



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS GEOGRÁFICAS
CURSO DE LICENCIATURA EM GEOGRAFIA

GABRIEL ANTONIO SILVA SOARES

SEGURANÇA HÍDRICA NO SEMIÁRIDO: Análise sistêmica das características físicas e hidroclimáticas da bacia hidrográfica do Riacho Cachoeira, Serra Talhada/PE e percepções sobre a formação docente

Recife

2022

GABRIEL ANTONIO SILVA SOARES

SEGURANÇA HÍDRICA NO SEMIÁRIDO: Análise sistêmica das características físicas e hidroclimáticas da bacia hidrográfica do Riacho Cachoeira, Serra Talhada/PE e percepções sobre a formação docente

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Licenciatura em Geografia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de licenciado em Geografia.

Orientador (a): Josiclêda Domiciano Galvíncio.

Recife

2022

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Soares, Gabriel Antonio Silva.

Segurança hídrica no semiárido: análise sistêmica das características físicas e hidroclimáticas da bacia hidrográfica do Riacho Cachoeira, Serra Talhada/PE e percepções sobre a formação docente / Gabriel Antonio Silva Soares. - Recife, 2022.

75 : il., tab.

Orientador(a): Josiclêda Domiciano Galvício

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Filosofia e Ciências Humanas, Geografia - Licenciatura, 2022.

1. Gestão de recursos hídricos . 2. Manejo de bacias hidrográficas. 3. Modelagem hidrológica. 4. Segurança hídrica. 5. Educação ambiental. I. Galvício, Josiclêda Domiciano. (Orientação). II. Título.

550 CDD (22.ed.)

GABRIEL ANTONIO SILVA SOARES

SEGURANÇA HÍDRICA NO SEMIÁRIDO: Análise sistêmica das características físicas e hidroclimáticas da bacia hidrográfica do Riacho Cachoeira, Serra Talhada/PE e percepções sobre a formação docente

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Licenciatura em Geografia da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para obtenção do título de licenciado em Geografia.

Aprovado em: 03/11/2022

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Josiclêda Domiciano Galvêncio (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Prof^a. Dr^a. Maria Fernanda Abrantes Torres (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco (UFPE)

Dr^a. Joélia Natália Bezerra da Silva (Examinador Externo)
Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia de Pernambuco (FACEPE)

Aos meus pais Vânia e Daniel, e ao meu irmão Heitor, por sempre confiarem em mim e estarem ao meu lado.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus e à espiritualidade amiga, que até aqui me guiou e fortaleceu. Gostaria de agradecer de início a mim mesmo, por toda a perseverança, ainda que diante das adversidades.

Aos meus pais Daniel Soares e Vânia Silva, por sempre terem me apoiado e incentivado nesta caminhada, não seria quem eu sou sem vocês! Minha eterna gratidão por tudo que fazem por mim, amo vocês!

Ao meu irmão Heitor Soares, por trazer luz à minha vida, todos os momentos ao seu lado são preciosos, te amo incondicionalmente! Ao meu primo/irmão Gilson Vieira, por ter estado ao meu lado em todos os passos da minha vida, você foi e sempre será meu companheiro nessa jornada.

A todos os familiares e parentes que de alguma forma contribuíram para minha formação pessoal e acadêmica, vocês são essenciais na minha caminhada. Aos meus avós paternos Maria de Fátima e Antônio Alberto, por me fazerem sentir sempre tão querido. Aos meus avós maternos Antônio José (in memoriam) e Sebastiana Cabral (in memoriam), por terem em vida se dedicado tanto a mim. À minha tia Olga Vieira, por ser para mim uma segunda mãe, e sempre ter me dado muito amor e carinho. À minha tia Alice Soares, por ser um exemplo de dedicação aos estudos.

Aos amigos que fiz ao longo dessa vida, que me fizeram sentir querido e com quem compartilhei bons momentos que estarão sempre guardados em minha memória. Em especial à Evelyn Autran, por ter me ensinado que a vida é bem melhor quando nos permitimos sonhar. E a Rayane Roque, por compartilhar comigo tantos momentos, que vão de conversas bobas e descontraídas a reflexões extremamente importantes.

Aos amigos que fiz na graduação, que tornaram essa jornada acadêmica muito mais leve e divertida. Em especial aos meus Ícones Geográficos, que espero levar para toda a vida! Meu muito obrigado Alessandra Santana, Ana Vitória, André Vinicius, Camila Gardenea, Daniel Ribeiro, Janete Nascimento, Juliana Barros, Lívia Ferreira, Thainá Caetano, Vanessa Pereira e Victor Gustavo. Uma das melhores partes da graduação foi compartilhar os surtos coletivos ao longo desses caóticos e inesquecíveis anos com todos vocês.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo auxílio financeiro para a realização desta pesquisa.

À minha orientadora, Josiclêda Galvíncio, por todas as oportunidades de aprendizado, por ser um exemplo pessoal e profissional, e por possibilitar o meu desenvolvimento acadêmico no decorrer desses anos.

Aos membros do Laboratório de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento - SERGEO, por todo o conhecimento e risadas compartilhadas. Em especial à Jadson Freire, por todos os ensinamentos e direcionamentos; e a Joélia Bezerra, por ter aceitado participar desta banca e contribuir neste trabalho.

À Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), por transformar definitivamente a minha vida. Ao Departamento de Ciências Geográficas, todos os seus professores e funcionários, por todo o aprendizado ao longo da graduação. Especialmente à professora Maria Fernanda Abrantes Torres, por ter aceitado compor a banca e contribuir neste trabalho.

E a todos que de alguma forma contribuíram na minha jornada pessoal e acadêmica, possibilitando que eu me tornasse hoje, quem sou. Do fundo do meu coração, o meu mais sincero, muito obrigado!

Os sonhos são como uma bússola, indicando os caminhos que seguiremos e as metas que queremos alcançar. São eles que nos impulsionam, nos fortalecem e nos permitem crescer.

Augusto Cury

RESUMO

O estudo da disponibilidade de água é uma ferramenta indispensável para a gestão dos recursos hídricos em bacias hidrográficas do semiárido nordestino, onde o déficit hídrico é alto. Para compreender os processos que influenciam na disponibilidade de água e ocorrência de eventos extremos em uma bacia hidrográfica, podem ser utilizadas novas tecnologias, capazes de representar de forma satisfatória os processos atuantes e subsidiar análises sistêmicas do comportamento da água em uma bacia. Entender o comportamento da água na superfície, a partir de um olhar integrador, é de extrema importância para mitigar e prever a ocorrência de eventos extremos que vão de períodos de longa estiagem, a enchentes devastadoras, o que justifica a utilização de metodologias que representem precisamente a realidade dos processos hidrológicos, subsidiando importantes informações para as esferas políticas, sociais e pedagógicas, atuando diretamente na conscientização da população acerca das emergências hidroclimáticas e no desenvolvimento de projetos que as mitiguem. Diante deste cenário, a adoção de modelos hidrológicos e dados de alta resolução, como o SUPER e o LiDAR, ferramentas que estão disponíveis atualmente para a gestão das bacias hidrográficas de Pernambuco, se apresentam como opções diferenciadas para a obtenção de dados precisos sobre bacias hidrográficas. Entre as bacias do semiárido de Pernambuco, encontra-se a bacia do Rio Pajeú, que tem como um de seus afluentes principais o Riacho Cachoeira, localizado na cidade de Serra Talhada, que assim como a maior parte da região, enfrentou severos períodos de seca nos últimos anos, afetando diretamente na disponibilidade de água para a o abastecimento da população, cenário que evidencia a necessidade do desenvolvimento de pesquisas e estudos voltados para compreensão da dinâmica hidroclimática nesta área. A análise sistêmica da bacia do Riacho Cachoeira, subsidiada pela caracterização fisiográfica e pela análise do balanço hídrico superficial, apontou que a sub-bacia está mais sujeita à eventos de escassez hídrica, já que suas características físicas não a tornam propícia a enchentes. O balanço hídrico superficial obtido para os anos entre 1961-2021 indicou índices consideráveis de precipitação média anual para a bacia, especialmente quando comparados ao regime de outras bacias da mesma região; foram encontrados ainda níveis altamente elevados de perda de água no sistema, indicando que cerca de 42% da água pluvial é evapotranspirada, em consequência principalmente das características climáticas na área da bacia. Compreender a relação entre estes fatores possibilitou uma visão ampla dos processos que atuam na bacia e um melhor entendimento sobre as causas das problemáticas hidroclimáticas que assolam a área de estudo a partir de um olhar integrador podendo subsidiar informações que impactem positivamente na gestão dos recursos hídricos. Investigar como estas temáticas estão sendo abordadas no campo pedagógico, é de extrema importância para desenvolver projetos de gestão que estejam alinhados aos interesses sociais e atuem na conscientização social através da educação, e por este motivo é indispensável entender como a formação docente capacita os futuros profissionais da educação, seus déficits e anseios diante dos desafios contemporâneos da sala de aula.

Palavras-chave: conscientização ambiental; gestão de bacias hidrográficas; geotecnologias; modelagem hidrológica; recursos hídricos.

ABSTRACT

The study of water availability is an indispensable tool for the management of water resources in watersheds located in the northeastern semi-arid region, where the water deficit is high. To understand the processes that influence the availability of water and the occurrence of extreme events in a watershed, new technologies can be used, capable of satisfactorily representing the active processes and supporting systemic analyzes of the behavior of water in a watershed. Understanding the behavior of water on the surface, from an integrative perspective, is extremely important to mitigate and predict the occurrence of extreme events ranging from periods of long drought to devastating floods, which justifies the use of methodologies that accurately represent the reality of hydrological processes, subsidizing important information for the political, social and pedagogical spheres, acting directly in the population's awareness about hydroclimatic emergencies and in the development of projects that mitigate them. Given this scenario, the adoption of hydrological models and high-resolution data, such as SUPer and LiDAR, tools that are currently available for the management of watersheds in Pernambuco, are presented as different options for obtaining accurate data on watersheds. Among the watersheds of the semi-arid region of Pernambuco, there is the the Pajeú River watershed, which has as one of its main tributaries the Riacho Cachoeira, located in the city of Serra Talhada, which, like most of the region, faced severe periods of drought in recent years, directly affecting the availability of water to supply the population, a scenario that highlights the need to develop research and studies aimed at understanding the hydroclimatic dynamics in this area. The systemic analysis of the Riacho Cachoeira watershed, supported by the physiographic characterization and the analysis of the superficial water balance, indicated that the sub-basin is more subject to water scarcity events, since its physical characteristics do not make it suitable for floods. The surface water balance obtained for the years between 1961-2021 indicated considerable average annual precipitation rates for the watershed, especially when compared to the regime of other watersheds in the same region; High levels of water loss were also found in the system, indicating that around 42% of the rainwater is evapotranspired, mainly as a result of the climatic characteristics of the watershed area. Understanding the relationship between these factors allowed a broad view of the processes that operate in the watershed and a better understanding of the causes of the hydroclimatic problems that plague the study area from an integrative perspective, being able to subsidize information that positively impact the management of water resources. Investigating how these themes are being addressed in the pedagogical field is extremely important to develop management projects that are aligned with social interests and act in social awareness through education, and for this reason it is essential to understand how teacher training trains future professionals of education, its deficits and desires in the face of contemporary challenges in the classroom.

