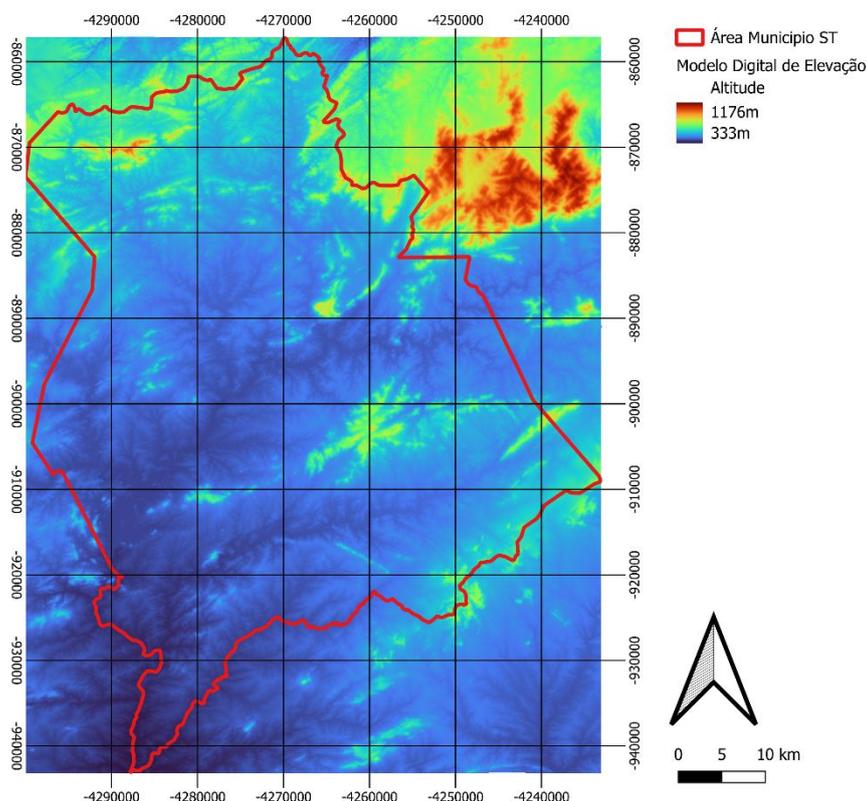


Fonte: Autor, 2025.

3.2 Modelo digital de elevação (MDE)

O modelo digital de elevação representa a elevação do terreno a partir células georreferenciadas. Para a modelagem hidráulica é necessário um MDE do terreno com boa resolução para obter resultados mais precisos da simulação. O MDE foi extraído com base nas imagens do DEM Copernicus, de 30 metros de resolução. A Figura 8 mostra o modelo digital de elevação da região do município de Serra Talhada.

Figura 8 - MDE Serra Talhada



Fonte: Autor, 2025

3.3 Coleta e processamento de dados topográficos

O processo de geração de curvas de nível foi realizado utilizando o software QGIS 3.16, uma plataforma de Sistema de Informação Geográfica (SIG) de código aberto amplamente empregada para análises topográficas. O ponto de partida foi a instalação e configuração do complemento Open Topography DEM Downloader, que possibilita o acesso a modelos digitais de elevação (DEMs) de diversas fontes. Para este trabalho, optou-se pela utilização do DEM Copernicus de 30 metros de resolução, um dado confiável e amplamente reconhecido em aplicações geográficas.

Inicialmente, o plugin foi acessado pelo menu de complementos do QGIS. Com ele configurado, definiu-se a área de interesse diretamente no mapa interativo, delimitando os limites geográficos desejados. Essa etapa envolveu a escolha cuidadosa do local de estudo, assegurando que a região selecionada fosse representativa do objetivo da análise. As coordenadas foram registradas no formato WGS84, garantindo a precisão espacial. Uma vez definida a área, procedeu-se ao download do DEM Copernicus. O arquivo foi automaticamente armazenado no

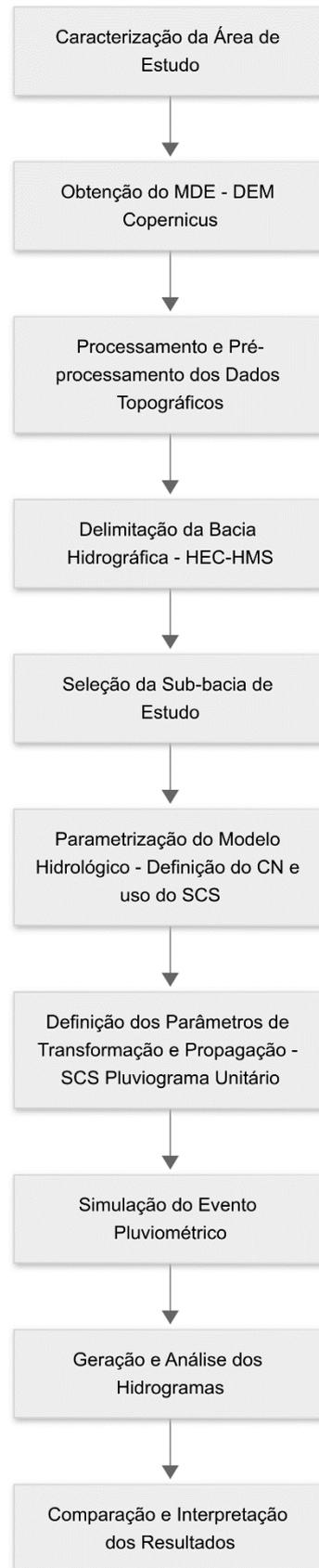
formato GeoTIFF, um padrão amplamente utilizado por sua compatibilidade com softwares SIG.

Com o DEM disponível, o próximo passo foi sua incorporação ao projeto no QGIS. A camada raster foi carregada por meio da funcionalidade de importação de camadas, garantindo sua integração ao ambiente de trabalho. Antes de qualquer processamento, verificou-se a compatibilidade do sistema de coordenadas do DEM com o sistema utilizado no projeto. Para manter a consistência cartográfica, realizou-se a reprojeção para o sistema UTM correspondente à zona geográfica da área de estudo.

A etapa subsequente concentrou-se na conversão do DEM em curvas de nível, utilizando a ferramenta Contornos do menu de Processamento do QGIS. Essa transformação é indispensável para a extração de informações topográficas detalhadas, pois o DEM, em formato raster, representa a variação da altitude em pixels contínuos. A ferramenta Contornos permite converter esses dados em linhas vetoriais que indicam a altitude em intervalos regulares, oferecendo uma representação clara e quantitativa do relevo. No processamento, o DEM Copernicus foi definido como entrada principal. O intervalo entre as curvas foi ajustado para 5 metros, uma escolha fundamentada no objetivo de obter uma resolução detalhada, adequada para análises topográficas e de planejamento territorial. Como resultado, gerou-se um shapefile contendo as curvas de nível, com atributos que descrevem a altitude correspondente a cada linha.

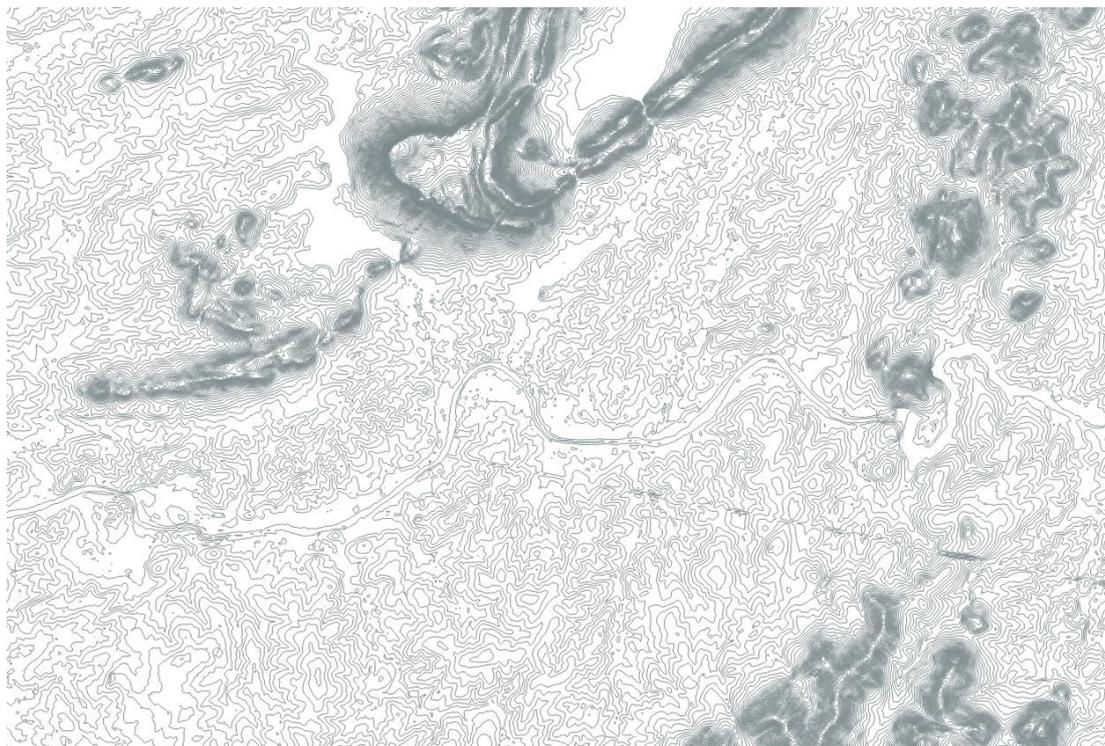
Por fim, o arquivo gerado foi visualizado e inspecionado para validação. A estilização das curvas foi ajustada para melhorar a interpretação visual do relevo. O produto final foi salvo em formato GeoPackage, uma opção robusta e compatível com outras ferramentas SIG, garantindo a portabilidade dos dados.

Figura 9 - Fluxograma das Etapas da Pesquisa



Fonte: Autor

Figura 10 - Curvas de Nível Serra Talhada - 1:25000



Fonte: Autor, 2025

O pré-processamento dos dados foi uma etapa crucial para garantir a qualidade e a precisão das análises. Inicialmente, o arquivo shapefile do município de Serra Talhada foi adicionado ao QGIS. O sistema de referência de coordenadas do projeto foi definido como SIRGAS 2000, um sistema geodésico amplamente utilizado no Brasil. Em seguida, o arquivo shapefile foi reprojetoado para o sistema de coordenadas planas UTM, zona 24 Sul (EPSG:31984), que é mais adequado para a geração de mapas e análises espaciais em escala local.

O arquivo raster do MDE também foi reprojetoado para o sistema SIRGAS 2000, utilizando ferramentas de reprojeção disponíveis no QGIS. Esse processo é essencial para garantir que todos os dados estejam no mesmo sistema de coordenadas, evitando distorções e erros nas análises. Após a reprojeção, o arquivo raster foi recortado para a área de interesse, utilizando o limite do município de Serra Talhada como máscara. Esse recorte reduziu o tamanho do arquivo e facilitou o processamento, além de garantir que apenas as informações relevantes fossem utilizadas.

Durante o pré-processamento, foram realizadas verificações para garantir a integridade dos dados. Uma das etapas mais importantes foi a aplicação da ferramenta **Fill Sinks (Fill.dir)**, disponível no módulo GRASS do QGIS. Essa

ferramenta é utilizada para preencher depressões no modelo digital de elevação (MDE), que são áreas onde a elevação é menor do que a das células circundantes, criando "buracos" no terreno. Essas depressões podem ser naturais (como lagos) ou artificiais (erros no MDE), e seu preenchimento é essencial para garantir a continuidade do fluxo de água no modelo hidrológico.

O preenchimento das depressões é realizado ajustando os valores de elevação das células afetadas, de modo que a água possa fluir naturalmente através do terreno. Esse processo é fundamental para evitar interrupções no cálculo da direção de fluxo e da acumulação de fluxo, que são etapas subsequentes no processamento hidrológico. Sem o preenchimento das depressões, o modelo poderia gerar resultados inconsistentes, como bacias hidrográficas fragmentadas ou redes de drenagem interrompidas.

A ferramenta **Fill Sinks** também permite definir um limite máximo para o preenchimento das depressões, evitando que áreas naturalmente planas, como planícies ou lagos, sejam alteradas indevidamente. Esse ajuste é importante para preservar as características naturais do terreno e garantir a precisão dos resultados. Após o preenchimento das depressões, o MDE foi novamente verificado para garantir que todas as inconsistências tenham sido corrigidas.

Por fim, os dados pré-processados foram organizados em camadas no QGIS, facilitando o acesso e a visualização durante as etapas subsequentes. O MDE ajustado foi salvo em um novo arquivo raster, que serviu como base para os cálculos hidrológicos.