Keywords: environmental awareness; watershed management; geotechnologies; hydrological modeling; water resources.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1:	Localização da bacia hidrográfica do Riacho Cachoeira, PE	29
Figura 2:	Mapa de solos da Bacia do Riacho Cachoeira, PE	31
Figura 3:	Mapa da drenagem principal da Bacia do Riacho Cachoeira, PE	32
Figura 4:	Mapa de uso e ocupação do solo na Bacia do Riacho Cachoeira, PE	33
Figura 5:	Ordem dos canais da bacia do Riacho Cachoeira, PE	45
Figura 6:	Direção dos fluxos da bacia do Riacho Cachoeira, PE	46
Figura 7:	Acúmulo dos fluxos da bacia do Riacho Cachoeira, PE	46
Figura 8:	Altimetria da bacia do Riacho Cachoeira, PE	49
Figura 9:	Declividade da bacia do Riacho Cachoeira, PE	50
Figura 10:	Comparação entre os canais obtidos com o LiDAR e com o SRTM	52
Figura 11:	Representação gráfica do balanço hídrico superficial da bacia do Riacho Cachoeira, PE	54
Figura 12:	Gráfico das médias diárias históricas de precipitação da bacia do Riacho Cachoeira, PE	56
Figura 13:	Gráfico das médias diárias históricas de escoamento superficial da bacia do Riacho Cachoeira, PE	58
Figura 14:	Gráfico das médias diárias históricas de evapotranspiração real da bacia do Riacho Cachoeira, PE	59
Figura 15:	Percepção dos graduandos em Licenciatura em Geografia da UFPE sobre a importância do ensino da Segurança Hídrica	61
Figura 16:	Percepção dos graduandos em Licenciatura em Geografia da UFPE sobre os incentivos da universidade para capacitação	62
Figura 17:	Percepção dos graduandos em Licenciatura em Geografia da UFPE sobre a importância da formação continuada	63
Figura 18:	Percepção dos graduandos em Licenciatura em Geografia da UFPE sobre a importância do desenvolvimento de pesquisas sobre Segurança Hídrica	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1:	Comandos de entrada para modelagem na plataforma SUpEr	41
Tabela 2:	Resultados da caracterização geométrica da bacia do Riacho Cachoeira, PE	44
Tabela 3:	Resultados da caracterização hidrográfica da bacia do Riacho Cachoeira, PE	48
Tabela 4:	Resultados da caracterização do relevo da bacia do Riacho Cachoeira, PE	50
Tabela 5:	Médias anuais para o balanço hídrico da bacia do Riacho Cachoeira, PE	54

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

APAC	Agência Pernambucana de Águas e Clima
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
ITEP	Instituto de Tecnologia de Pernambuco
LiDAR	<i>Light Detection and Ranging</i>
MDE	Modelo Digital de Elevação
MDT	Modelo Digital de Terreno
MMA	Ministério do Meio Ambiente
ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
ONU-ÁGUA	Organização das Nações Unidas - Água
PBMC	Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas
PE3D	Pernambuco Tridimensional
PNEA	Plano Nacional de Educação Ambiental
PNHR	Plano Nacional de Recursos Hídricos
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SRTM	<i>Shuttle Radar Topography Mission</i>
SUPer	Sistema de Unidade de Respostas Hidrológicas para Pernambuco
SWAT	<i>Soil and Water Assessment Tool</i>

TAMU	Universidade A&M do Texas
UFCG	Universidade Federal de Campina Grande
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
UFRPE	Universidade Federal Rural de Pernambuco
UPs	Unidades de Planejamento
URHs	Unidades de Resposta Hidrológica
USDA	Departamento de Agricultura dos Estados Unidos
USGS	<i>United States Geological Survey</i>
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	16
1.1	Objetivos.....	19
1.1.1	Objetivo geral.....	19
1.1.2	Objetivos específicos.....	19
2.	REVISÃO DA LITERATURA.....	20
2.1	Caracterização de bacias hidrográficas.....	20
2.2	Balço hídrico como ferramenta de gestão.....	23
2.3	Modelagem hidrológica: <i>Soil And Water Assessment Tool (SWAT)</i>.....	24
2.4	Gestão de bacias hidrográficas em Pernambuco: O SUPer.....	25
2.5	ODS e Segurança Hídrica na Educação.....	26
3.	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	28
3.1	Clima.....	29
3.2	Vegetação.....	30
3.3	Solos.....	30
3.4	Hidrografia.....	31
3.5	Uso e ocupação do solo.....	32
4.	MATERIAL E MÉTODOS.....	34
4.1	Caracterização fisiográfica.....	34
4.1.1	Obtenção dos dados.....	34
4.1.2	Obtenção dos parâmetros físicos.....	34
4.1.2.1	<i>Parâmetros geométricos.....</i>	<i>35</i>
4.1.2.2	<i>Parâmetros hidrográficos.....</i>	<i>36</i>
4.1.2.3	<i>Parâmetros topográficos.....</i>	<i>37</i>
4.2	Modelagem Hidrológica.....	38
4.2.1	Processos realizados com o SUPer.....	39
4.3	Segurança Hídrica na Educação.....	41
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
5.1	Caracterização fisiográfica da bacia do Riacho Cachoeira.....	43

5.1.1	Caracterização geométrica.....	43
5.1.2	Caracterização hidrográfica.....	44
5.1.3	Caracterização topográfica.....	48
5.1.4	Comparação dos resultados obtidos com o MDE LiDAR e o MDE SRTM.....	51
5.2	Balço hídrico superficial da bacia do Riacho Cachoeira.....	52
5.2.1	Análise do balanço hídrico superficial.....	53
5.3	Segurança Hídrica na formação de professores.....	59
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	65
	REFERÊNCIAS.....	67

1 INTRODUÇÃO

Ao longo dos últimos anos, a reflexão em torno da disponibilidade de água e a crise hidrológica foi consideravelmente incorporada às discussões sociais e científicas, gravitando principalmente em torno do acesso à água no futuro. Somlyódy e Varis (2006) apontam que os desdobramentos da crise da água são principalmente decorrentes de dois fatores: os problemas vigentes relacionados à escassez hídrica e ao aumento populacional, e a má gestão dos recursos, tendo em vista que os processos atuantes nas bacias hidrográficas ainda são estudados de forma fragmentada, sem a preocupação de prever as possíveis problemáticas hidroclimáticas e seus impactos. Considerando este panorama, Tundisi e Matsumura-Tundisi (2008) apontam que uma base de dados sólida, subsidiada por pesquisas atuais sobre as condições hidrográficas de bacias, podem ser uma das formas mais eficazes de combater os problemas relacionados à água, como a escassez hídrica, a precarização do acesso aos recursos hídricos, e os eventos extremos.

A disponibilidade hídrica superficial se apresenta como uma informação indispensável para a gestão dos recursos de uma bacia hidrográfica, contemplando tomadas de decisões que abrangem interesses agrícolas, industriais, sociais, e de diversas outras instâncias compreendidas nas atividades humanas. Soares e Galvêncio (2020) apontam que a gestão dos recursos hídricos superficiais influencia diretamente no desenvolvimento socioeconômico da população, compreendendo a tomada de decisões e o desenvolvimento de projetos, com o objetivo principal de promover o acesso à água de qualidade, nos dias de hoje, e para as gerações futuras.

Desde a homologação do Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), estabelecido pela Lei nº 9.433 de 1997, as bacias hidrográficas são consideradas unidades territoriais de planejamento político, hídrico e social, portanto, a realização de estudos e pesquisas que se ocupem de compreender a disponibilidade de água e o seu comportamento na superfície, sobretudo em bacias hidrográficas localizadas em áreas semiáridas, são de extrema importância para o desenvolvimento de políticas públicas que assegurem o direito à água e subsidiem uma melhor gestão dos recursos hídricos (BRASIL, 1997).

Compreendendo que a água, assim como aponta Tucci (2004), é um recurso natural limitado e que tende a se tornar cada vez mais escasso em decorrência das

altas demandas populacionais e das mudanças climáticas, é preciso que se desenvolvam cada vez mais estudos que objetivem investigar a garantia do acesso à água, buscando entender sistemicamente como as características naturais de uma bacia hidrográfica e os impactos das mudanças climáticas em seus padrões, associados à má gestão de seus recursos hídricos, têm influenciado diretamente na disponibilidade de água para suprir as necessidades humanas (ABBASPOUR et al., 2015; FRANÇA et al., 2020).

A situação do semiárido nordestino, no que tange à questão do abastecimento hídrico é ainda mais preocupante, pois como afirma Carvalho (2019), nas áreas onde as distribuições dos índices pluviométricos são irregulares e os níveis de evaporação são elevados em decorrência das altas temperaturas, o acesso à água é ameaçado. Diante das mudanças climáticas e da má gestão de dos recursos hídricos, o semiárido tende a vivenciar um cenário ainda mais alarmante nos próximos anos. Segundo o Relatório do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC, 2014), é provável que ocorra até 2040 uma redução de 20% nos índices de precipitação no semiárido, o que possivelmente intensificará ainda mais o quadro de insegurança hídrica na região, que é recorrentemente afetada por eventos extremos em decorrência dos padrões irregulares de precipitação em escalas espaço-temporal, caracterizados tanto pela escassez hídrica decorrente de severos períodos de seca e estiagem, quanto pela ocorrência de inundações e enchentes resultantes da concentração da pluviosidade em eventos de precipitação intensa (MACÊDO e DE OLIVEIRA SANTOS, 2021). Neste contexto, o acesso aos recursos hídricos nas bacias hidrográficas semiáridas, que já é precário, se torna ainda mais turbulento, ameaçando a segurança hídrica da população. A Organização das Nações Unidas (ONU) define segurança hídrica como:

A capacidade de uma população de salvaguardar o acesso sustentável a quantidades adequadas de água de qualidade, garantindo: meios de sobrevivência, o bem-estar humano, o desenvolvimento socioeconômico; para assegurar proteção contra poluição e desastres relacionados à água, e para preservação de ecossistemas em um clima de paz e estabilidade política (ONU-ÁGUA, 2013).

No semiárido pernambucano está situada a maior bacia hidrográfica do estado, a bacia do rio Pajeú. Considerado um dos principais afluentes do Rio São Francisco, o rio Pajeú desempenha um papel de extrema importância para o abastecimento de água na região (FRANÇA, 2017). Segundo o Plano de Recursos Hídricos da bacia

hidrográfica do Rio São Francisco, o balanço hídrico superficial para seus rios afluentes indica uma sobre-exploração dos recursos hídricos disponíveis e conflitos sobre a utilização da água, apontando que a disponibilidade hídrica superficial na bacia do Rio Pajeú se encontra em um estado muito crítico (CBHSF, 2016). Na vasta extensão da bacia do rio Pajeú estão presentes importantes reservatórios, como o Cachoeira II em Serra Talhada, localizado na sub-bacia de um de seus afluentes, a Bacia do Riacho Cachoeira, área que carece de estudos detalhados na determinação de seus padrões hidrológicos, especialmente pela importância que desempenha no abastecimento de água para a população, assegurando a disponibilidade do recurso para seus usos múltiplos (APAC, 2022).

A escassez de dados em escalas mais detalhadas sobre bacias hidrográficas dificulta o desenvolvimento de pesquisas que objetivem contribuir na tomada de decisões relacionadas ao uso da água em regiões semiáridas, o que ameaça o desenvolvimento das atividades humanas e impacta negativamente na qualidade de vida da população. Soares e Galvínio (2020, p.3) corroboram com esta afirmativa, pois segundo estes “a falta de informações sobre as características das bacias hidrográficas resulta em uma má gestão de seus recursos”, destacando a importância da caracterização fisiográfica enquanto uma ferramenta que pode fornecer informações importantes para a tomada de decisões relacionadas ao uso da água, o que evidencia a importância de estudos que se ocupem de analisar o comportamento hidrológico de uma bacia para a gestão eficiente de seus recursos hídricos e a democratização do acesso à água.

Segundo Luz e Galvínio (2022), em regiões onde as observações acerca do comportamento da água são escassas, a adoção de modelos hidrológicos possibilita a quantificação e a compreensão da dinâmica na bacia. As autoras ainda destacam a importância do desenvolvimento de estudos que utilizem a modelagem hidrológica, especialmente para o embasamento científico de pesquisas voltadas para a caracterização das bacias hidrográficas, conseqüentemente subsidiando informações cruciais para o debate crítico e responsável em torno de questões emergenciais como a escassez hídrica e as mudanças climáticas, provendo informações atualizadas e confiáveis para os órgãos gestores e tomadores de decisão.

Considerando a problemática brevemente apresentada, o presente trabalho se propõe analisar de forma integrada a dinâmica hídrica superficial da Bacia do Riacho

Cachoeira, sub-bacia da Bacia Hidrográfica do Rio Pajeú localizada em Serra Talhada, a partir da caracterização de seus atributos físicos, utilizando de modelos digitais de elevação provenientes dos dados LiDAR (*Light Detection and Ranging*), e da compreensão do comportamento hidrológico superficial através do balanço hídrico obtido a partir da modelagem hidrológica no Sistema de Unidades de Resposta Hidrológica para Pernambuco (SUPer), buscando incorporar ainda à discussão, reflexões sobre o ensino da temática Segurança Hídrica.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Geral

Compreender o comportamento da água na bacia hidrográfica do Riacho Cachoeira através de um estudo integrado de suas características, considerando os parâmetros fisiográficos da bacia e os padrões hidroclimáticos vigentes, buscando investigar acerca da capacitação de docentes em formação inicial para o ensino das temáticas: segurança hídrica e mudanças climáticas.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar a fisiografia da bacia utilizando os dados de alta resolução provenientes do sensor LiDAR para obtenção de parâmetros geométricos, hidrográficos e topográficos;
- Compreender a dinâmica hidroclimática da bacia através do balanço hídrico superficial, analisando seus índices de forma integrada;
- Refletir sobre a capacitação de licenciandos em Geografia para o ensino da temática “Segurança Hídrica e Mudanças Climáticas”.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 Caracterização de bacias hidrográficas

A caracterização de bacias hidrográficas se trata de uma ferramenta de suma importância para o planejamento hídrico, tendo em vista que, como apontam Villela e Mattos (1975), as características físicas de uma bacia influenciam diretamente o seu regime hidrológico. Barros e Galvêncio (2022) discorrem sobre a importância de se analisar sistemicamente os fatores atuantes em uma bacia hidrográfica, compreendendo que o comportamento da água em seus limites é resultado da atuação contínua e simultânea de diversos fatores.

Dentre os elementos que influenciam diretamente no comportamento hídrico em uma bacia hidrográfica, pode-se destacar a topografia, pois segundo Hsu et al. (2000) é um dos principais fatores a serem considerados no estudo das dinâmicas hídricas em áreas rurais, considerando que em contrapartida às áreas mais urbanizadas, nas regiões rurais existem menos espaços impermeabilizados, e conseqüentemente, as características topográficas, somadas ao uso do solo determinam, o comportamento hídrico nas áreas da bacia, e por isso devem estar em destaque nas análises hidrológicas para estas áreas. Acerca da necessidade de representação das características físicas da bacia hidrográfica para a modelagem hidrológica, Rennó e Soares (2007) apontam que:

[...] os modelos que tratam da distribuição espacial da água na bacia hidrográfica requerem dados baseados nas características topográficas desta bacia tais como, limites das bacias e sub-bacias, inclinação do terreno, comprimento de rampa, forma do declive, orientação das vertentes, características dos canais de drenagem e conexões entre áreas que definirão como a água se move através da paisagem (RENNÓ e SOARES, 2007, p. 529).

Gallegos et al. (2009) discorrem sobre como a topografia é um dos principais fatores a serem considerados no estudo dos fluxos hídricos, tendo em vista que estes são naturalmente definidos, e podem ser ainda artificialmente alterados, pelas condições de relevo, declividade, geologia, geomorfologia, e pelas modificações antrópicas do terreno, por exemplo. Tonello et al. (2005) afirmam que as características geomorfológicas influenciam fortemente no comportamento hidrológico de uma bacia hidrográfica, destacando sua importância na definição de processos importantes para o ciclo hidrológico, como a infiltração da água precipitada no solo, a

evapotranspiração, e o escoamento superficial, parâmetros de destaque no balanço hídrico de uma bacia hidrográfica.

Outro fator determinante para o estudo do comportamento hidrológico é a relação estabelecida entre o uso e ocupação nas áreas das bacias hidrográficas, expressa através dos impactos das ações antrópicas nas paisagens naturais. Nas regiões semiáridas, as principais formas de uso e ocupação do solo estão relacionadas à agropecuária, ocupando posição de destaque no estudo das bacias localizadas nestes espaços, justificada pela influência que a sobre-exploração dos recursos naturais e as modificações nos padrões naturais de uso da terra possuem sobre a disponibilidade de água e o comportamento hidrológico em uma bacia (COELHO, 2014). Como aponta Vanzela et al. (2010, p. 56), “o estabelecimento de correlações entre o uso e a ocupação dos solos e os recursos hídricos, é uma importante informação para o planejamento dos recursos hídricos na bacia hidrográfica”, o que indica a necessidade de se analisar e compreender significativamente as inter-relações estabelecidas entre ser humano e meio ambiente para a gestão dos recursos hídricos, entendendo que estas não ocorrem de forma dissociada e que impactam de formas distintas no uso do solo em uma bacia hidrográfica.

Fan et al. (2014) apontam em seu estudo sobre a propagação de cheias em rios, a necessidade de se compreender e representar o escoamento da água em bacias hidrográficas de forma mais próxima da realidade possível, indicando que este cuidado pode subsidiar informações indispensáveis para o estudo de inundações e estiagens, previsão de vazões, qualidade da água, análise de cenários de intervenções, entre outras aplicações. Diante do aprimoramento das geotecnologias, a aplicação de dados obtidos a partir do sensoriamento remoto tem se apresentado como ferramentas eficientes para a caracterização de bacias hidrográficas. Neste contexto, os dados provenientes do sensor LiDAR vêm sendo recorrentemente utilizados para a caracterização de bacias hidrográficas na literatura internacional há mais de uma década, subsidiando o desenvolvimento de trabalhos que se ocupam principalmente de identificar os padrões hídricos e as características físicas da bacia, possibilitando a compreensão da dinâmica hidrológica e as propensões naturais específicas de cada área (BROWN et al., 2007; FEWTRELL et al., 2010; GALLEGOS

et al., 2009; HSU et al., 2000; HUNTER et al., 2008; MASON et al., 2007; NEAL et al., 2009; OZDEMIR et al., 2013; SAMPSON et al., 2012; TSUBAKI e FUJITA, 2010).

Em decorrência da necessidade de dados precisos para a representação das bacias hidrográficas, os dados provenientes do sensor LiDAR (*Light Detection And Ranging*), que segundo Santana et al. (2020) também pode ser denominado como “Scanner a Laser”, se apresentam como uma alternativa de qualidade para a compreensão da topografia, e seus desdobramentos para os estudos hidrológicos. Rodriguez et al. (2010) descrevem o sistema de varredura a laser aerotransportado LiDAR como uma tecnologia de sensoriamento remoto que realiza uma varredura do terreno a partir da emissão de um feixe de laser em direção à superfície sob análise, para obtenção das informações espaciais desta determinada localidade.

Na literatura nacional, recentemente, têm surgido uma diversidade de trabalhos que utilizam dos dados do LiDAR para o estudo de bacias hidrográficas, especialmente no estado de Pernambuco, em decorrência da existência do programa do Governo do Estado de Pernambuco denominado Pernambuco Tridimensional (PE3D). Como apresentam Cirilo et al. (2015), este programa consiste no recobrimento aerofotogramétrico e perfilamento a laser de todo o território pernambucano, obtido a partir da utilização de aviões equipados com o sensor LiDAR e câmeras digitais de alta definição (BANDIM e GALVÍNCIO, 2021; BARROS e GALVÍNCIO, 2022; DA FONSECA NETO et al., 2020; FEITOZA, 2021; FERRAZ, 2019; GOMES, 2019; LIMA et al., 2021; PESSOA NETO et al., 2021; RIBEIRO et al., 2020; SILVA, 2021; SOARES e GALVÍNCIO, 2020; VERÇOSA, 2019).

Para além do estudo de bacias hidrográficas, os dados do LiDAR apresentam no âmbito nacional, um amplo uso para estimativa de biomassa, pois como discorrem Santana et al. (2020, p. 02), o uso desses dados se apresentou no decorrer dos últimos anos como: “uma tecnologia significativa para aplicações de medição florestal, incluindo superfícies de solo e vegetação, que são usadas para avaliar a altura da árvore, volume e medidas de biomassa”, evidenciando a versatilidade da aplicação destes dados na gestão do meio ambiente (NISHIWAKI et al., 2021; SILVA et al., 2017).