Durante o pré-processamento, foram realizadas verificações para garantir a integridade dos dados. Por exemplo, foram identificadas e corrigidas possíveis falhas no MDE, como áreas com valores de elevação ausentes ou inconsistentes. Essas correções foram realizadas utilizando ferramentas de preenchimento de depressões, que ajustam pequenas irregularidades no modelo digital de elevação. Esse passo é fundamental para garantir a precisão dos cálculos hidrológicos subsequentes.

3.4 Delimitação da bacia hidrográfica no hec-hms

A delimitação da bacia hidrográfica no HEC-HMS é um passo fundamental para a modelagem hidrológica, pois define a área de contribuição do escoamento superficial e estabelece os limites do sistema hidrológico analisado. Iniciado com a

obtenção e o tratamento do Modelo Digital de Elevação (DEM), garantindo que os dados topográficos refletissem com precisão a realidade da área de estudo.

Para evitar inconsistências na direção do fluxo, foi aplicado o procedimento Fill diretamente no HEC-HMS, mesmo após o pré-processamento no QGIS, assegurando a eliminação de depressões espúrias que poderiam comprometer a correta delimitação da bacia.

A seleção do ponto exultório foi baseada na identificação da cota mais baixa da área analisada, garantindo que toda a drenagem convergisse para um único local de saída. Esse ponto foi inicialmente definido no QGIS, onde um shapefile foi gerado e georreferenciado para garantir a precisão da sua localização. Em seguida, o shapefile foi convertido para o formato raster e importado para o HEC-HMS, viabilizando sua utilização no delineamento da bacia hidrográfica.

No HEC-HMS, o primeiro passo do processo foi a execução da ferramenta Terrain Preprocessing, que permite extrair automaticamente as divisórias hidrográficas e a rede de drenagem a partir do DEM. Inicialmente, foi utilizada a função Compute Flow Direction, que determinou a direção do escoamento para cada célula da grade topográfica. Na sequência, a ferramenta Flow Accumulation foi aplicada para identificar as áreas de maior concentração de escoamento, possibilitando a visualização preliminar da rede de drenagem.

Um dos parâmetros cruciais desse processo foi a definição da área mínima de drenagem necessária para que um curso d'água fosse considerado um rio. Esse ajuste foi realizado na etapa Identify Streams, onde foi estipulado que, para cada 1 km² de área de drenagem, seria formado um novo rio. Essa configuração influenciou diretamente a subdivisão da bacia, pois quanto menor o valor estipulado, maior seria o número de sub-bacias geradas. Dessa forma, a escolha desse parâmetro foi essencial para equilibrar a precisão da segmentação hidrológica e a complexidade da modelagem.

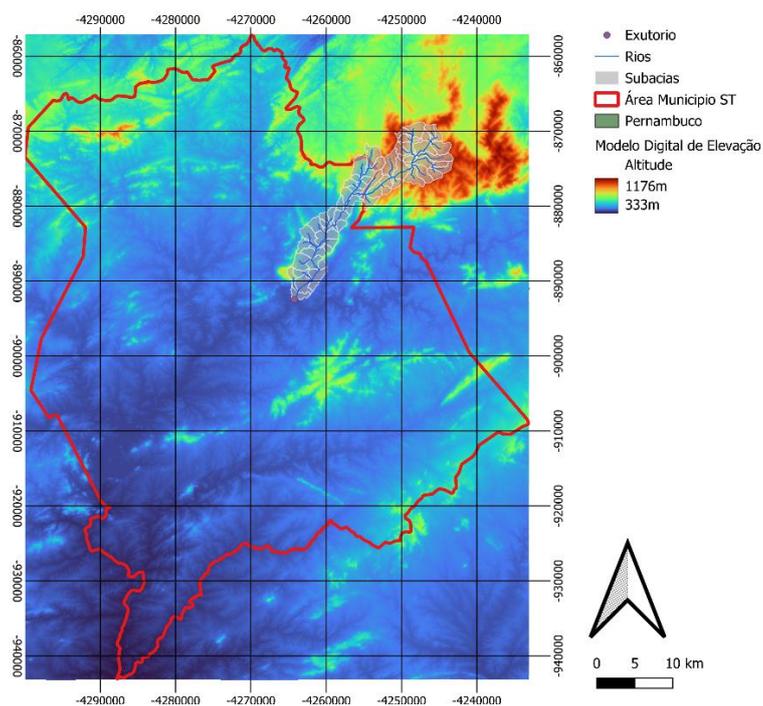
Após a definição da rede de drenagem, foi ativada a ferramenta Watershed Delineation, responsável por gerar automaticamente os limites da bacia e suas respectivas sub-bacias. Com a subdivisão ajustada pelo critério de 1 km² de área de drenagem para formação de rios, o modelo resultante apresentou uma estrutura hierarquizada da rede hidrográfica, permitindo uma análise mais detalhada do escoamento superficial em diferentes setores da bacia. Essa abordagem proporcionou

maior precisão na modelagem, garantindo que a distribuição espacial do escoamento fosse bem representada.

Embora a delimitação da bacia pudesse ter sido realizada diretamente no QGIS, optou-se pelo HEC-HMS devido à praticidade do fluxo de trabalho e à integração com as demais etapas da modelagem hidrológica. O software possibilita um processamento automatizado e padronizado, facilitando a parametrização dos dados e garantindo compatibilidade com as simulações hidrológicas subsequentes. Além disso, a segmentação da bacia diretamente no HEC-HMS simplificou a importação e a organização dos dados para as próximas fases do estudo.

Uma vez concluída a delimitação da bacia, os resultados foram validados por meio da sobreposição dos limites hidrológicos com a topografia do terreno e as feições hidrográficas mapeadas previamente. Esse controle de qualidade foi fundamental para garantir que a modelagem refletisse com precisão a realidade hidrológica da área de estudo, evitando distorções que pudessem comprometer as análises (Figura 11).

Figura 11 - Bacia gerada no HEC-HMS



Fonte: Autor, 2025

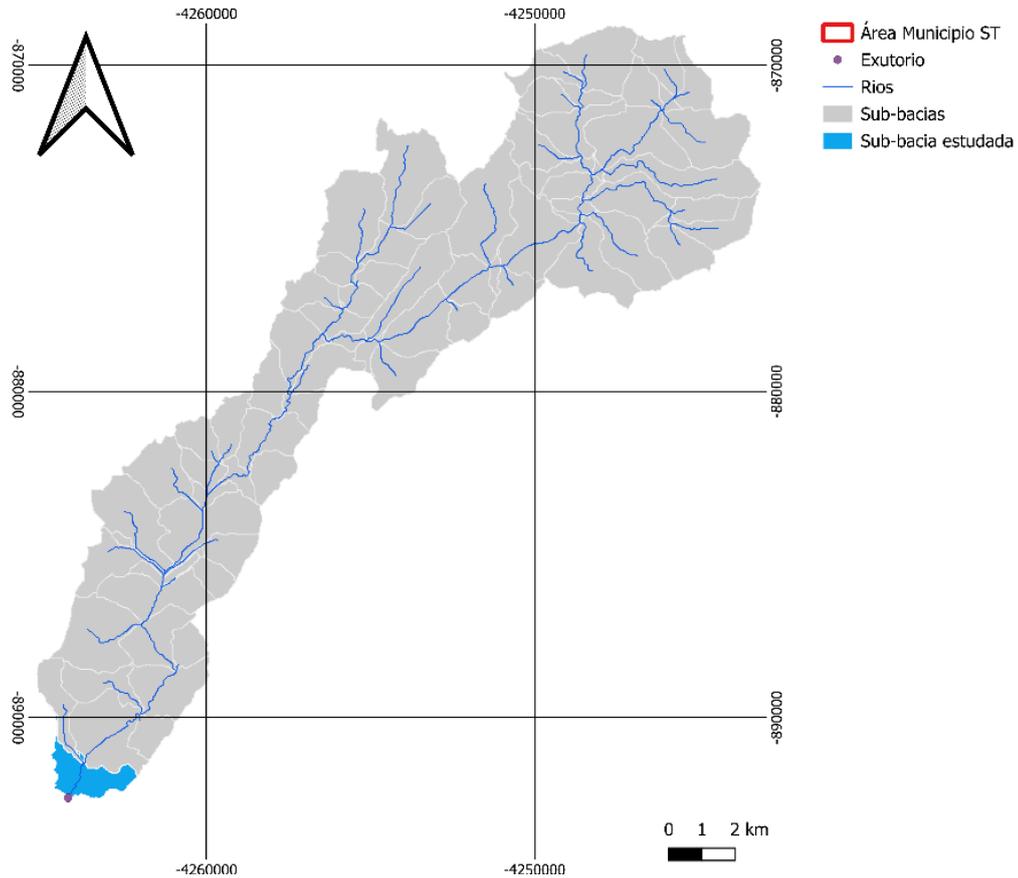
3.5 Sub-bacia de Estudo

Para o estudo em questão, foi selecionado apenas uma Sub-bacia dentre as 77 criadas no HEC-HMS. Isso se deve por conta da análise e simulação ser voltada

para o perímetro urbano de Serra Talhada. Além disso, foi verificado que as demais sub-bacias não possuem interferência direta na área do estudo em questão.

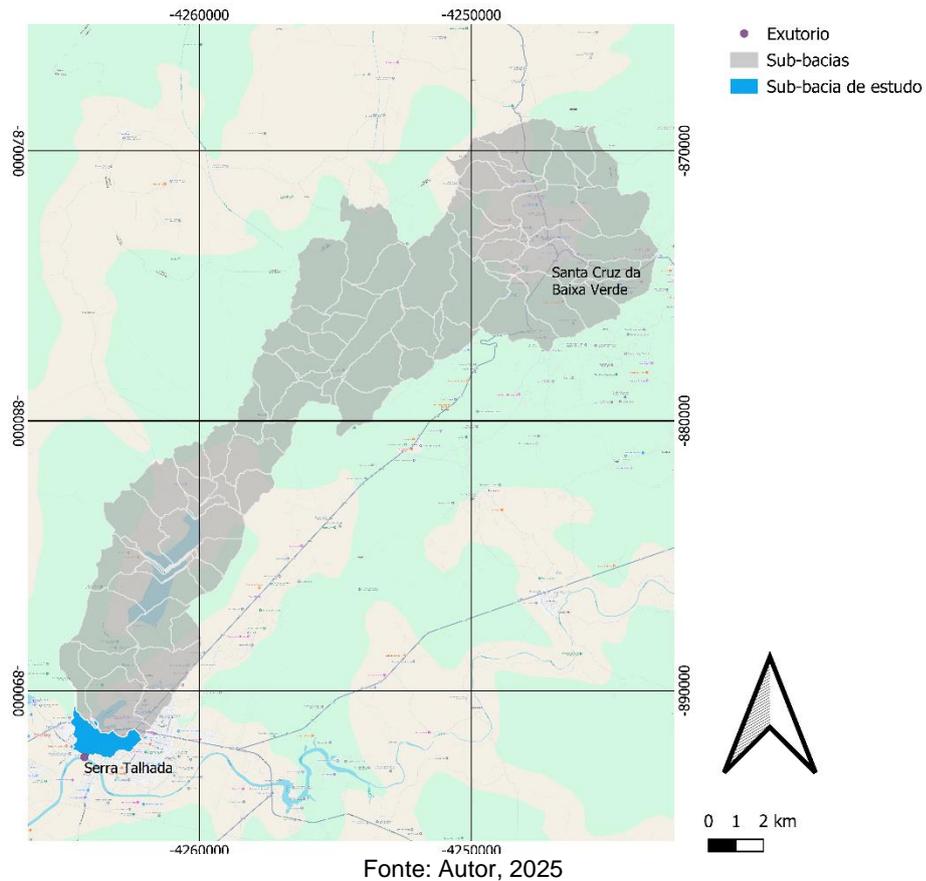
Quando criadas, é possível calcular automaticamente parâmetros como: área, declividade e distância do ponto mais alto da bacia até o exultório.