2.2 Balanço hídrico como ferramenta de gestão

Para Galvêncio (2017), estudar as relações estabelecidas entre a disponibilidade de água e outras variáveis sociais, econômicas e ambientais pode auxiliar a prever impactos da escassez hídrica, e contribuir para a tomada de decisões nas bacias hidrográficas. A gestão de uma bacia hidrográfica compreende o entendimento de suas características e padrões, que podem ser obtidos através do balanço hídrico, uma ferramenta de análise hidrológica indispensável para a compreensão dos processos atuantes na bacia, e para a estimativa da possível disponibilidade de água em seus limites. Acerca da importância do balanço hídrico para a gestão de bacias hidrográficas, Rhoden et al. (2016) o apontam como uma ferramenta essencial para a quantificação da disponibilidade de água, bem como para a identificação de períodos de estresse e déficit hídrico, apontando que tais conhecimentos podem subsidiar o desenvolvimento de projetos mitigadores e preventivos de problemáticas ou desastres naturais vigentes, ou que possam futuramente acontecer nas áreas da bacia; os autores apontam ainda, que conhecer o balanço hídrico em uma bacia hidrográfica pode trazer benefícios para a agricultura, pois é uma ferramenta fundamental para o zoneamento agrícola.

Tomasella e Rossato (2005) definem o balanço hídrico como “a somatória das quantidades de água que entram e saem de uma certa porção do solo em um determinado intervalo de tempo”, destacando a relevância dos elementos do ciclo hidrológico para a disponibilidade hídrica, e a eficiência do balanço para entender essa dinâmica. Para áreas de baixa disponibilidade hídrica, é de extrema importância o desenvolvimento de estudos voltados à caracterização das bacias hidrográficas, que podem utilizar o balanço hídrico para desenvolver estudos com finalidades distintas, como destaca De Souza (2016), ao afirmar que o mesmo pode ser utilizado, para além do estudo da disponibilidade de água, em: análises ambientais voltadas para os recursos hídricos, compreender os impactos antrópicos no meio ambiente, e planejamento de cultivo para a agricultura.

Brown et al. (2007) discorrem sobre a importância de se considerar os fatores atuantes em uma bacia hidrográfica, sejam naturais ou antrópicos, de forma integrada, para que se possa compreender como se dão os seus processos, destacando o uso de modelos hidrológicos para a obtenção de informações que possam subsidiar um estudo integrado dos recursos hídricos, condizente com a dinâmica hídrica real.

Mason et al. (2007) chamam atenção para a importância de utilizar dados topográficos de qualidade para desenvolver modelos hidrológicos capazes de representar de forma satisfatória os fluxos hídricos superficiais, destacando a influência de fatores que devem ser cuidadosamente considerados para obtenção de resultados próximos da realidade, como a presença da vegetação e de barreiras artificiais antrópicas que acabam por impermeabilizar o solo.

2.3 Modelagem hidrológica: *Soil And Water Assessment Tool (SWAT)*

Para uma análise hidrológica fidedigna e eficiente do comportamento hidrológico em uma bacia hidrográfica, Carvalho (2014) indica que o uso de modelos hidrológicos pode subsidiar prognósticos quanto aos impactos do uso e ocupação do solo na disponibilidade e qualidade dos recursos hídricos presentes em uma bacia. Portanto, estes modelos podem ser considerados importantes instrumentos a serem utilizados para uma melhor gestão dos recursos de uma bacia, tendo em vista sua capacidade de compreender e simular as dinâmicas naturais vigentes (ABBASPOUR et al., 2015; TUCCI, 2004). Segundo Sartori (2019), os modelos hidrológicos podem ser compreendidos como:

[...] ferramentas computacionais que se baseiam em equações matemáticas para reproduzir os efeitos dos principais agentes ambientais sobre um sistema. O objetivo do modelo é compreender o que ocorre em uma bacia hidrográfica, por exemplo, possibilitando a simulação de situações futuras, ou até mesmo do passado, de modo a direcionar a tomada de decisão (SARTORI, 2019, p. 06).

Entre uma diversidade de modelos hidrológicos que podem ser adotados para o estudo de bacias hidrográficas, se destaca o modelo *Soil and Water Assessment Tool (SWAT)*, que segundo Reungsang et al. (2005), representa os impactos do uso e ocupação do solo nos padrões hídricos de uma bacia, analisando a influência que desempenha em elementos como a quantidade e qualidade da água, o escoamento superficial e subterrâneo, dentre outros; segundo os autores, o modelo pode ser utilizado em diferentes escalas, das menores bacias às maiores, apresentando resultados satisfatórios em ambos os casos. Srinivasan e Arnold (1994) informam que o SWAT se trata de um modelo matemático, de livre acesso, desenvolvido pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), em parceria com a Universidade A&M do Texas (TAMU).

O modelo SWAT possibilita a aplicação da modelagem matemática para gestão integrada de bacias hidrográficas, permitindo analisar cenários de diferentes impactos sobre os padrões hídricos de uma bacia, tais como: cenários de mudanças climáticas, impacto de parâmetros hidroquímicos na qualidade da água, e transporte de sedimentos. Uma das principais vantagens da adoção do modelo é a praticidade em suas aplicações, que viabilizam a modelagem em bacias hidrográficas de diferentes escalas, para aplicações distintas e com séries temporais consideráveis, facilitando a obtenção de resultados fidedignos, eficazes na representação dos parâmetros de uma bacia hidrográfica (NEITSCH et al., 2005).

A recorrente aplicação do modelo em pesquisas em uma escala mundial há mais de uma década, e sua ampla adoção para a caracterização de bacias hidrográficas se dá especialmente pela sua sensibilidade aos dados de entrada, referentes principalmente às características do solo, do clima, da topografia, o que influencia diretamente na obtenção de resultados mais detalhados e próximos da realidade, além de sua capacidade de analisar de forma integrada os elementos físicos de uma bacia hidrográfica (CARVALHO, 2019).

A primeira etapa da modelagem consiste na delimitação de sub-bacias, definidas a partir da área de drenagem da bacia e de seus dados topográficos. Posteriormente à obtenção destas sub-bacias, consideradas como o primeiro nível de subdivisão do modelo, são geradas a partir da integração entre os dados de uso e ocupação do solo, de relevo, e das classes de solo, Unidades de Resposta Hidrológica (URHs). Além dos resultados previamente apresentados, o modelo SWAT ainda delimita o canal principal da bacia e seus tributários, e os reservatórios presentes na área, provendo informações necessárias para a gestão e o planejamento de bacias hidrográficas, em diferentes escalas (NEITSCH et al., 2005).

2.4 Gestão de bacias hidrográficas em Pernambuco: O SUPer

Para o estado de Pernambuco, um projeto desenvolvido pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), a Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), a Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), o Instituto de Tecnologia de Pernambuco (ITEP), e Universidade A&M do Texas (TAMU), calibrou o modelo SWAT para as 13 grandes bacias hidrográficas delimitadas para o estado, com o objetivo de desenvolver um banco de dados personalizáveis e de qualidade,

que pudesse subsidiar pesquisas e ações para a gestão dos recursos hídricos em Pernambuco. Este projeto foi intitulado como Sistema de Unidades de Resposta Hidrológica para Pernambuco (SUPer) (VIANA et al., 2020).

O sistema foi desenvolvido para amplificar a usabilidade do modelo SWAT, dispondo de uma plataforma online onde os usuários podem obter resultados que simulam os impactos dos diferentes tipos de manejo sob culturas, solos, cobertura vegetal, usos e cenários de mudanças climáticas na hidrologia, qualidade de água e produção de sedimentos em bacias hidrográficas de Pernambuco (VIANA et al., 2020). O SUPer fornece em sua interface interativa resultados de saída como: mapas, dados de entrada pré-carregados, tabelas, gráficos e dados de saída. Trata-se de uma plataforma acessível e intuitiva, dispondo ainda de projetos de modelagem com desenvolvimento, execução e armazenamento online, e tutorial para os usuários iniciarem as aplicações no sistema (GALVÍNCIO, 2021).

Por se tratar de uma novidade, as publicações das pesquisas realizadas com a plataforma ainda são poucas, contudo, a partir dos das produções já divulgadas, pode-se inferir que o sistema apresenta contribuições significativas para o estudo integrado das bacias hidrográficas de Pernambuco. Galvínio (2021) avaliou através do SUPer, o impacto do aumento do CO² atmosférico nas precipitações do estado de Pernambuco, concluindo que os impactos serão intensos no agreste e litoral, com possíveis alterações no balanço hídrico das bacias hidrográficas, ocasionando mais cheias e inundações. Galvínio e Luz (2021) utilizaram o SUPer para avaliar os impactos do CO² atmosférico nas precipitações da bacia do Rio Mundaú, constatando através das simulações, que mais picos de cheias deverão ocorrer nas áreas da bacia, até o ano de 2027. Por fim, Luz e Galvínio (2022) analisaram o balanço hídrico superficial para a bacia hidrográfica do Riacho dos Milagres, sub-bacia da bacia hidrográfica do Rio Terra Nova, utilizando o SUPer, onde identificaram um cenário de intensa escassez hídrica.

2.5 ODS e Segurança Hídrica na Educação

Os países que compõem a ONU homologaram, no ano de 2015, o documento “Transformando o Nosso Mundo: a Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável”, que tem como meta principal a promoção de ações voltadas para o desenvolvimento sustentável, envolvendo questões socioambientais, econômicas e

humanitárias. Neste documento, foram apresentados os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) que apresentam metas a serem alcançadas no âmbito global e em escalas nacionais para nortear ações por parte dos órgãos públicos e privados, a sociedade civil, e a academia, na mitigação das demandas emergenciais (IPEA, 2019).

As metas que discorrem sobre segurança hídrica são compreendidas no ODS 6 “Água limpa e saneamento”, que objetiva: “Garantir disponibilidade e manejo sustentável da água e saneamento para todos; e no ODS 13, “Ação Contra a mudança global do Clima”, que busca: “Tomar medidas urgentes para combater a mudança do clima e seus impactos” (IPEA, 2019). O ODS 13 dispõe sobre a necessidade de fortalecer a educação voltada para as emergências hidroclimáticas, apontando metas para a escala global, e nacional. A meta para o Brasil e seus respectivos indicadores são:

13.3: Melhorar a educação, aumentar a conscientização e a capacidade humana e institucional sobre mudança do clima, seus riscos, mitigação, adaptação, impactos, e alerta precoce.

Indicadores:

13.3.1 - Número de países que integraram medidas de mitigação, adaptação, redução de impacto e alerta precoce nos currículos de ensino fundamental, médio e superior;

13.3.2 - Número de países que comunicaram o fortalecimento da capacitação institucional, sistêmica e individual para implementar ações de adaptação, mitigação e transferência de tecnologia e desenvolvimento (IPEA, 2019).