Figura 12 - Sub-bacia de estudo



Fonte: Autor, 2025

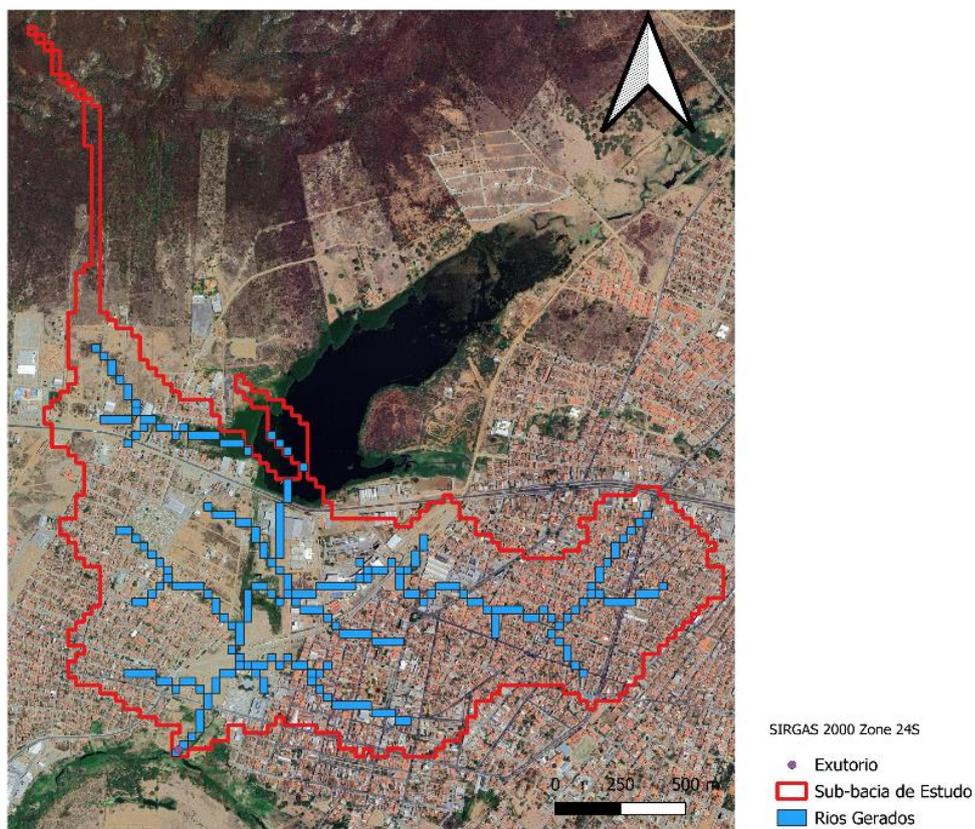
Figura 13 - Maps Sub-bacia



Com a bacia hidrográfica devidamente delineada no HEC-HMS, a próxima etapa do estudo consistiu na parametrização do modelo hidrológico, associando características da cobertura do solo, uso e ocupação da terra e eventos de precipitação.

Esse procedimento é essencial para a simulação da resposta hidrológica da bacia, possibilitando a avaliação do impacto da urbanização e da ampliação de áreas verdes na dinâmica do escoamento superficial.

Figura 14 - Sub-Bacia ampliado



Fonte: Autor, 2025

A Sub-bacia possui 2,32km² de área e está localizada nas coordenadas (-7,98482 e -38,30098). A localização no município corresponde a uma zona mista entre zona comercial e zona residencial.

Também foi escolhido o método de perda “SCS Curve Number” e para o método de transformação o “SCS Unit. Hydrograph”, tal qual as recomendações do professor Carlos Ruberto Fragoso Junior.

Figura 15 - Parâmetros Sub-Bacia Estudada

Basin Name:	BaciaST2
Element Name:	Bacia Estudada
Downstream:	Sink-1
*Area (KM2)	2,3256
Latitude Degrees:	-7,98482
Longitude Degrees:	-38,30098
Discretization Method:	Structured
Canopy Method:	--None--
Snow Method:	--None--
Surface Method:	--None--
Loss Method:	SCS Curve Number
Transform Method:	SCS Unit Hydrograph
Baseflow Method:	--None--

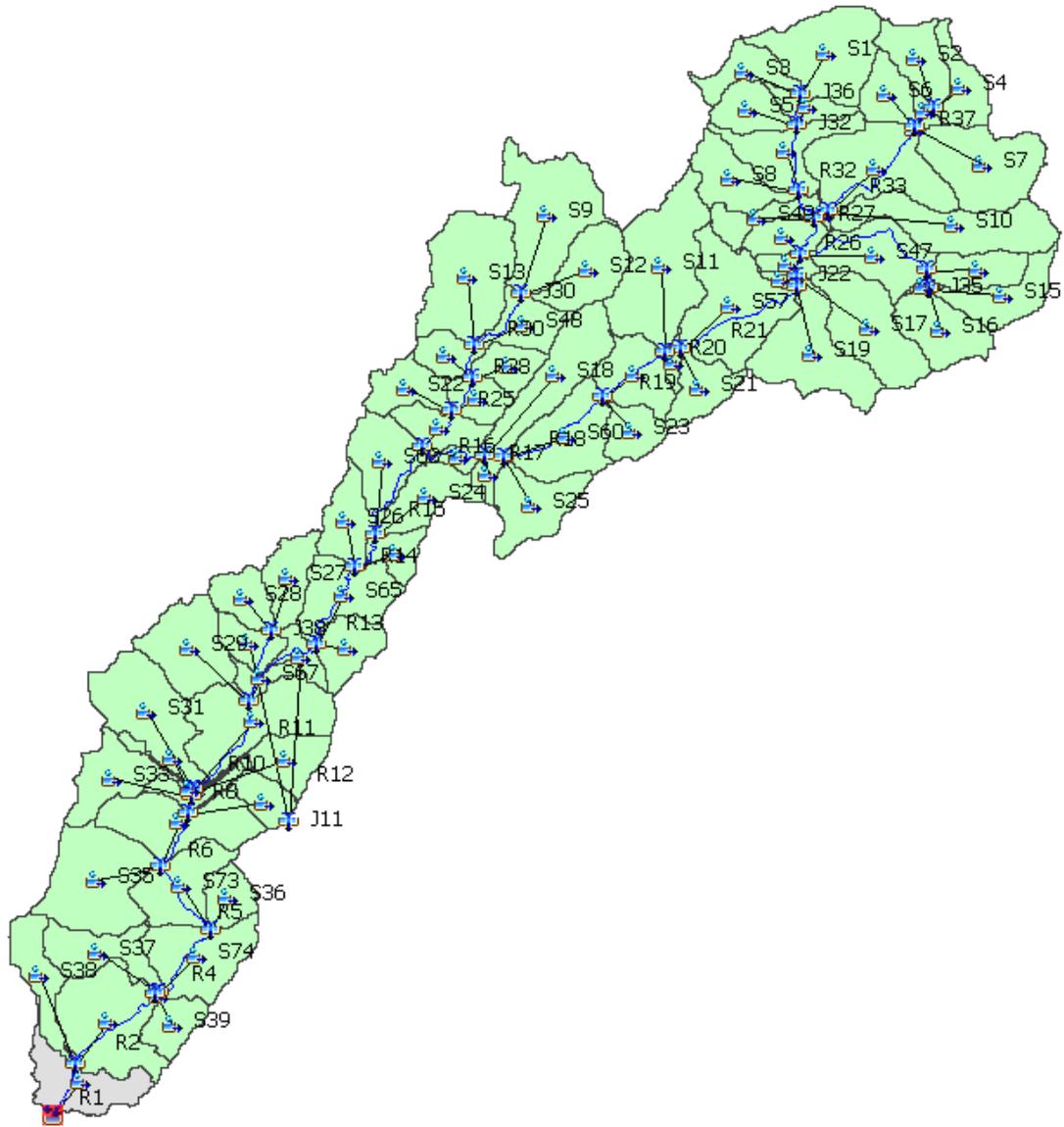
Fonte: Autor, 2025

Note que há a presença dos parâmetros SCS Curve Number e SCS Unit Hydrograph. Tais parâmetros serão abordados na parametrização do modelo hidrológico.

3.6 Parametrização do modelo hidrológico no HEC-HMS

A modelagem hidrológica foi realizada utilizando o programa de modelagem HEC-HMS (Versão 4.12), onde nos processos de precipitação, perdas, transformação e propagação de vazões foram selecionados os modelos interpolação do inverso da distância ao quadrado, SCS Curve Number, SCS Unit Hydrograph e Muskingum-Cunge, respectivamente. No cálculo do tempo de concentração utilizado no modelo SCS Unit Hydrograph para obter o Lag Time, foi aplicada a equação de Kirpich. A bacia foi configurada em 77 sub-bacias e 38 rios inicialmente (Figura 16), no entanto foi selecionada apenas a Sub-bacia do estudo em questão para realizar as simulações (Figura 17).

Figura 16 - Delimitação Bacia Inteira



Fonte: Autor, 2025

Figura 17 - Sub-bacia Estudada



Fonte: Autor, 2025

- 2.
- 3.
- 4.
- 4.1.
- 4.2.
- 4.3.
- 4.4.
- 4.5.
- 4.6.

3.6.1 Características da Sub-bacia

Características observadas na sub-bacia de estudo:

Subbasin	Longest Flowpath Length (KM)	Longest Flowpath Slope (M/M)	Centroidal Flowpath Length (KM)	Centroidal Flowpath Slope (M/M)	10-85 Flowpath Length (KM)	10-85 Flowpath Slope (M/M)	Basin Slope (M/M)	Basin Relief (M)	Relief Ratio	Elongation Ratio	Drainage Density (KM/KM ²)
Bacia Estudada	3,73355	0,09964	0,88595	0,00417	2,80016	0,03740	0,05617	372,05859	0,09965	0,46089	0,57973

A análise morfométrica da sub-bacia permitiu a extração de diversos parâmetros físicos fundamentais para a compreensão de sua dinâmica hidrológica. A seguir, são apresentadas as principais características observadas:

Longest Flowpath Length (3,278655 km): Corresponde ao percurso mais extenso que a água percorre desde o ponto mais distante da sub-bacia até o exutório. Esse valor indica o potencial de tempo que o escoamento superficial pode levar para atingir a seção de saída.

Longest Flowpath Slope (0,04954 m/m): Trata-se da inclinação média ao longo do caminho de maior extensão do fluxo. Valores mais elevados de declividade podem acelerar o escoamento superficial, enquanto declividades menores tendem a prolongar o tempo de concentração.

Centroidal Flowpath Length (0,98965 km) e *Centroidal Flowpath Slope* (0,047 m/m): O caminho de fluxo centróide e sua respectiva declividade indicam um percurso intermediário, normalmente relacionado à posição média do escoamento na sub-bacia. Esses parâmetros auxiliam no cálculo do tempo de resposta hidrológica.

10-85 Flowpath Length (2,004145 km) e *10-85 Flowpath Slope* (0,059414 m/m): Esse parâmetro mede a distância entre os pontos de 10% e 85% do comprimento do canal principal, sendo utilizado para caracterizar a declividade média no trecho mais representativo do escoamento. Um valor de slope mais alto sugere um escoamento potencialmente mais rápido.

Basin Slope (3,732558%): A declividade média da bacia influencia a velocidade do escoamento superficial e o tempo de concentração. Bacias com maiores inclinações tendem a apresentar escoamento mais concentrado e picos de vazão mais elevados em eventos de chuva intensa.

Basin Relief (73 m) e *Relief Ratio* (0,049456): O alívio topográfico (relief) representa a diferença de elevação entre o ponto mais alto e o exutório. Já o Relief Ratio é a razão entre o alívio topográfico e o comprimento do canal principal, fornecendo uma medida da “rugosidade” da bacia. Valores mais altos de Relief Ratio podem indicar maior propensão a escoamentos rápidos.

Elongation Ratio (0,44898): Esse índice avalia a forma da bacia, relacionando o diâmetro de um círculo com área equivalente à da bacia e o comprimento do canal principal. Um valor próximo de 1 indica uma bacia mais circular, enquanto valores menores sugerem um formato mais alongado, influenciando o tempo de concentração e a dispersão do escoamento.

Drainage Density (0,57942 km/km²): Expressa o grau de ramificação da rede de drenagem, medindo o comprimento total dos canais por área de bacia. Bacias com alta densidade de drenagem costumam responder mais rapidamente aos eventos de

precipitação, enquanto bacias com menor densidade tendem a apresentar tempos de resposta mais longos.