Frente aos impactos das mudanças climáticas e as emergências socioambientais que decorrem destas, fica explícita a necessidade de desenvolver ações voltadas para a educação climática no âmbito nacional, sobretudo em regiões semiáridas onde o acesso à água é ameaçado. Oliveira et al. (2021, p. 02) destacam que a educação climática “consiste no estudo de conceitos e termos técnicos sobre as Mudanças Climáticas, considerando as medidas de adaptação e mitigação das suas causas e efeitos”, evidenciando a importância do desenvolvimento de estudos que forneçam informações confiáveis, atuais e de qualidade que se apresentem como aporte teórico-metodológico para a abordagem destes temas na educação, que ainda não estão inteiramente contemplados na legislação e literatura vigente.

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

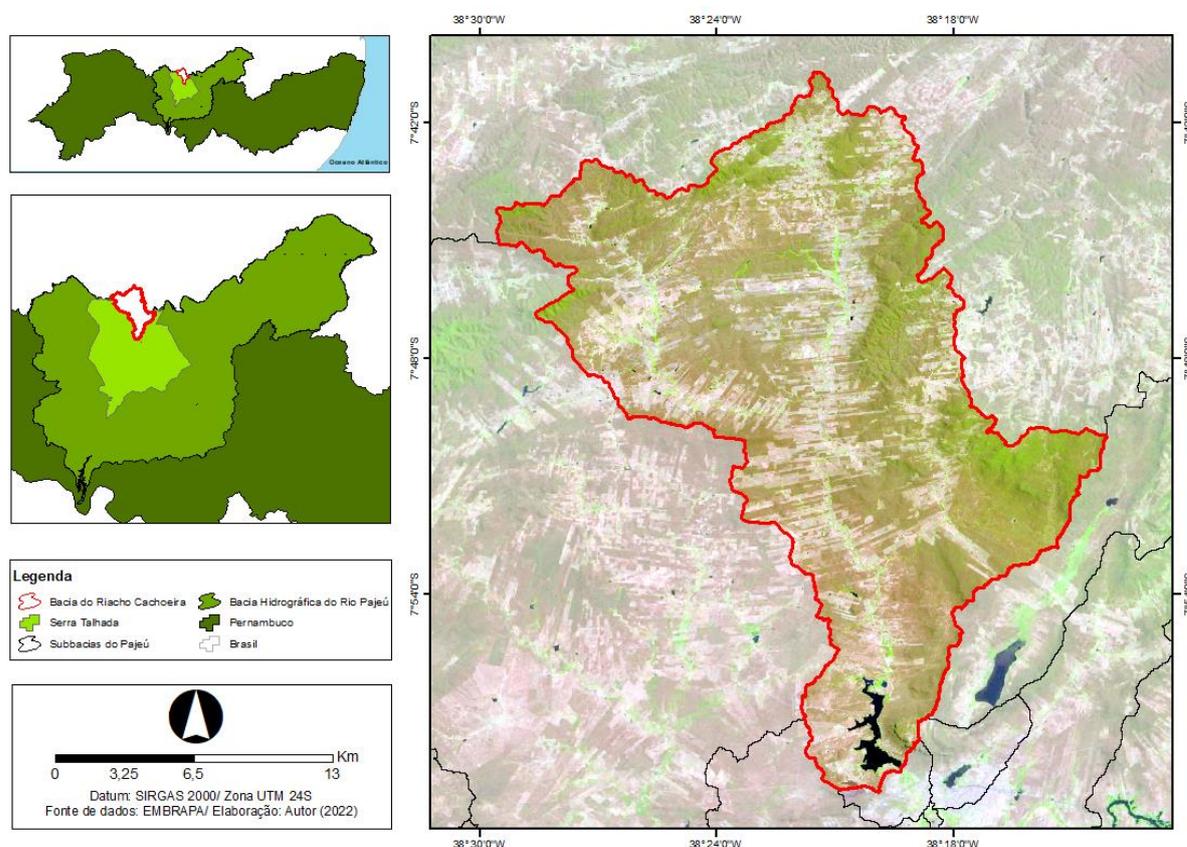
A área de estudo delimitada para o desenvolvimento do presente trabalho compreende a bacia hidrográfica do Riacho Cachoeira, que possui 393.75 km², e está localizada entre as seguintes coordenadas: 07°59'31"S e 38°17'54"W. A bacia recebe este nome pois em suas delimitações está presente um dos afluentes do Rio Pajeú, o Riacho Cachoeira, também conhecido como Córrego Luanda. A localização da bacia do Riacho Cachoeira está apresentada na figura 1 (APAC, 2022; FERREIRA et al, 2010; IBGE, 2010).

A bacia do Riacho Cachoeira é uma sub-bacia da bacia hidrográfica do Rio Pajeú que corresponde à Unidade de Planejamento Hídrico 9 (UP9) do estado de Pernambuco. A bacia do rio Pajeú é a maior bacia do Estado de Pernambuco, com uma área de 16.685,63 km², correspondendo a 16,97% da área total do Estado. Seus limites são: ao norte com os estados do Ceará e Paraíba, ao sul com o grupo de bacias de pequenos rios interiores 3 - GI3 (UP22) e a bacia do rio Moxotó (UP8), a leste com a bacia do rio Moxotó e o estado da Paraíba, e a oeste com a bacia do rio Terra Nova (UP10) e o grupo de bacias de pequenos rios interiores 4 - GL4 (UP23) (APAC, 2022).

Percorrendo uma extensão de aproximadamente 353 km, o rio Pajeú tem sua nascente localizada no município de Brejinho, apresentando no início de seu percurso sentido nordeste-sudoeste, até desaguar no lago de Itaparica, no rio São Francisco. De regime fluvial intermitente, tendo em vista que seu leito seca durante certo período do ano, o Rio Pajeú banha ao longo de sua área de drenagem 27 municípios do semiárido pernambucano, dentre os quais se encontra Serra Talhada.

A cidade de Serra Talhada possui sua sede situada em uma altitude média de 436,86 metros, na mesorregião do Sertão Pernambucano e microrregião do Sertão do Pajeú, há 407,780 km da capital estadual, Recife. Residem no município cerca de 79.232 pessoas ao longo de uma extensão municipal de 2.980,01 km². As principais atividades econômicas do município estão relacionadas com a agropecuária. A vegetação presente na maior parte da extensão da bacia hidrográfica do rio Pajeú é a Caatinga, que possui uma vegetação hiperxerófila heterogênea, cuja formação se faz presente nas áreas mais secas do Sertão, apresentando três tipos fisionômicos: arbórea, arbóreo-arbustiva e arbustiva (APAC, 2022; CBHSF, 2014; FERREIRA et al., 2010; IBGE, 2010).

Figura 1. Localização da bacia hidrográfica do Riacho Cachoeira, PE.



Fonte: O autor (2022).

3.1 Clima

A bacia hidrográfica do Riacho Cachoeira, assim como a maior parte da bacia hidrográfica do rio Pajeú, apresenta incidência de chuva na maioria dos meses mais quentes, e seco nos meses frios do ano, com baixos índices de pluviosidade (entre 600 mm e 800 mm anuais) de ocorrência irregular ao longo do ano, características de clima do tipo BSw^h, segundo a classificação climática de Köppen.

As chuvas se concentram nos meses mais quentes, associadas aos altos níveis de temperatura decorrente da forte irradiação solar, que intensifica os processos de evaporação e evapotranspiração, resultando em períodos de longas secas que impactam diretamente na qualidade de vida do sertanejo. O principal sistema atmosférico atuante na região é a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), presente no sertão pernambucano entre os meses de dezembro e maio, onde ocorrem os maiores índices de pluviosidade e chuvas torrenciais na área (FRANÇA, 2017; JARDIM et al., 2019).

3.2 Vegetação

A vegetação característica da área de estudo é a Caatinga, bioma exclusivamente nacional que ocorre em 10,1% do território brasileiro, estando presente em grande porção do semiárido. Caracterizado pela presença de espécies resistentes à escassez de água, a biodiversidade presente na Caatinga é cenário de desenvolvimento de diversas atividades socioeconômicas, relacionadas principalmente com atividades agrosilvopastoris e industriais, apresentando ainda forte potencial para o desenvolvimento ambiental sustentável em decorrência da conservação de seus serviços ambientais.

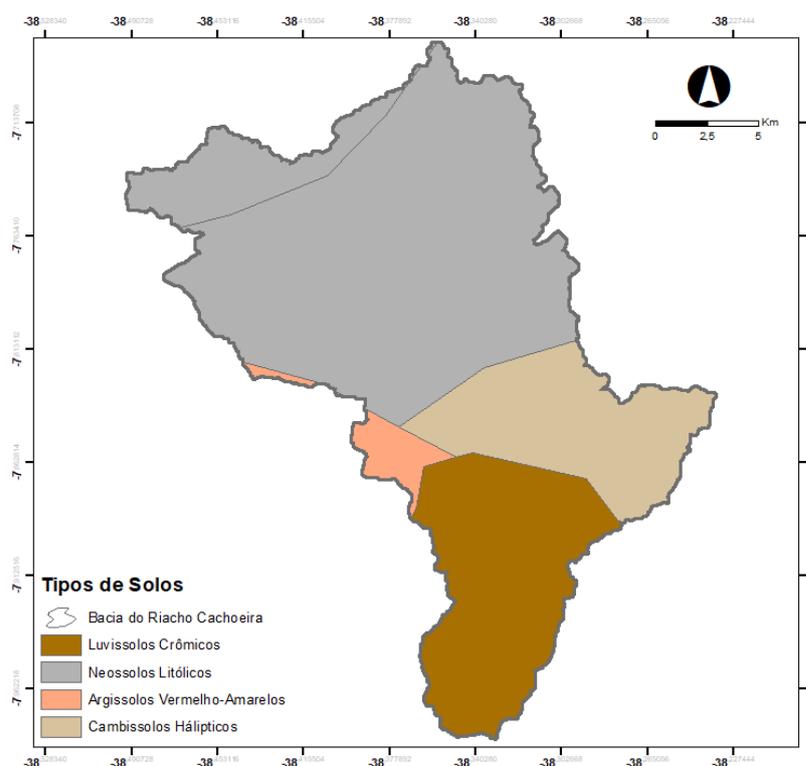
Apesar de recentes, os estudos sobre o bioma indicam uma vasta diversidade de espécies da fauna e flora se tratando do bioma semiárido com a maior biodiversidade do planeta, contrariando o pensamento retrógrado que apontava a Caatinga como um ambiente inóspito. A vegetação presente na área da bacia hidrográfica do Rio Pajeú pode ser considerada caatinga hiperxerófila, com trechos de floresta caducifólia, caracterizada por espécies resilientes de baixo e médio porte, que perdem as folhas durante o período de estiagem (FRANÇA, 2017; MMA, 2022).