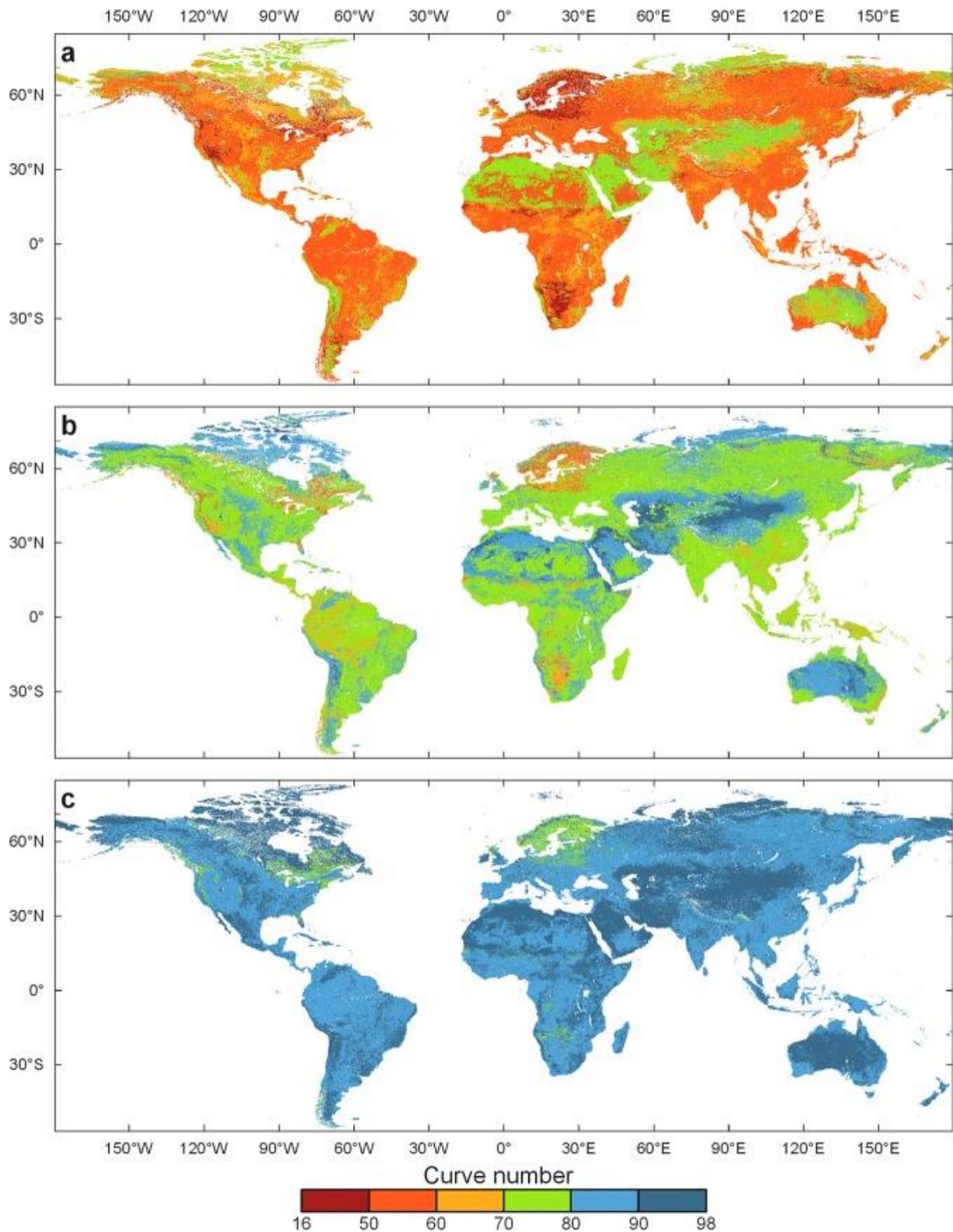
No conjunto, esses parâmetros fornecem subsídios para entender o comportamento hidrológico da sub-bacia, pois influenciam diretamente o tempo de concentração, a formação do pico de vazão e a suscetibilidade a processos erosivos. A partir desses indicadores, torna-se possível avaliar cenários de uso e ocupação do solo, assim como embasar estratégias de manejo e conservação da bacia.

3.6.2 Escolha do CN

Para a escolha do CN foi realizado o download do produto GCN250 por (Ahmad e JAAFAR, 2019). O Global Curve Number Dataset (GCN250) é um conjunto de dados globais de Curve Number (CN) disponibilizado no formato GeoTIFF, com uma resolução espacial de 250 metros, desenvolvido a partir do conjunto de dados HYSOG250m, que classifica os solos hidrológicos globalmente, e do banco de dados de uso e cobertura do solo ESACC-CI 2015, com resolução de 300 metros. O GCN250 permite estimar os valores de CN considerando condições médias, secas e úmidas de escoamento antecedente, sendo amplamente utilizado para modelagens hidrológicas em diferentes escalas.

Os valores de Curve Number (CN) variam de acordo com as condições antecedentes de escoamento (Antecedent Runoff Conditions – ARC), que são influenciadas pela intensidade e duração da chuva, precipitação total, condições de umidade do solo, densidade da cobertura, estágio de crescimento da vegetação e temperatura. Por essa razão, foram gerados três mapas de Curve Number para três condições de ARC: seca (Fig. 18a), média (Fig. 18b) e úmida (Fig. 18c). O USDA forneceu diretrizes para converter os valores de CN das condições médias de ARC para as condições úmidas e secas de ARC.

Figura 18 - Produtos GCN250



Fonte: Jaafar e Hamad, 2019

Neste estudo, o GCN250 foi utilizado como fonte primária para a definição dos valores de Curve Number (CN), que representam a capacidade de infiltração e escoamento do solo dentro da área de estudo. A metodologia adotada consistiu na

extração e processamento dos dados do GCN250, correlacionando-os com as características físicas da bacia hidrográfica para definir parâmetros de entrada no modelo HEC-HMS.

Para a obtenção do Curve Number adequado, utilizou-se o script GCN250m.R, fornecido com o dataset, que gera os valores de CN a partir da interseção das classes de solo e cobertura do terreno. Esse processo garantiu uma estimativa precisa da capacidade de retenção hídrica da bacia, permitindo a calibração adequada do modelo hidrológico.

A escolha do GCN250 se justifica pela sua ampla cobertura global, alta resolução espacial e compatibilidade com ferramentas SIG (Sistemas de Informação Geográfica). Além disso, sua base de dados integrada permite uma abordagem mais homogênea na definição dos parâmetros hidrológicos, reduzindo possíveis incertezas associadas à coleta e interpolação de dados locais de solo e uso da terra.

Também é válido citar que foi escolhido o modelo A, por preferência de avaliar a bacia em cenários de solo seco, característica comum na Região de estudo (Serra Talhada-PE).

Portanto, o produto GCN foi incorporado no QGIS e recortado pela camada da sub-bacia para melhor desempenho. Assim, foi incorporado como HEC-HMS para definição do CN da bacia e perdas iniciais (20% do armazenamento).

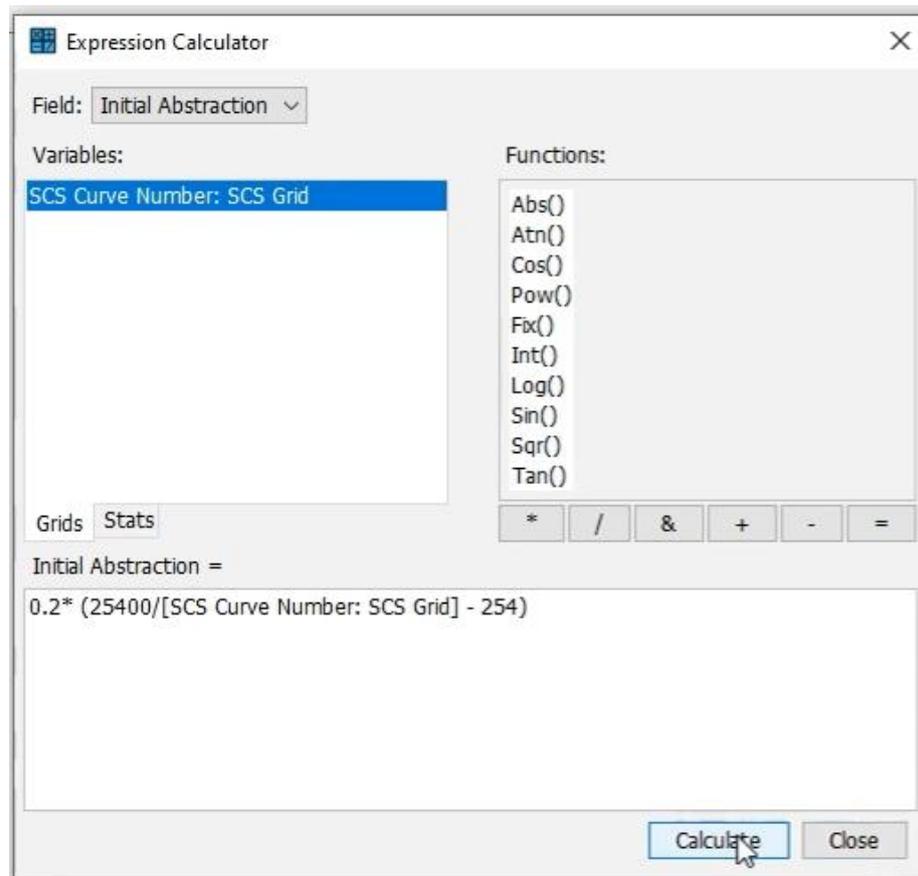
Estabeleceu-se então uma relação empírica com o CN, o qual consiste numa função do tipo da cobertura vegetal e do solo disposto em tabelas, a fim de se determinar o valor de S. O S é determinado através da equação:

$$S = \frac{25400 - 254CN}{CN}$$

Equação 3 - Retenção Potencial Máxima

Em que: S = retenção potencial máxima pelos solos após o início do escoamento (mm) e CN = número de escoamento, que é determinado através de tabelas como dito anteriormente.

Figura 19 - Cálculo perdas iniciais



Fonte: Autor

Com os valores de CN obtidos, foi possível parametrizar o modelo HEC-HMS utilizando o método de perdas SCS Curve Number, o que possibilitou a estimativa do volume de escoamento superficial em diferentes condições de impermeabilização da bacia. Dessa forma, o uso do GCN250 contribuiu para uma simulação hidrológica mais robusta e representativa, alinhada com padrões científicos e metodológicos reconhecidos.

Para as perdas iniciais obtivemos o valor de 21,4mm, um CN de 70,3 e a zona impermeável foi calculada posteriormente.

Basin Name: BaciaST2 - 90% IMP	
Element Name: Bacia Estudada	
Initial Abstraction (MM)	21,4
*Curve Number:	70,3
*Impervious (%)	90

Figura 20- Parâmetros de Perda

3.6.3 Definição dos Parâmetros de Escoamento: Método SCS Unit Hydrograph

O método SCS Pluviograma Unitário (SCS Unit Hydrograph) é amplamente utilizado para a transformação da chuva efetiva em vazão em bacias hidrográficas, sendo um dos métodos padrão no HEC-HMS. Ele foi desenvolvido pelo Soil Conservation Service (SCS) e se baseia na suposição de que a resposta hidrológica da bacia segue um comportamento típico, definido por um hidrograma unitário sintético (SILVEIRA, 2005). Para sua aplicação, é essencial a correta definição dos parâmetros hidrológicos, especialmente o tempo de concentração (T_c) e o tempo de defasagem (Lag Time).

$$t_L = 0,6t_c$$

Equação 4 - Tempo de defasagem

A transformação da precipitação efetiva em hidrograma de vazão é realizada no HEC-HMS por meio de diferentes métodos, sendo um dos mais utilizados o SCS Unit Hydrograph. Para aplicar esse método, é necessário definir o tempo de concentração (T_c) e o tempo de base do hidrograma.

Tabela 3 - Fórmulas de tempo de concentração avaliadas por Silveira

Nome	Equação (1)
Izzard (2)	$T_c = 85,5(i/36286+C_r)^{-0,667}L^{0,33}S^{-0,333}$
Kerby-Hathaway (3)	$T_c = 0,619N^{0,47}L^{0,47}S^{-0,235}$
Onda Cinem. (2)	$T_c = 7,35n^{0,6}i^{-0,4}L^{0,6}S^{-0,3}$
FAA (2)	$T_c = 0,37(1,1-C)L^{0,5}S^{-0,333}$
Kirpich (2)	$T_c = 0,0663L^{0,77}S^{-0,385}$
SCS Lag (2)	$T_c = 0,057(1000/CN-9)^{0,7}L^{0,8}S^{-0,5}$
Simas-Hawkins (4)	$T_c = 0,322A^{0,594}L^{-0,594}S^{-0,150}S_{scs}^{0,313}$
Vente Chow (5)	$T_c = 0,160L^{0,64}S^{-0,32}$
Dooge (6)	$T_c = 0,365A^{0,41}S^{-0,17}$
Johnstone (7)	$T_c = 0,462L^{0,5}S^{-0,25}$
Corps Engineers (8)	$T_c = 0,191L^{0,76}S^{-0,19}$
Giandotti (9)	$T_c = 0,0559(4,0A^{0,5}+1,5L)L^{-0,5}S^{-0,5}$
Pasini (10)	$T_c = 0,107A^{0,333}L^{0,333}S^{-0,5}$
Ventura (10)	$T_c = 0,127A^{0,5}S^{-0,5}$
Picking (11)	$T_c = 0,0883L^{0,667}S^{-0,333}$
DNOS (12)	$T_c = 0,419k^{-1}A^{0,3}L^{0,2}S^{-0,4}$
George Ribeiro (13)	$T_c = 0,222(1,05-0,2p)^{-1}LS^{-0,04}$
Schaake et al (14)	$T_c = 0,0828L^{0,24}S^{-0,16}A_{imp}^{-0,26}$
McCuen et al (15)	$T_c = 2,25i^{-0,7164}L^{0,5552}S^{-0,2070}$
Carter (15)	$T_c = 0,0977L^{0,6}S^{-0,3}$
Eagleson (15)	$T_c = 0,274nR^{-0,67}LS^{-0,5}$
Desbordes (16)	$T_c = 0,0869A^{0,3039}S^{-0,3832}A_{imp}^{-0,4523}$
Espey-Winslow (15)	$T_c = 0,343 \phi L^{0,29}S^{-0,145}A_{imp}^{-0,6}$

Fonte: Silveira (2005)

O tempo de concentração adotado foi estimado pelo método empírico de Kirpich, normalmente utilizado para bacias pequenas (KIRPICH, 1940), cuja equação é dada por:

$$T_c = 0,0663L^{0,77}S^{-0,385}$$

Equação 5 - Método Kirpich

Onde:

T_c = tempo de concentração (minutos);

L = comprimento máximo do fluxo superficial (metros);

S = declividade média do percurso do escoamento (m/m).

Esse valor de tempo de concentração é então utilizado para definir os parâmetros do método SCS Unit Hydrograph, garantindo uma melhor representação do tempo de resposta hidrológica da bacia.

A propagação de vazões no HEC-HMS representa o movimento da água ao longo da rede de drenagem. Um dos métodos disponíveis para esse processo é o Lag Method, que utiliza um parâmetro de defasagem de tempo (Lag Time).

Para determinar esse Lag Time, pode-se utilizar a seguinte relação empírica baseada no tempo de concentração obtido também pelo método de Kirpich:

$$T_p = 0,6 \cdot T_c$$

Equação 6 - Método Kirpich

Esse tempo de defasagem representa a diferença entre o momento do centroide da precipitação efetiva e o pico do hidrograma resultante.

Figura 21 - Lag Time Obtido

Element Name: Bacia Estudada	
Graph Type:	Standard (PRF 484) ▾
*Lag Time (MIN)	16,01

Fonte: Autor

3.6.4 Zona impermeável

Para a caracterização da permeabilidade do solo na área de estudo, foi utilizado o produto Uso e Cobertura (1985-2023) do MapBiomias, que disponibiliza mapas anuais de cobertura e uso da terra para todo o território brasileiro. O MapBiomias é um dos principais projetos de monitoramento ambiental do Brasil e tem sido amplamente utilizado para análises espaciais e subsidiar políticas públicas voltadas para a gestão ambiental, combate ao desmatamento e conservação dos biomas (MAPBIOMAS, 2023).

A metodologia adotada pelo MapBiomias baseia-se em classificações automatizadas de imagens Landsat, que permitem a geração de mapas temáticos de cobertura do solo. Os algoritmos utilizados são constantemente aprimorados para melhorar a precisão das classes mapeadas, o que garante maior confiabilidade nos resultados. A plataforma disponibiliza os dados em formato GeoTIFF, permitindo sua incorporação em ferramentas de geoprocessamento para análise espacial detalhada.

O mapa de cobertura do solo de 2023 foi utilizado para identificar as classes de uso da terra na bacia hidrográfica de Serra Talhada-PE, com ênfase na distinção entre áreas impermeáveis e permeáveis. A partir desses dados, foi possível estimar a

fração de solo coberta por vegetação, superfícies urbanizadas e corpos d'água, gerando insumos fundamentais para a modelagem hidrológica no HEC-HMS.

Para identificação no QGIS, foi utilizada a legenda fornecida pelo produto MapBiomas, que determinar o código das cores para cada tipo de cobertura e uso do solo. Os Códigos das classes de legenda da Coleção 9 do MapBiomas Brasil:

Figura 22 - Códigos das classes Coleção 9 MapBiomas

 MAPBIOMAS BRASIL		Códigos das classes da legenda da Coleção 9 do MapBiomas Brasil		
COLEÇÃO 9 - CLASSES	COLLECTION 9 - CLASSES	Code ID	Hexacode Number	Color ID
1. Floresta	1. Forest	1	#1f8d49	
1.1 Formação Florestal	1.1. Forest Formation	3	#1f8d49	
1.2. Formação Savânica	1.2. Savanna Formation	4	#7dc975	
1.3. Mangue	1.3. Mangrove	5	#04381d	
1.4. Floresta Alagável	1.4. Floodable Forest	6	#007785	
1.5. Restinga Arbórea	1.5. Wooded Sandbank Vegetation	49	#02d659	
2. Vegetação Herbácea e Arbustiva	2. Herbaceous and Shrubby Vegetation	10	#d6bc74	
2.1. Campo Alagado e Área Pantanosa	2.1. Wetland	11	#519799	
2.2. Formação Campestre	2.2. Grassland	12	#d6bc74	
2.3. Apicum	2.3. Hypersaline Tidal Flat	32	#fc8114	
2.4. Afloramento Rochoso	2.4. Rocky Outcrop	29	#ffaa5f	
2.5. Restinga Herbácea	2.5. Herbaceous Sandbank Vegetation	50	#ad5100	
3. Agropecuária	3. Farming	14	#ffefc3	
3.1. Pastagem	3.1. Pasture	15	#edde8e	
3.2. Agricultura	3.2. Agriculture	18	#E974ED	
3.2.1. Lavoura Temporária	3.2.1. Temporary Crop	19	#C27BA0	
3.2.1.1. Soja	3.2.1.1. Soybean	39	#f5b3c8	
3.2.1.2. Cana	3.2.1.2. Sugar cane	20	#db7093	
3.2.1.3. Arroz	3.2.1.3. Rice	40	#c71585	
3.2.1.4. Algodão (beta)	3.2.1.4. Cotton (beta)	62	#ff69b4	
3.2.1.5. Outras Lavouras Temporárias	3.2.1.5. Other Temporary Crops	41	#f54ca9	
3.2.2. Lavoura Perene	3.2.2. Perennial Crop	36	#d082de	
3.2.2.1. Café	3.2.2.1. Coffee	46	#d68fe2	
3.2.2.2. Citrus	3.2.2.2. Citrus	47	#9932cc	
3.2.2.3. Dendê	3.2.2.3. Palm Oil	35	#9065d0	
3.2.2.4. Outras Lavouras Perenes	3.2.2.4. Other Perennial Crops	48	#e6ccff	
3.3. Silvicultura	3.3. Forest Plantation	9	#7a5900	
3.4. Mosaico de Usos	3.4. Mosaic of Uses	21	#ffefc3	
4. Área não Vegetada	4. Non vegetated area	22	#d4271e	
4.1. Praia, Duna e Areal	4.1. Beach, Dune and Sand Spot	23	#ffa07a	
4.2. Área Urbanizada	4.2. Urban Area	24	#d4271e	
4.3. Mineração	4.3. Mining	30	#9c0027	
4.4. Outras Áreas não Vegetadas	4.4. Other non Vegetated Areas	25	#db4d4f	
5. Corpo D'água	5. Water	26	#2532e4	
5.1 Rio, Lago e Oceano	5.1. River, Lake and Ocean	33	#2532e4	
5.2 Aquicultura	5.2. Aquaculture	31	#091077	
6. Não observado	6. Not Observed	27	#ffffff	

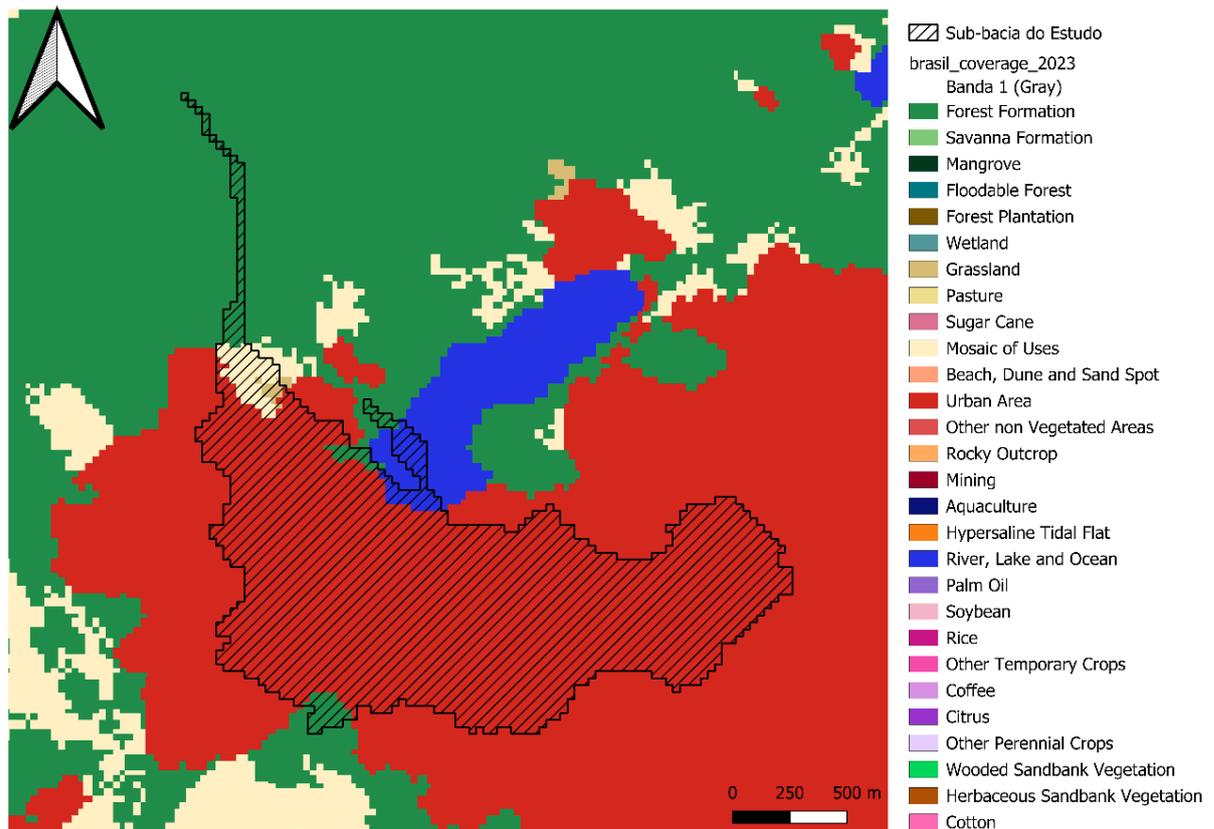
Fonte: MAPBIOMAS, 2023

A classificação foi processada em ambiente SIG, onde os valores de cobertura foram cruzados com informações topográficas da região. Dessa forma, foi possível

quantificar a extensão das áreas verdes e impermeabilizadas dentro da bacia hidrográfica, permitindo a definição dos parâmetros de simulação, posteriormente adotados.

No QGIS, foi possível verificar a coloração já esperada. Foi realizada a medição de cada área dentro da sub-bacia e seu respectivo significado

Figura 23 - Ocupação e uso do solo 2023



Fonte: Autor

O mapa em questão reflete o uso e ocupação do solo em Serra Talhada. Com isso, é possível definir os parâmetros de permeabilidade da bacia. Foi feito um recorte na região da sub-bacia para levantamento de áreas. Foi observado:

Tabela 4 - Uso e ocupação do Solo 2023

Tipos de Área	m ²	km ²
Pastagem	49756	0,049756
Áreas de Floresta	49089	0,049089
Áreas de Floresta	25029	0,025029
Áreas de Floresta	12664	0,012664
Gramma	8104	0,008104
Água	49003	0,049003
Áreas de Floresta	8701	0,008701

Áreas Impermeável	2123254	2,123254
-------------------	---------	----------

Fonte: Autor, 2025

Com esses dados, é possível obter a quantidade da áreas permeáveis e impermeáveis.