3.3 Solos

França (2017) afirma em seu estudo que a bacia hidrográfica do Rio Pajeú possui uma grande diversidade de classes de solo distribuídas em sua extensa área, resultado das características climáticas e geológicas da bacia. Sobre a formação dos solos, a autora informa que ocorre principalmente em decorrência do intemperismo físico, o que condiz com o cenário climático de baixa pluviosidade e altas temperaturas. Para a referida autora, o intemperismo que ocorre na bacia, em concomitância com as características do clima semiárido, influencia no desenvolvimento dos solos, e na lixiviação de base.

Na área compreendida pela bacia hidrográfica do Riacho Cachoeira, obviamente ocorre uma diversidade menor de solos, quatro tipos principais, sendo estes: Luvisolos Crômicos, Neossolos Litólicos, Argissolos Vermelho-Amarelos e Cambissolos Háplicos. A distribuição dos solos na bacia do Riacho Cachoeira pode ser visualizada na figura 2.

Figura 2. Mapa de solos da Bacia do Riacho Cachoeira, PE.



Fonte: O autor (2022).

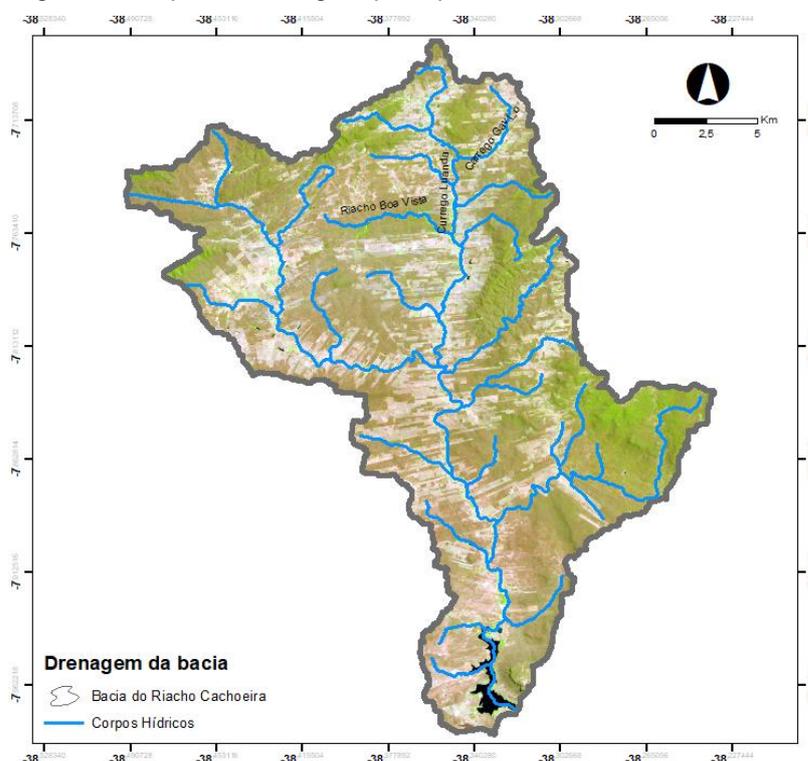
3.4 Hidrografia

A bacia hidrográfica do Riacho Cachoeira pode ser classificada como endorréica, em decorrência de sua drenagem interna não desembocar em um oceano por sua localização geográfica interiorana (CHRISTOFOLETTI, 1980). Segundo o CPRM (2005), os cursos d'água presentes na bacia possuem regime de escoamento intermitente, o que significa dizer que secam em determinados períodos do ano; e o padrão de drenagem para todos os corpos hídricos presentes em sua área é dendrítico, por apresentarem uma grande quantidade de afluentes e subafluentes para seus cursos (SOARES e GALVÍNCIO, 2020). A figura 3 apresenta a drenagem da bacia hidrográfica do Riacho Cachoeira.

Localizado na bacia hidrográfica do Riacho Cachoeira, encontra-se o Reservatório Cachoeira II, abastecido principalmente pelo Riacho Cachoeira. Possuindo capacidade máxima estimada de 21 milhões de metros cúbicos de água, e cota de 90,98 m, os usos de seus recursos estão principalmente relacionados ao fornecimento de água para abastecimento público da cidade de Serra Talhada, e a

atividades econômicas como a irrigação e a pesca (ANA, 2022; FERREIRA et al., 2010). Sua obra foi concluída em 1965, em prol da irrigação de grandes lotes de terra, porém, em decorrência do crescimento populacional em Serra Talhada e da deficiência hídrica que o município apresenta em determinados períodos, teve o uso das águas armazenadas destinado principalmente ao abastecimento da população. Após um longo período sem abastecimento, entre os anos de 2012 e 2017, o reservatório voltou a possuir recursos suficientes para abastecer o município (ANA, 2022).

Figura 3. Mapa da drenagem principal da Bacia do Riacho Cachoeira, PE.



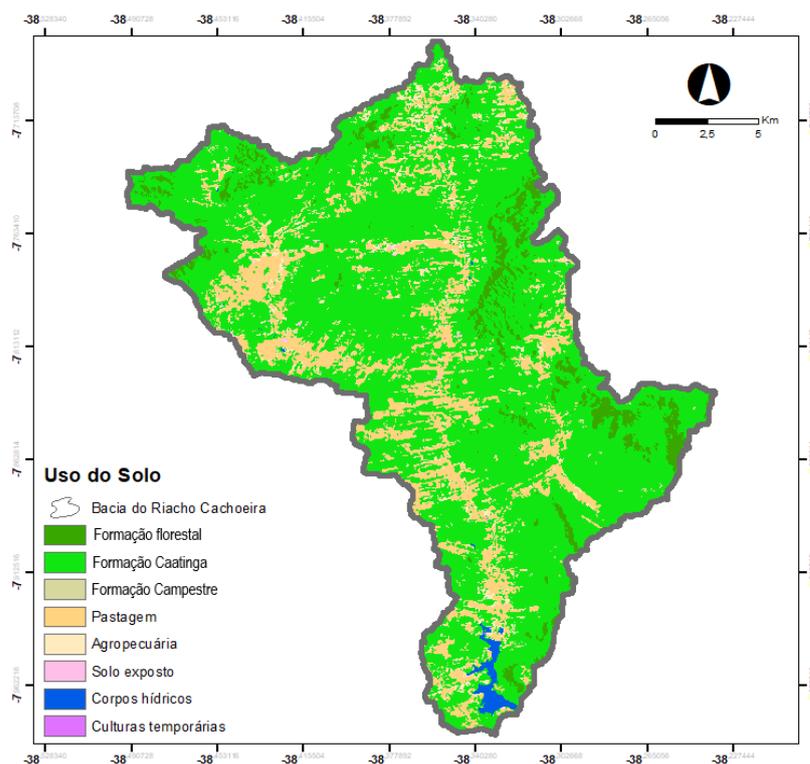
Fonte: O autor (2022).

3.5 Uso e ocupação do solo

As principais formas de uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do Riacho Cachoeira estão relacionadas com a formação do bioma Caatinga, se apresentando como forma de uso predominante no mapa de uso do solo para o ano de 2021 (figura 4). Destacam-se no mapa também as áreas de pastagem e agropecuária, relacionadas principalmente com as atividades socioeconômicas. Ferreira et al. (2010) apontaram que no entorno do reservatório Cachoeira II são desenvolvidas importantes

atividades de cunho socioeconômico como o cultivo de palma e pasto, a agricultura de sequeiro, a criação de caprinos, e atividades pesqueiras; atividades que podem ser fortemente impactadas pelas mudanças climáticas (MMA, 2022).

Figura 4. Mapa de uso e ocupação do solo na Bacia do Riacho Cachoeira, PE.



Fonte: O autor (2022).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Caracterização Fisiográfica

4.1.1 Obtenção dos dados

Para a obtenção dos parâmetros físicos da bacia hidrográfica do Riacho Cachoeira foram utilizadas as informações espaciais georreferenciadas e digitalizadas contidas no MDE do programa PE3D. Os dados capturados pelo sensor aerotransportado a laser LiDAR, possuem uma resolução espacial de 1 m em uma escala de 1:5000, e foram obtidos a partir da plataforma online do programa (www.pe3d.pe.gov.br/mapa), onde está disponível para download parte das quadrículas LiDAR que compõem a bacia hidrográfica do Rio Pajeú. Foram utilizadas, também, as ortofotos provenientes do imageamento do PE3D, que possuem resolução espacial de 50 cm, em uma escala de 1:5000. Todas as produções cartográficas apresentadas no presente trabalho se encontram em coordenadas UTM, na Zona 24S e utilizando como Datum de referência o SIRGAS 2000.

Para o PE3D, o estado de Pernambuco foi fragmentado em cinco blocos, que por sua vez foram divididos em subáreas, onde estão contidas as informações espaciais captadas pelo laser LiDAR. Cada uma destas quadrículas possui produtos distintos referentes à sua área, sendo estes: o Modelo Digital de Terreno (MDT), o Modelo Digital de Elevação (MDE) e as ortofotos, que variam em termos de resolução e escala a depender do dado escolhido. A bacia hidrográfica do Riacho Cachoeira é representada em um total de 76 quadrículas, que estão localizadas no terceiro bloco do PE3D. Para fins comparativos, foram utilizados MDEs de 30 m de resolução, provenientes do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), disponíveis para download na plataforma *Earth Explorer* da USGS (*United States Geological Survey*) [<https://earthexplorer.usgs.gov/>].

4.1.2 Obtenção dos parâmetros físicos

Os parâmetros para a caracterização fisiográfica da bacia hidrográfica do Riacho Cachoeira, foram obtidos através dos mesmos procedimentos metodológicos adotados por Soares e Galvínio (2020), que utilizaram os dados LiDAR para analisar as características físicas da bacia hidrográfica do Rio Beberibe, localizada no litoral pernambucano. Assim como na metodologia apontada pelos autores, a caracterização

da bacia se dará em três âmbitos, a partir da obtenção dos parâmetros geométricos, hidrográficos, e do relevo, tendo como objetivo analisar as principais características que influenciam diretamente nos padrões hídricos da bacia hidrográfica de forma integrada. O processamento em ambiente SIG consistiu no emprego das ferramentas de análise hidrológica e análise da superfície; bem como na utilização da ferramenta de cálculos estatísticos condicionais para a extração da rede de drenagem.

4.1.2.1 Parâmetros geométricos

Para a caracterização geométrica da bacia foram obtidas, em ambiente SIG, as seguintes informações: a área de drenagem (A), o perímetro da bacia (P), o comprimento axial (L); bem como os valores necessários para o cálculo do coeficiente de compacidade (Kc), do fator de forma (Kf), e do índice de circularidade (IC). Tonello (2005) define a área de drenagem da bacia como a projeção horizontal da área compreendida pela rede de drenagem de uma bacia, destacando que este é o principal atributo a ser considerado para a caracterização da geometria de uma bacia; sobre perímetro, a autora indica que corresponde ao comprimento medido em linha entre os extremos da bacia através de uma linha imaginária; o comprimento axial é entendido pela autora como o comprimento da distância existente entre a foz do rio, e o ponto mais distante nos limites da bacia hidrográfica.