Tabela 5 - Área Impermeabilizada

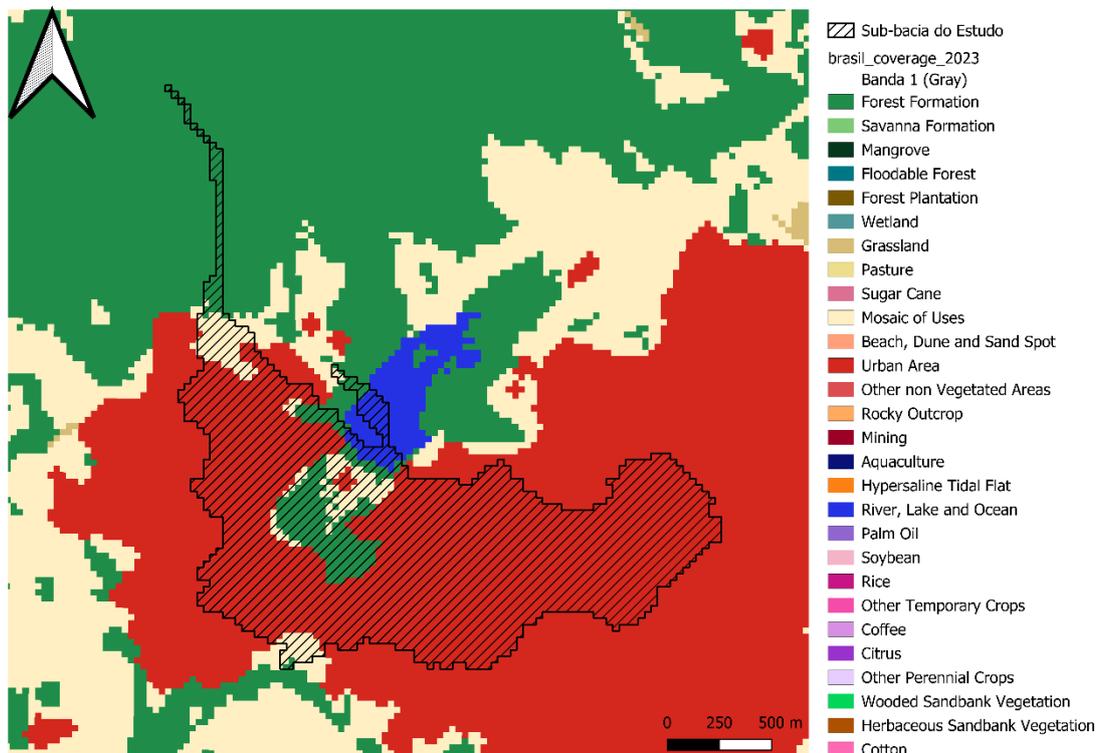
Tipos de Área	m ²	km ²
Áreas Permeáveis	202.346	0,20
Áreas Impermeável	2.123.254	2,12
Total	2325600	2,32

Fonte: Autor

Ou seja, 90,98% da bacia está impermeabilizada. A bacia possui apenas 8,02% de áreas verdes.

Paralelamente, em 2013, a Sub-bacia apresentava valores diferentes quanto a ocupação e uso do solo. Os dados de 2013 também foram adquiridos com o MapBiomas, porém configurado para dados do período de comparação. Segue abaixo o mapa gerado (Figura 24) abaixo:

Figura 24 - Ocupação do Solo 2013



Fonte: Autor

Note que num período de 10 anos de diferença, a quantidade de áreas permeáveis era significativamente maior. A quantidade de áreas impermeabilizadas

Tabela 6 - Áreas permeáveis 2013

Tipos de Área	m ²	km ²
Áreas Permeáveis	457434	0,45
Áreas Impermeável	1868166	1,87
Total	2325600	2,32

Fonte: Autor

É possível observar que o valor de áreas permeáveis em 2013 era de aproximadamente 19,74%, mais que o dobro apresentado em 2023, que representa apenas 8,02% de áreas permeáveis.

3.6.5 Evento Simulado

O evento simulado ocorreu no dia 21/01/2025 e na modelagem hidrológica foi definido um intervalo de 00:00h do dia 21/01/2025 às 00:00h do dia 22/01/2025, para visualizar o comportamento da bacia antes e depois da chuva. Foi configurado um intervalo de tempo para análise de 5 minutos. Ou seja, será necessário fornecer um Pluviograma com informações da quantidade precipitada a cada 5 minutos.

Figura 25 - Parâmetros do Evento

Fonte: Autor

3.6.6 Precipitação Simulada

A precipitação simulada foi realizada entre 00:00h do dia 21/01/2025 por 40 minutos, semelhante a que ocorreu em mesma data em Serra Talhada. A quantidade de precipitação total foi de 28mm.

Tabela 7 - Precipitação Simulada

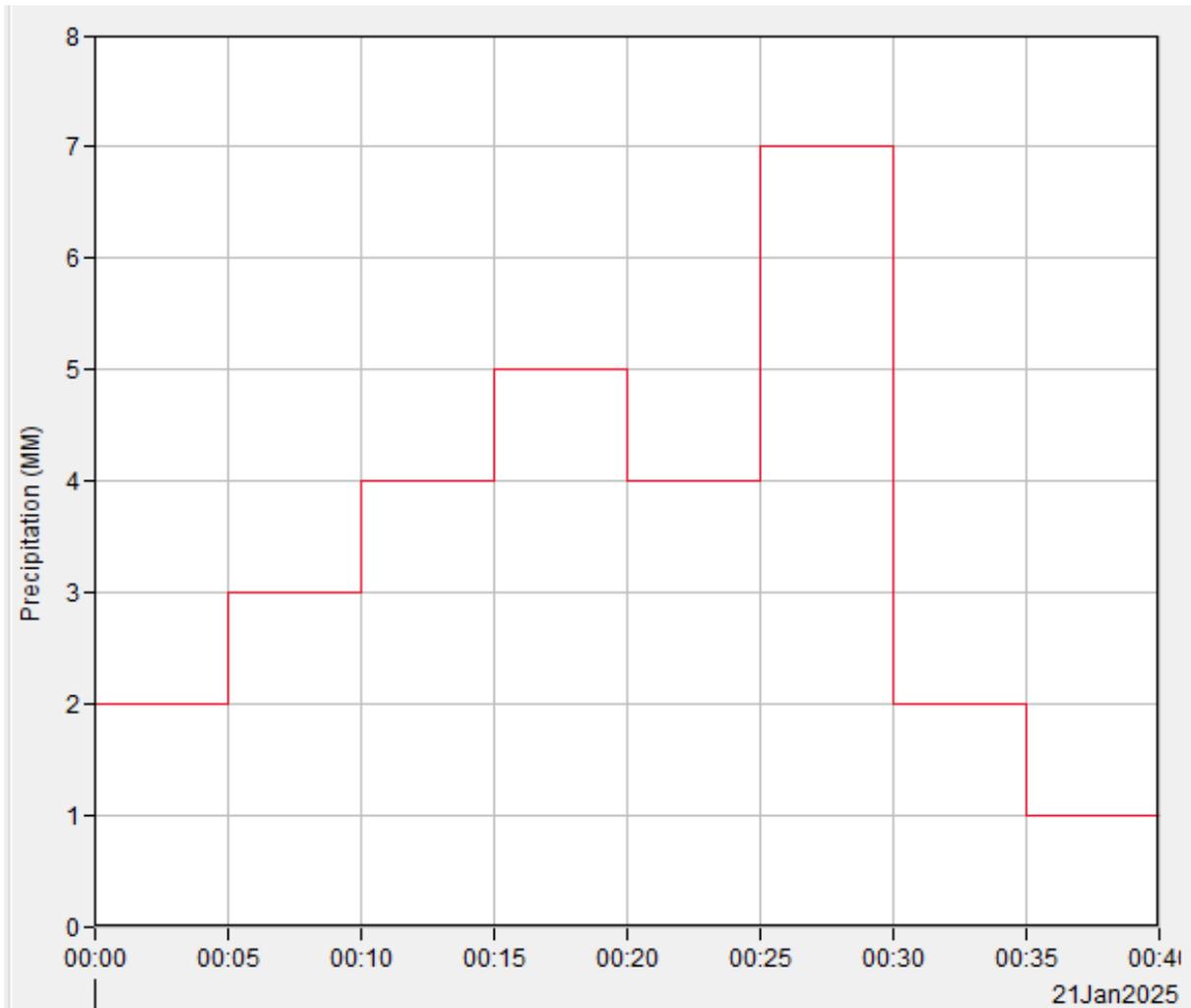
Tempo	Precipitação (mm)
21jan.2025, 00:00	0

21jan.2025, 00:05	2
21jan.2025, 00:10	3
21jan.2025, 00:15	4
21jan.2025, 00:20	5
21jan.2025, 00:25	4
21jan.2025, 00:30	7
21jan.2025, 00:35	2
21jan.2025, 00:40	1

Fonte: Autor

Com isso, é possível gerar o pluviograma da precipitação simulada:

Figura 26 - Pluviograma Simulado



Fonte: Autor, 2025

Essa precipitação foi escolhida por ser semelhante em aspectos físicos em relação a que ocorreu na cidade em mesma data, foram 27mm por 40min no dia 21 de Janeiro de acordo com dados do INMET e Defesa Social (G1, 2025).

As chuvas convectivas ocorrem principalmente devido à diferença de temperatura nas camadas próximas da atmosfera terrestre. São caracterizadas por serem de curta duração porém de alta intensidade e abrangem pequenas áreas.

3.6.7 Simulação hidrológica e cenários analisados

Na simulação, foram adotados 2 cenários. O primeiro reflete ao uso e ocupação do solo de 2023, com a permeabilidade do solo em 90%. O Segundo cenário analisado reflete ao uso e ocupação do solo de 2013, com permeabilidade do solo em 80%. Ambas os valores foram obtidos de acordo com o produto do MapBiomass.

Desse modo, no HEC-HMS, foi realizada uma nova simulação mudando apenas o parâmetro permeabilidade, conforme imagem abaixo:

Figura 27 – Permeabilidades analisadas

Basin Name: BaciaST2 - 80% IMP	Basin Name: BaciaST2 - 90% IMP
Element Name: Bacia Estudada	Element Name: Bacia Estudada
Initial Abstraction (MM) 21,4	Initial Abstraction (MM) 21,4
*Curve Number: 70,3	*Curve Number: 70,3
*Impervious (%) 80	*Impervious (%) 90

Fonte: Autor

O CN foi mantido o mesmo, visto que o intuito é analisar apenas em cenários de impermeabilização diferente, e não em condições de encharcamento do solo.

3.6.8 Geração e análise dos hidrogramas

Após a parametrização completa do modelo hidrológico, a etapa final consiste na geração dos hidrogramas, que representam a resposta da bacia ao evento de precipitação ao longo do tempo. O HEC-HMS processa os dados de entrada – incluindo precipitação, perdas, transformação e propagação de vazões – e gera automaticamente os hidrogramas, permitindo a visualização da evolução da vazão durante o evento simulado.

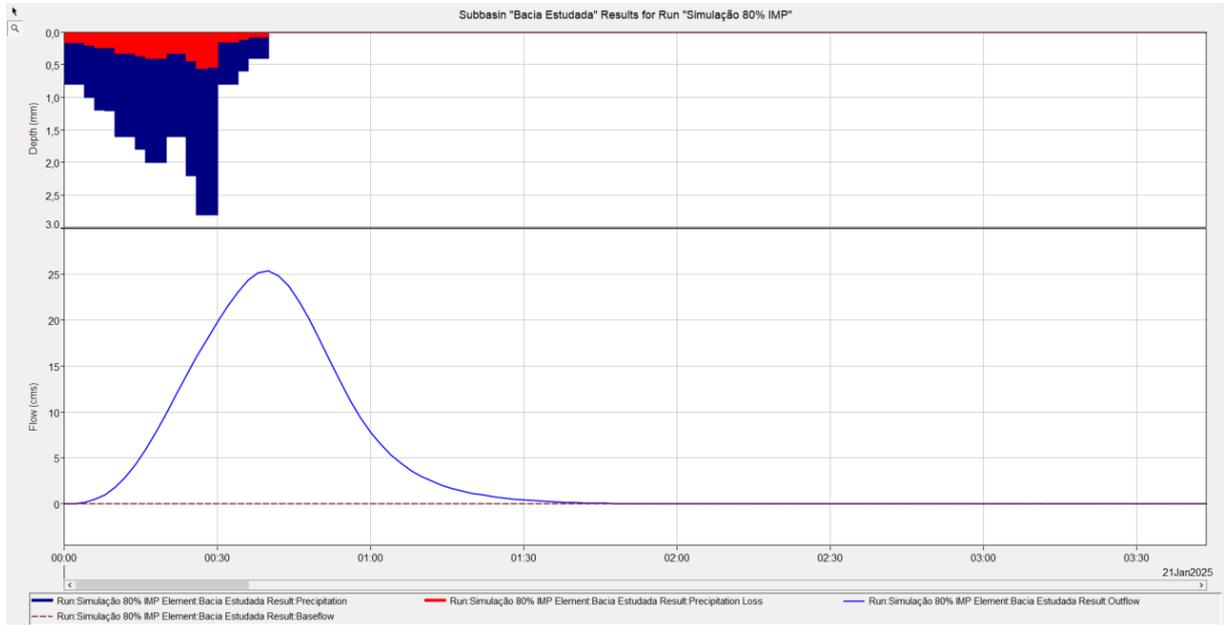
A simulação foi executada para o período definido, e os hidrogramas obtidos refletem a variação da vazão em função do tempo, possibilitando a identificação dos pontos de pico, bem como a distribuição do escoamento superficial. Esses gráficos são fundamentais para compreender a dinâmica hidrológica, pois evidenciam como a bacia responde ao evento pluviométrico, considerando as condições de impermeabilização e as características intrínsecas do terreno.