O coeficiente de compacidade calcula a relação entre o perímetro da bacia e a circunferência de um círculo com a mesma área da bacia, o coeficiente deve ser analisado com base na unidade de referência “1”; quanto maior em relação ao referido número, mais alongada é a bacia e menor a probabilidade de enchentes em seus limites. O fator de forma estima a relação estabelecida entre a área de captação e o comprimento axial da bacia, e quanto mais elevado o valor do fator de forma, mais propensa a ocorrência de enchentes é a bacia hidrográfica. O índice de circularidade determina a propensão a enchentes de uma bacia a partir da análise de sua forma, os resultados mais próximos à unidade indicam uma forma circular para a bacia (SOARES e GALVÍNCIO, 2020; VILELLA e MATTOS, 1975; TONELLO, 2005).

Para o cálculo dos índices foram empregadas as seguintes fórmulas, apresentadas por Tonello (2005):

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

Onde “Kc” representa o coeficiente de compacidade, “P” o perímetro da bacia em km, e “A” a área da bacia em km².

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

Onde “Kf” representa o fator de forma, “A” a área da bacia em km², e “L” o comprimento axial em km.

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

Onde “IC” representa o índice de circularidade, “A” a área da bacia em km², e “P” o perímetro da bacia em km.

4.1.2.2 Parâmetros hidrográficos

Para a caracterização hidrográfica da bacia foram obtidos, em ambiente SIG, a rede de drenagem, a ordem dos canais, a direção e o acúmulo dos fluxos na bacia, apresentados em mapas, além das seguintes informações: a ordem da bacia, a densidade de drenagem (Dd), o comprimento do canal principal (Lc), o comprimento total dos cursos d’água (Lt), e a extensão média do escoamento superficial (I).

A ordem da bacia foi estimada no software de geoprocessamento, com base na metodologia de Strahler (1957), que considera os canais sem tributários como de primeira ordem; os canais de segunda ordem são, por sua vez, os que se originam da confluência de dois canais de primeira ordem, enquanto os de terceira ordem originam-se da confluência de dois canais de segunda ordem, podendo também receber afluentes de primeira ordem, e assim sucessivamente, a maior ordem de canal mapeada na drenagem da bacia, define sua ordem. O comprimento do canal principal foi mensurado através de sua vetorização no software de geoprocessamento, e pode ser compreendido como a distância entre o exutório da bacia e seu ponto mais longínquo (GALVÍNCIO e SOUSA, 2004). O comprimento total dos cursos d’água da bacia foi calculado a partir do somatório do comprimento de cada um dos canais presentes em sua drenagem, em ambiente SIG. A densidade de drenagem compreende a análise da riqueza da rede de drenagem da bacia, definida como a relação entre o comprimento total dos cursos d’água e a área da bacia, e varia entre 0,5 para bacias de drenagem pobre, a 3,5 para bacias excepcionalmente bem drenadas (VILELLA e MATTOS, 1975). A extensão média do escoamento superficial

é definida como a distância média que a água precipitada percorre até um curso d'água, calculado através de um retângulo que representa a área da bacia, onde um curso d'água percorre pelo seu centro (SOARES e GALVÍNCIO, 2020; TONELLO, 2005; VILELLA e MATTOS, 1975).

Para o cálculo dos índices foram empregadas as seguintes fórmulas, apresentadas respectivamente por Tonello (2005), e Villela e Mattos (1975):

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

Onde “Dd” representa a densidade de drenagem em km/km²; “Lt” o comprimento total dos cursos d'água da bacia em km; e “A” a área da bacia, em km²:

$$I = \frac{A}{4.L} \quad (5)$$

Onde “I” representa a extensão média do escoamento superficial, “A” a área da bacia em km², e “L” o comprimento do rio principal em km.

4.1.2.3 Parâmetros topográficos

Para a caracterização topográfica da bacia foram obtidos, em ambiente SIG, os mapas de hipsometria e declividade, além das seguintes informações: as altitudes mínimas e máximas, a amplitude altimétrica (Hm), a relação de relevo (Rr) e o gradiente de canais (Gc).

As altitudes mínima e máxima foram obtidas a partir do mapa hipsométrico para a bacia, elaborado no software de geoprocessamento, e correspondem, respectivamente, às cotas altimétricas mais elevadas e rebaixadas presentes na área da bacia. A amplitude altimétrica de uma bacia corresponde, segundo Strahler (1952), à diferença entre as altitudes do seu exutório e a maior altitude presente em sua área. A relação de relevo expressa a relação entre a amplitude altimétrica da bacia e o comprimento de seu canal principal, segundo Schumm (1956), quanto maior o índice obtido para uma bacia, maior será o desnível entre sua nascente e sua foz. O gradiente de canais é estimado para quantificar a declividade média dos canais de uma bacia hidrográfica, foi obtido por meio do cálculo da relação entre a altitude máxima da bacia e o comprimento de seu canal principal (CHORLEY, 1995; SOARES e GALVÍNCIO, 2020).

Para o cálculo dos índices foram empregadas as seguintes fórmulas, apresentadas respectivamente por Strahler (1952), Schumm (1956) e Chorley (1995):

$$\mathbf{Hm = Hmax - Hmin} \quad (6)$$

Onde “Hm” representa a altitude altimétrica em m, “Hmax” a altitude máxima em m, e “Hmin” a altitude mínima em m.

$$\mathbf{Rr = \frac{Hm}{Lc}} \quad (7)$$

Onde “Rr” representa a relação de relevo m/km, “Hm” a amplitude altimétrica em m, e “Lc” o comprimento do canal principal.

$$\mathbf{Gc = \frac{Amax}{Lc}} \quad (8)$$

Onde “Gc” representa o gradiente de canais, “Amax” a altitude máxima da bacia em m, e “Lc” o comprimento do canal principal em km.

4.2 Modelagem Hidrológica

O balanço hídrico superficial para a bacia hidrográfica do Riacho Cachoeira foi obtido a partir do SWAT, um software de modelagem de livre acesso, disponível para download em: <https://swat.tamu.edu>. O SWAT pode ser compreendido como um modelo hidrológico semi-conceitual, semi-distribuído, de base física e contínuo no tempo, o que viabiliza a simulação de diferentes processos hidrológicos e análise de possíveis cenários hidroclimáticos. Os principais elementos integrados na modelagem SWAT são: clima, hidrologia (escoamento superficial, percolação, interceptação, infiltração, escoamento subsuperficial, escoamento de base e evapotranspiração), temperatura do solo, crescimento de plantas, nutrientes, pesticidas, bactérias e patógenos, e manejo do solo (ANDRADE et al., 2017). Neitsch et al. (2011) apontam que o ciclo hidrológico simulado pelo SWAT é obtido com base na equação do balanço hídrico, que representa os processos atuantes em uma bacia hidrográfica, e está apresentada a seguir:

$$\mathbf{SWt = SW0 + \sum(R - Q - ET - P - QR)} \quad (9)$$

Onde: SW_t (mm) representa o conteúdo de água no tempo t ; SW_0 (mm) representa o conteúdo de água inicial no solo; R , Q , ET , P e QR em mm representam respectivamente os parâmetros precipitação, escoamento, evapotranspiração, percolação e fluxo de retorno (VIANA et al., 2020).

4.2.1 Processos realizados com o SUPer

Para acessar a modelagem SWAT foi utilizado o SUPer (Sistema de Unidades de Respostas Hidrológicas para Pernambuco), disponível em: <https://super.hawqs.tamu.edu/>. O SUPer consiste em uma ferramenta de avaliação de bacias hidrográficas para o estado de Pernambuco, possuindo um avançado sistema de modelagem de quantidade e qualidade de água. O sistema dispõe de um vasto banco de dados, interface interativa e de modelos SWAT pré-calibrados para avaliar os impactos do manejo do solo, da poluição hídrica e das mudanças climáticas sobre a quantidade e qualidade da água dos rios e reservatórios de Pernambuco.

A fácil aplicabilidade do sistema pode subsidiar o desenvolvimento de pesquisas consideráveis para a gestão dos recursos hídricos de Pernambuco, possibilitando análises em diferentes escalas espaciais e temporais, que simulam as condições de disponibilidade e qualidade da água. O sistema amplia substancialmente a usabilidade do SWAT na simulação de impactos de diferentes práticas de gestão baseadas em uma ampla variedade de culturas, solos, tipos de vegetação natural, usos da terra e cenários de mudanças climáticas para hidrologia e parâmetros de qualidade de água, como: sedimentos; patógenos; nutrientes; demanda biológica de oxigênio; oxigênio dissolvido; pesticida; e temperatura da água.

A calibração da bacia hidrográfica do Rio Pajeú para o banco de dados do SUPer foi realizada por Viana et al. (2020) para o período entre 1961-2016. Segundo os autores, a etapa de calibração do modelo hidrológico pode ser compreendida como o ajuste do modelo aos parâmetros reais da bacia hidrográfica, a fim de que os resultados obtidos na modelagem sejam fidedignos e condizentes com a realidade. No SUPer se encontram calibradas e disponíveis, séries de dados para as sub-bacias da bacia hidrográfica do Rio Pajeú para os anos entre 1961-2021, o que permitiu a modelagem do balanço hídrico da bacia hidrográfica do Riacho Cachoeira para uma

série temporal maior, possibilitando ao modelo identificar os padrões hidroclimáticos atuantes na área em estudo com uma maior precisão.

Para acessar a modelagem hidrológica através do SUPer, é necessário apenas que o usuário faça o login ou registre-se, estando impossibilitado de criar e analisar projetos sem o devido cadastro no sistema. Após inserir suas credenciais, o usuário será redirecionado para a página inicial do SUPer, onde constam informações descritivas do projeto, suas potencialidades e as instituições responsáveis por seu desenvolvimento. Além disso, é possível encontrar um pequeno tutorial sobre o manuseio do sistema, que resume de forma simples o passo a passo para a criação e edição de projetos na plataforma.

Na aba de criação de projetos, o usuário poderá escolher entre as bacias hidrográficas previamente calibradas para o sistema, selecionando sua área de interesse para onde serão obtidos os resultados da simulação de cenários. As simulações no sistema permitem a personalização de dados, como por exemplo, na edição dos dados de entrada gerais das bacias hidrográficas e das sub-bacias, além de suas bases de dados (área da bacia, fertilizantes e área urbana). Após a criação dos projetos, são definidos parâmetros para a simulação de cenários, para os quais serão obtidos os resultados da modelagem.