Na análise dos hidrogramas, foram extraídos parâmetros críticos como o pico de vazão, o tempo até o pico, o volume total de descarga e os volumes associados à infiltração e perdas. Essa extração permitiu comparar a intensidade e a distribuição do escoamento entre os cenários simulados.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Hidrogramas gerados e análise comparativa

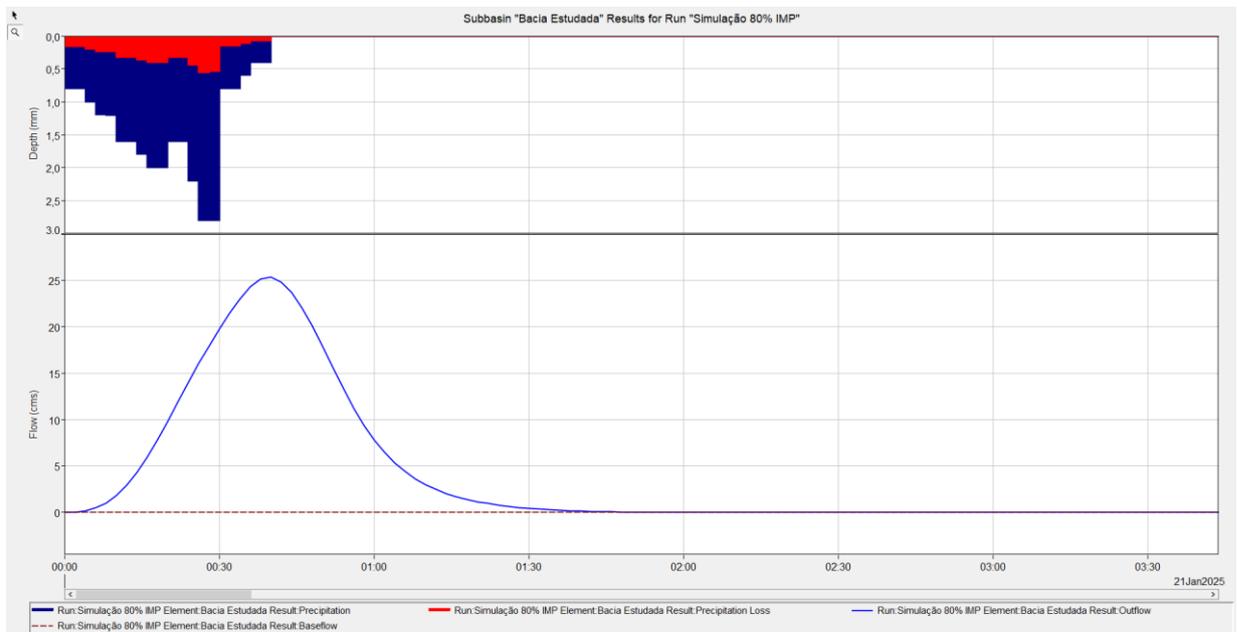
Figura 28 - Hidrograma 80% Impermeabilizada



Fonte: Autor

Abaixo o Hidrograma de área 90% Impermeabilizada, que foi utilizado os parâmetros de uso e ocupação do solo de 2023.

Figura 29 - Hidrograma 90% Impermeabilizada



Fonte: Autor

Também foram gerados os sumários da Sub-bacia estudada. Segue abaixo os parâmetros obtidos em ambas as simulações:

Figura 30 - 90% da Área Impermeabilizada



Fonte: Autor

Figura 31 - 80% da Área Impermeabilizada



Fonte: Autor

Foram simulados dois cenários distintos: um representando a situação atual, com 90% da área impermeabilizada (Simulação 2023), e outro representando o estado da bacia em 2013, com 80% de impermeabilização (Simulação 2013). Essa abordagem permitiu a avaliação dos impactos de uma maior permeabilidade do solo sobre os processos de escoamento superficial e infiltração.

Na simulação correspondente ao cenário atual (90% impermeabilização), os resultados indicaram um pico de vazão de 28,5 m³/s, refletindo a intensidade do escoamento superficial em condições de alta impermeabilidade. Em contrapartida, a

simulação para o cenário de 2013, com 80% de impermeabilização, apresentou um pico de vazão menor, de 25,4 m³/s.

O cenário atual, com 90% de impermeabilização, representa a condição atual da sub-bacia, onde a expansão urbana reduziu significativamente as áreas verdes. Em contraste, o cenário de 80% – obtido a partir de dados históricos de 2013 – reflete uma época em que a cobertura vegetal era mais expressiva, proporcionando uma maior permeabilidade do solo.

Para assegurar que essa diferença de 10% se deve à presença efetiva de áreas verdes e não apenas à existência de solo nu, foi utilizado o conjunto de dados do MapBiomas. Essa ferramenta, baseada em imagens Landsat, permite distinguir claramente entre áreas com vegetação e aquelas sem cobertura, garantindo que o cenário de 80% represente de fato uma condição com maior presença de vegetação e, conseqüentemente, uma menor impermeabilização.

Assim, a redução de 10% na área impermeabilizada observada no cenário de 2013 não é arbitrária, mas reflete mudanças reais no uso e ocupação do solo ao longo dos anos. Essa diferença evidencia que o aumento das áreas impermeabilizadas na atualidade está associado à perda de vegetação, o que acarreta uma resposta hidrológica mais intensa, com picos de vazão mais elevados e menor infiltração.

Portanto, a comparação entre os dois cenários reforça que a intensificação da impermeabilização tem impactos significativos na dinâmica hidrológica da sub-bacia. O cenário de 80% comprova a importância das áreas verdes, pois sua maior presença contribui para a mitigação dos efeitos do escoamento superficial, demonstrando que o estudo está, de fato, investigando o aumento da impermeabilização e não meramente a ocorrência de solo nu.

Além da diferença no pico de vazão, observou-se uma variação significativa no comportamento do solo quanto à infiltração. No cenário atual, a perda de água por infiltração (Loss Volume) foi de 2,76 mm, indicando que uma menor fração da água da chuva foi absorvida pelo solo. Já no cenário de 2013, a perda registrada foi de 5,52 mm, evidenciando que uma maior permeabilidade permitia a infiltração de uma quantidade mais expressiva de água, reduzindo o volume de escoamento superficial.

4.2 Influência das áreas verdes na resposta hidrológica

Portanto, é fato que o uso e ocupação dos solos, principalmente áreas verdes, estão diretamente relacionados ao processo de infiltração e escoamento da água na bacia hidrográfica. É notório a redução no pico de vazão em $3,1\text{m}^3/\text{s}$ é significativo ao desenvolver elementos de drenagem na área urbana e impermeabilizada de Serra Talhada.

Essa redução no pico de vazão demonstra que a diminuição da área impermeável contribui para uma resposta hidrológica menos intensa, o que pode ser vantajoso para mitigar riscos de enchentes e sobrecarga dos sistemas de drenagem.

Portanto, é sugestivo que sejam criadas áreas verdes e permeáveis dentro do perímetro urbano de Serra Talhada. Não apenas para garantir um melhor desempenho de escoamento superficial, mas como também meio para garantir a qualidade de vida dos serratalhadenses.

Técnicas compensatórias, como jardins de chuva e trincheiras de infiltração, representam soluções simples e de baixo custo para a mitigação dos problemas de escoamento em sub-bacias urbanas. No entanto, na sub-bacia em estudo, as áreas que seriam ideais para a implementação dessas técnicas muitas vezes são ocupadas por estacionamentos e espaços destinados à circulação de veículos, o que dificulta a sua aplicação. A remoção desses estacionamentos para viabilizar a implantação das técnicas de drenagem, embora contribua para a redução do escoamento superficial e o aumento da infiltração, pode também gerar desafios relacionados à oferta de vagas e ao fluxo de veículos na região.

Apesar desses obstáculos, a adoção de medidas compensatórias na sub-bacia de Serra Talhada-PE tem o potencial de trazer benefícios significativos para o município. A implementação dessas soluções pode reduzir os episódios de alagamento, contribuindo para a melhoria da qualidade do ambiente urbano e para a proteção da saúde dos moradores, além de minimizar os prejuízos causados aos estabelecimentos comerciais locais. Dessa forma, a integração de técnicas de manejo sustentável do escoamento é essencial para promover um desenvolvimento urbano mais equilibrado e resiliente.

4.3 Implicações para o planejamento urbano sustentável

Esses achados ressaltam a importância da integração de áreas verdes no planejamento urbano. A implementação e a expansão de espaços permeáveis não

apenas melhoram a qualidade ambiental e a estética das cidades, mas também desempenham um papel crucial na modulação do escoamento superficial. Assim, estratégias de preservação e ampliação de áreas verdes podem contribuir significativamente para a resiliência hidrológica das regiões urbanas, proporcionando um ambiente mais seguro e sustentável para as comunidades.

A implementação de soluções baseadas na natureza, como a criação de áreas verdes e sistemas de drenagem sustentável, pode contribuir significativamente para o equilíbrio entre desenvolvimento urbano e preservação ambiental.

5 CONCLUSÃO

5

5.1 Considerações finais

O presente estudo alcançou com êxito seu objetivo de analisar a influência da impermeabilização do solo sobre a dinâmica hidrológica de uma bacia hidrográfica, utilizando o software HEC-HMS para modelagem hidrológica. Conclui-se que foi possível atingir todos os objetivos específicos da pesquisa com êxito e sem contratempos. Além disso, os resultados estão de acordo com o esperado. Além disso, ter esses dados quantificados pode clarear as decisões públicas em relação à criação de áreas verdes e permeáveis no perímetro urbano de Serra Talhada.

Também, o uso do sensoriamento remoto e produtos que avaliam a superfície do solo foram imprescindíveis para a pesquisa. Tal qual os dados topográficos obtidos por meio do QGIS e uso do HEC-HMS, que permitiu uma simulação precisam da precipitação na Sub-bacia de estudo.

5.2 Limitações do estudo

Apesar do sucesso na modelagem hidrológica e na análise comparativa dos cenários simulados, este estudo apresenta algumas limitações que devem ser consideradas na interpretação dos resultados.

O levantamento de áreas verdes foi feito utilizando o MapBiomias, que embora possua uma boa resolução, o ideal seria o levantamento dessas áreas por meio de levantamento topográfico do uso e ocupação da superfície do solo realizada em campo. É sugestivo a adoção do uso de drones para realização deste procedimento.

Por fim, o estudo poderia ser aprimorado por meio da integração com outros modelos hidrológicos e hidráulicos, que permitiriam uma avaliação mais detalhada do comportamento dos fluxos d'água ao longo da rede de drenagem. Um bom exemplo, seria a incorporação do *Hydrologic Engineering Center – River Analysis System* — HEC-RAS.

Existem inúmeros estudos envolvendo a utilização do modelo HEC-RAS para a previsão de áreas inundáveis urbanas e rurais em todo o mundo, em que a geometria da rede de drenagem dos canais (naturais ou artificiais) é georreferenciada em ambiente SIG e integrada ao banco de dados do MDT para extração do modelo do terreno, diferenciando-se apenas no que se refere às resoluções dos MDTs utilizados (CALÇADA et al., 2004; YANG, 2004; KNEBL et al., 2005; YANG et al., 2006; SANTOS, 2009; CUNHA et al., 2012; MEDEIROS; ZANELLA, 2019).

Apesar dessas limitações, os resultados obtidos fornecem uma base sólida para a compreensão dos impactos da impermeabilização do solo na dinâmica hidrológica da bacia, contribuindo para o planejamento e gestão dos recursos hídricos de forma mais sustentável.

5.3 Sugestões para pesquisas futuras

Por fim, recomenda-se que estudos futuros considerem a inclusão de variáveis adicionais, como cenários de eventos climáticos extremos e novas séries temporais, para um planejamento mais abrangente da gestão dos recursos hídricos.

Além disso, é válido realizar a pesquisa para outros parâmetros de CN. Valores com CN mais altos podem simular chuvas em épocas chuvosas. Simular eventuais inundações com o HEC-RAS e o Produto C do GCN250 são indicados.

REFERÊNCIAS

AMARAL, R.; RIBEIRO, R. R. Inundações e enchentes. In: TOMINAGA, L. D.; SANTORO, J.; AMARAL, R (Org.). **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. São Paulo: Instituto Geológico, 2009.

AMATO-LOURENÇO, L. F. et al., **Metrópoles, cobertura vegetal, áreas verdes e saúde**. Estudos avançados, v. 30, n.86 p. 113-130, 2016.

AMORIM, Margarete C. da C. T. **Caracterização das áreas verdes em Presidente Prudente/SP**. In: SPOSITO, Maria Encarnação Beltrão (org). Textos e contextos para a leitura geográfica de uma cidade média. Presidente Prudente: [s. n.], 2001 p. 37-52.

AQUINO, C. M. S., VALLADARES, G. S. **Geografia, Geotecnologias e Planejamento Ambiental**. Geografia (Londrina), v. 22, n.1, p. 117-138, jan/abr. 2013.

ARFELLI, A. C. **Áreas verdes e de lazer: considerações para sua compreensão e definição na atividade urbanística de parcelamento do solo**. Revista de Direito Ambiental, São Paulo, v. 9, n. 33, p. 33-51, jan./mar. 2004.

BAPTISTA, M.; NASCIMENTO, N.; BARRAUD, S. **Técnicas Compensatórias em Drenagem Urbana**. Porto Alegre, ABRH, 2005.

BARGOS, D. C.; MATIAS, L. F. **Áreas verdes urbanas: Um estudo de revisão e propostas conceituais**. Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana (REVSBAU), Piracicaba – SP, v. 6, n. 3, p.172-188, 2011.

BEVEN, K. J. **Changing ideas in hydrology - the case of physically-based models**. J. Hydrol, 1989.

BIAS, E. de S. et al. **Análise da eficiência da vegetação no controle do escoamento superficial: uma aplicação na bacia hidrográfica do rio São Bartolomeu, DF**. Geociências, v. 31, n. 3, p. 411-429. São Paulo: UNESP, 2012.

CALÇADA, M. C.; PORTELA, M. M., MATOS, J. **Análise de cheias e delimitação de zonas inundáveis em Timor Lestes**. In: CONGRESSO DA ÁGUA, 7., 2004. Anais... Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos, 2004.

CARVALHO, D. F.; SILVA, L. D. B. **Apostila de Hidrologia**, Capítulo 7. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Departamento de Engenharia, 2006.

CASTRO, L. Q. **Mapeamento da linha de costa e avaliação da vulnerabilidade e susceptibilidade à erosão costeira entre a foz do rio São João e a foz do rio Una - Cabo Frio/ RJ**. 2020.

COLLISCHONN, W.; TASSI, R. **Introduzindo hidrologia: Volume de escoamento: método SCS**. Ed. da Universidade: IPH – UFRGS. 2008. p. 60-61 (Verção 5). 155 p

FRANCO, E. J. **Dimensionamento de bacias de retenção das águas pluviais com base no método racional**. Dissertação(Mestrado) .Pós-graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná. Paraná Dez 2004.

FREITAS, L.E et al. **Atlas Ambiental da Bacia Hidrográfica do Rio Macaé**. Rio de Janeiro: Editora Nova Tríade do Brasil Ltda, 2015. p. 96.

G1. **Municípios do interior de PE recebem alerta vermelho de chuvas intensas com 'grande perigo'; confira cidades que podem ser atingidas por ventos de até 100km/h** Disponível em: <https://g1.globo.com/pe/caruaru-regiao/noticia/2025/02/05/municipios-do-interior-de-pe-recebem-alerta-vermelho-de-chuvas-intensas-com-grande-perigo-confira-cidades-que-podem-ser-atingidas-por-ventos-de-ate-100kmh> Acesso em: 05 de Fevereiro de 2025.

GIRÃO, O.; CORRÊA, A. C. B.; GUERRA, A. J. T. **Encostas urbanas como unidades de gestão e planejamento, a partir do estudo de áreas a sudoeste da cidade do Recife – PE**. Revista de Geografia. Recife: UFPE – DCG/NAPA, v. 24, no 3, set/dez. 242-267. 2007.

FULLER, B. B.; TEODORO, V. L. I.; TEIXEIRA D.; COSTA, D. J. L. **O Conceito De Bacia Hidrográfica E A Importância Da Caracterização Morfométrica Para O Entendimento Da Dinâmica Ambiental Local**. REVISTA UNIARA, n.20, 2007.

JAAFAR, H.; AHMAD, F. **GCN250, global curve number datasets for hydrologic modeling and design**. figshare. 2019. Dataset. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.7756202.v1>

JAAFAR, H.; AHMAD, F., BEYROUTHY N. **GCN250, new global gridded curve numbers for hydrologic modeling and design**. Sci Data. 2019 Aug 12;6(1):145. doi: 10.1038/s41597-019-0155-x.

JÚNIOR, A. R. B. **Elementos de Hidrologia Aplicada - Notas de Aula**. Universidade Federal de Ouro Preto, Departamento de Engenharia Civil. Sem Data (s/d).

LIMA, A. M. L. P.; CAVALHEIRO, F.; NUCCI, J.C.; SOUSA, M.A.L.B.; FILHO, N. DEL PICCHIA, P.C.D. **Problemas de utilização na conceituação de termos como espaços livres, áreas verdes e correlatos**. In: CONGRESSO DE ARBORIZAÇÃO URBANA. 2, 1994, São Luís, MA Anais... São Luís: SBAU, 1994. p. 539-553.

LIMA, V.; AMORIM, M. C. C. T. **A Importância Das Áreas Verdes Para A Qualidade Ambiental Das Cidades**. 2006.

LLARDENT, L. R. A. **Zonas verdes y espacios libres en la ciudad**. Madrid: Closas Orcoyen, 1982. 538 f.

LOBODA, C. R. **Estudo das áreas verdes urbanas de Guarapuava-PR**. 2003. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Estadual de Maringá, Maringá/PR.

MANO, E. R. C. **Estudo de Bacias de Retenção como solução para situações crescentes de urbanização**. FEUP Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Mestrado Integrado em Engenharia Civil; Departamento De Engenharia Civil. Dissertação (Mestrado). Porto, 2008.

MAPBIOMAS. **MapBiomas General “Handbook”**. Collection ed. 2023.

MARINO, T. B.; XAVIER, J S.; QUINTANILHA, J. A. **Metodologia Para Tomada De Decisão No Âmbito De Riscos Sócio-Ambientais Em Áreas Urbanas: Desmoronamentos E Enchentes Em Assentamentos Precários Na Bacia Do Córrego Cabuçu De Baixo - Sp**. Revista Brasileira de Cartografia, [S. l.], v. 64, n. 1, 2012. DOI: 10.14393/rbcv64n1-43779.

MATIAS, M. G. B. **Bacias de retenção: estudo de métodos de dimensionamento**. FEUP Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Mestrado Integrado em

Engenharia Civil; Departamento De Engenharia Civil. Dissertação (Mestrado). Porto, 2006.

MAZZEI, K.; COLESANTI, M. T. M.; SANTOS, D. G. **Áreas verdes urbanas, espaços livres para o lazer**. Revista Sociedade & Natureza, Uberlândia, v.19, n.1, p. 33-43, 2007.

MELLO, C. R. D.; SILVA, A. M. D. **Hidrologia: princípios e aplicações em sistemas agrícolas**. 1. ed. Lavras: UFLA, 2013.

MIRANDA, R. A. C.; OLIVEIRA, M. V. S.; SILVA, D. F. **Ciclo Hidrológico Planetário: Abordagens e Conceitos**. Revista Geo UERJ, v. 1, n. 21, p.109-119. 2010.

MORALES CERDAS, V.; PIEDRA CASTRO, L. & ROMERO, M. & BERMÚDEZ-ROJAS, T. **Indicadores ambientales de áreas verdes urbanas para la gestión en dos ciudades de Costa Rica**. Revista de biologia tropical. 2018. 66. 1421-1435. 10.15517/rbt.v66i4.32258.

MOURA, M. T. M. **Uso e cobertura vegetal em Áreas de Preservação Permanente (APP) da bacia de captação do açude João Lira Magalhães, Itapajé-Ce**. Monografia (Especialização em Geoprocessamento aplicado à Análise Ambiental e Recursos Hídricos) – Universidade Estadual do Ceará. 2017.

NAKAZONE, LUCIA MIDORI. **Implantação de Reservatórios de Detenção em Conjuntos Habitacionais: a Experiência da CDHU**. Dissertação (Mestrado) apresentada à Escola Politécnica da USP em 2005.

NEVES, Y.T. **Modelagem Hidrológica E Hidrodinâmica Acoplada 1d/2d Utilizando Imagens De Perfilamento A Laser**. Recife. p16. 2019.

NOTÍCIAS, Farol de. **ST registra cerca de 40 mm de chuvas e transtornos nesta 5ª (16)**. Disponível em: <https://faroldenoticias.com.br/serra-talhada-registra-40-mm-de-chuvas/> Acesso em: 05/02/2025

PAZ, Adriano R. D.; TUCCI, Carlos E. M. ; COLLISCHONN, Walter. **Simulação Hidrológica de Rios com Grandes Planícies de Inundação**. RBRH — Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 15, p. 31-43, 2010.

PERCHÉ, E.A., **SIMULAÇÃO HIDROLÓGICA DA BACIA DE DETENÇÃO SANTA LÚCIA UTILIZANDO O PROGRAMA HEC-HMS**. Belo Horizonte, 2015.

PIROLI, E. L. **Bacias hidrográficas: definições e representação**. In: **Água e bacias hidrográficas: planejamento, gestão e manejo para enfrentamento das crises hídricas [online]**. São Paulo: Editora UNESP, 2022, pp. 43-62. ISBN: 978-65-5714-298-1. <https://doi.org/10.7476/9786557142981.0004>.

QUAGLIOLO, C.& COMINO E. & PEZZOLI, A. **Experimental Flash Floods Assessment Through Urban Flood Risk Mitigation (UFRM) Model: The Case Study of Ligurian Coastal Cities**. *Frontiers in Water*. 2021.

SAMPAIO, A. C. P.; CORDEIRO, A. M. Nunes; BASTOS, F. de H. **Susceptibilidade à erosão relacionada ao escoamento superficial na sub-bacia do Alto Mundaú, Ceará, Brasil**. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 9, n. 01, p. 125-143, 2016.

SANTOS, F. M.; LOLLO, J. A. **Cartografia digital para estimativa de escoamento superficial visando ao planejamento urbano**. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 21, n. 4, p. 663–675, out. 2016.

SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. **Conceitos de Bacias Hidrográficas: Teorias e Aplicações**. 2002.

SILVA, L.P. **Hidrologia: engenharia e meio ambiente**. Rio de Janeiro: Elsevier. 330 p. 2015.

SILVEIRA, A.L.L. **Desempenho de Fórmulas de Tempo de Concentração em Bacias Urbanas e Rurais**. 2005. *RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos* Volume 10 n.1 Jan/Mar 2005, 5-23.

TUCCI, C. E. M. & CLARKE, R. T. **Impacto das mudanças de cobertura vegetal no escoamento: Revisão**. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 2, nº 1, p. 135-52. 1997.

TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 4. ed. Porto Alegre: UFRGS/ABRH. 944 p. 2015.

TUCCI, C. E. M. **Modelos hidrológicos**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 2005. 678 p.

TUCCI, C. E. M. **Hidrologia Ciência e Aplicação**. Porto Alegre: Ed. da UFRGS /Associação Brasileira de Recursos Hídricos 2012.

TUCCI, C. E. M. **Simulação Hidrológica de Grandes Bacias**. Porto Alegre. 2001.

TUNDISI, José G. **Ciclo hidrológico e gerenciamento integrado**. Ciência e Cultura, v. 55, p. 31-33, 2003.

ZHANG, B. et al. **Effect of urban green space changes on the role of rainwater runoff reduction in Beijing, China**. Landscape and Urban Planning, v.140, p.8-16, 2015. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S016920461400276X>. Acesso em 28 de Outubro, 2022.