Para avaliar os padrões hídricos das bacias hidrográficas selecionadas, o SUPer possibilita a criação de cenários, onde podem ser customizados os parâmetros de entrada do SWAT, de acordo com a necessidade e a natureza do estudo do usuário. Diversos cenários podem ser criados em um mesmo projeto, possibilitando a análise simultânea das customizações e seus impactos no comportamento hidrológico da bacia. Na criação dos cenários é preciso informar e definir alguns parâmetros para a modelagem da bacia, sendo estes: o nome de cenário, sendo necessário estabelecer um diferente para cada uma das simulações no projeto; o período de aquecimento, através do qual o modelo definirá os padrões hidroclimáticos da bacia; as datas de início e término da modelagem; a frequência dos dados de saída, que podem ser diárias, mensais ou anuais; e a versão do modelo SWAT que será utilizada na modelagem do cenário. Para a modelagem da bacia hidrográfica do Riacho Cachoeira no SUPer, foram definidos os parâmetros apresentados na tabela 1.

Tabela 1 – Comandos de entrada para modelagem na plataforma SUpEr.

Parâmetros da modelagem	
Parâmetro	Informação
Nome do cenário	Riacho Cachoeira
Dados do clima	Dados observados
Início da modelagem	01/04/1961
Término da modelagem	31/03/2021
Série temporal	60 anos
Aquecimento do modelo	3 anos
Frequência para os dados de saída	Mensal
Versão do modelo	SWAT 2012 rev. 664

Fonte: O autor (2022).

4.3 Segurança Hídrica na Educação

Para compreender como as temáticas abordadas por pesquisas voltadas à segurança hídrica e mudanças climáticas são compreendidas na formação inicial de professores de Geografia, foi proposta para este estudo uma pesquisa exploratória descritiva, com o objetivo de analisar a percepção de graduandos da Universidade Federal de Pernambuco nos períodos finais da graduação, sobre a importância da abordagem das temáticas na educação e como se dá a capacitação de futuros professores para mediar seu aprendizado. Dias (2000) indica as pesquisas exploratórias como ferramentas que subsidiam o desenvolvimento de estudos qualitativos, contribuindo para seu planejamento e execução, o que atesta esta monografia apenas como uma reflexão inicial sobre a temática, que deve ser melhor desenvolvida no futuro, nas investigações sobre o ensino de Geografia.

Considerando esta premissa, um formulário online elaborado através da plataforma *Google Forms* foi utilizado como suporte para o levantamento de dados e percepções de licenciandos em Geografia da Universidade Federal de Pernambuco. Sobre as possibilidades de se empregar o *Google Forms* como metodologia de coleta de informações, a fim de subsidiar pesquisas investigativas, Mota (2019), discorre:

A grande vantagem da utilização do Google Forms para a pesquisa, seja ela acadêmica ou de opinião, é a praticidade no processo de coleta das informações. O autor pode enviar para os respondentes via e-mail, ou através de um link, assim todos poderão responder de qualquer lugar. Enumera-se ainda como vantagem os resultados da pesquisa pelo Google Forms, pois estes se organizam em forma de gráficos e planilhas, proporcionando um resultado quantitativo de forma mais prática e organizada, facilitando a análise dos dados. É interessante observar que com tal formato on-line os antigos formulários impressos serão substituídos (Mota, 2019, p.03).

Para este estudo foram consideradas exclusivamente contribuições de alunos a partir do 5º período da graduação, quando os licenciandos iniciam as atividades de Estágio Supervisionado, tendo em vista que para uma compreensão mais representativa dos desafios da docência, o contato teórico-prático com as instituições de ensino básico é diferencial. O formulário, de título “Segurança Hídrica e Mudanças Climáticas”, foi divulgado entre os discentes por intermédio da coordenação do curso de Licenciatura em Geografia, que encaminhou para o e-mail institucional dos estudantes do curso o link de acesso. 26 licenciandos responderam ao formulário e informaram, através da pesquisa guiada por meio de perguntas pré-elaboradas, sua percepção sobre o ensino da temática, partindo da reflexão em torno da graduação em Geografia e a capacitação durante a formação inicial para a abordagem de tais problemáticas no ensino básico. Entre as perguntas foram selecionadas as mais relevantes para a proposta do presente trabalho. O formulário aplicado pode ser encontrado no seguinte endereço eletrônico: <https://forms.gle/5q3aqMiFSQyoV1Xr9>.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Caracterização fisiográfica da bacia do Riacho Cachoeira

Diante das problemáticas que assolam uma bacia hidrográfica, surge a necessidade de se desenvolverem estudos que subsidiem informações atualizadas e de qualidade para os órgãos gestores. O levantamento das características físicas de uma bacia, se apresenta como uma ferramenta indispensável para a gestão de seus recursos hídricos, o que evidencia a importância de adotar a caracterização fisiográfica como metodologia para o estudo integrado destas áreas. Barros e Galvínio (2022) atestam que os resultados de uma caracterização fisiográfica possibilitam compreender detalhadamente a dinâmica hídrica de uma bacia hidrográfica, viabilizando uma análise sistêmica dos elementos que influenciam no comportamento da água nestas regiões; podendo ser empregada ainda, segundo Soares e Galvínio (2020), no estudo comparativo entre bacias hidrográficas de características distintas ou semelhantes, e para a compreensão de eventos passados e previsão de eventos futuros.

5.1.1 Caracterização geométrica

A área da bacia do Riacho Cachoeira foi estimada em 393.75 km², o perímetro em 164.15 km e o comprimento axial em 31.49 km. Tais informações indicam que a extensão da bacia do Riacho Cachoeira se encontra no intervalo médio para áreas de sub-bacias apontado por Faustino (1996), entre 100 km² e 700 km², apresentando extensão mediana. O cálculo dos índices para caracterização da forma da bacia aponta uma baixa suscetibilidade natural a ocorrências de inundações e enchentes, em decorrência principalmente de sua forma consideravelmente alongada. O coeficiente de compacidade, estimado em 2.32, aponta que a bacia apresenta formato estreito e alongado, o que indica que o escoamento superficial em sua área de drenagem ocorre de forma distribuída no tempo, não propiciando a concentração de água. O fator de forma da bacia de 0.39, e o índice de circularidade de 0,18, corroboram com o coeficiente de compacidade, atestando a forma alongada da bacia, por apresentarem valor distante da unidade de referência (1), que indica forma arredondada para a bacia (BARGOS, 2019; TONELLO, 2005).

Conhecer as características da forma da bacia é essencial para o desenvolvimento de estudos que objetivem compreender o comportamento hidrológico em sua extensão, bem como, predizer ocorrências de eventos extremos relacionados à hidrografia. O formato longo e estreito da bacia do Riacho Cachoeira indica que a probabilidade de eventos pluviométricos intensos recobrirem simultaneamente toda a sua área de extensão é baixa, apontando também que na drenagem da bacia boa parte dos canais tributários atingem o canal principal (FERREIRA et al., 2010). Resultados similares foram encontrados em caracterizações fisiográficas elaboradas anteriormente para a mesma área de estudo, por Ferreira et al. (2010) e Santos et al. (2021), corroborando com os resultados aqui apresentados acerca da forma da bacia. Os resultados para a caracterização dos indicadores geométricos da bacia hidrográfica do Riacho Cachoeira podem ser visualizados na tabela 2.

Tabela 2 - Resultados da caracterização geométrica da bacia do Riacho Cachoeira, PE.

Parâmetros Geométricos	
Parâmetros obtidos	Resultados
Área da bacia	393.75 km ²
Perímetro da bacia	164.15 km
Comprimento axial	31.49 km
Coeficiente de compacidade	2,32
Fator de forma	0,39
Índice de circularidade	0,18

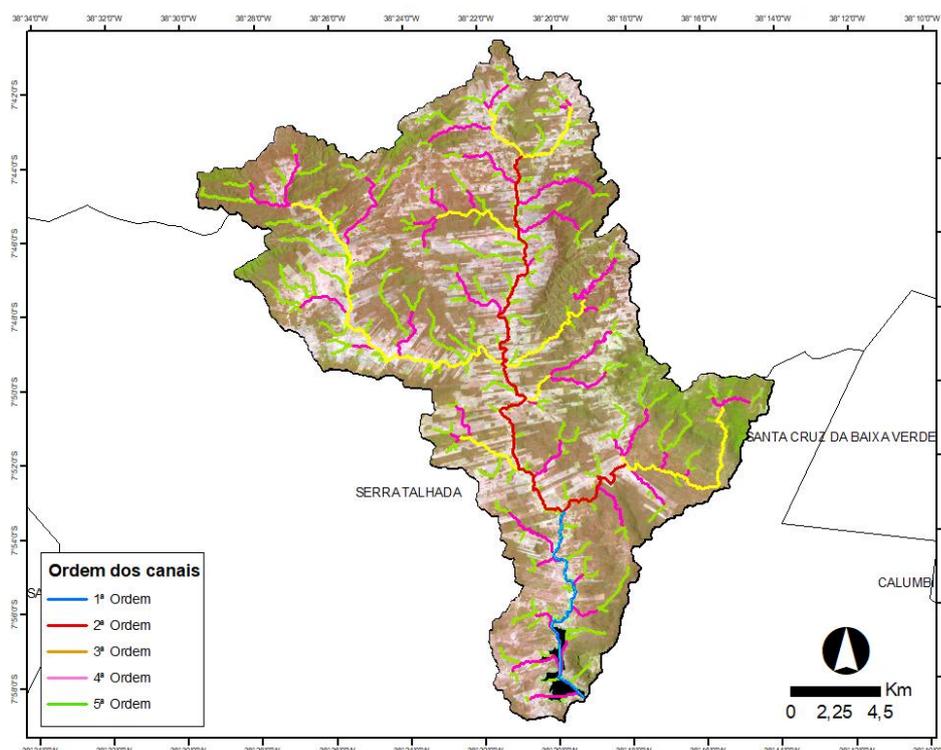
Fonte: O autor (2022).

5.1.2 Caracterização hidrográfica

Os resultados obtidos para a caracterização hidrográfica da bacia do Riacho Cachoeira indicam que a mesma se trata de uma bacia de quinta ordem, segundo a classificação de Strahler (1957); a ramificação das ordens dos canais pode ser visualizada na figura 5. Pessoa Neto et al. (2021) indicaram a bacia hidrográfica do rio Jaboatão, no litoral pernambucano, como uma bacia de 5^a ordem, constatando que bacias desta ordem são propícias ao desenvolvimento de espécies aquáticas. Soares e Galvêncio (2020) identificaram a bacia hidrográfica do rio Beberibe como de 6^a ordem, afirmando que se tratava de uma bacia altamente drenada, tendo em vista sua área consideravelmente pequena, de apenas 71 km². A ordem encontrada em outras

caracterizações da bacia do Rio Cachoeira foram quinta e quarta ordem, obtidas respectivamente por Freitas et al. (2010) e Santos et al. (2021).

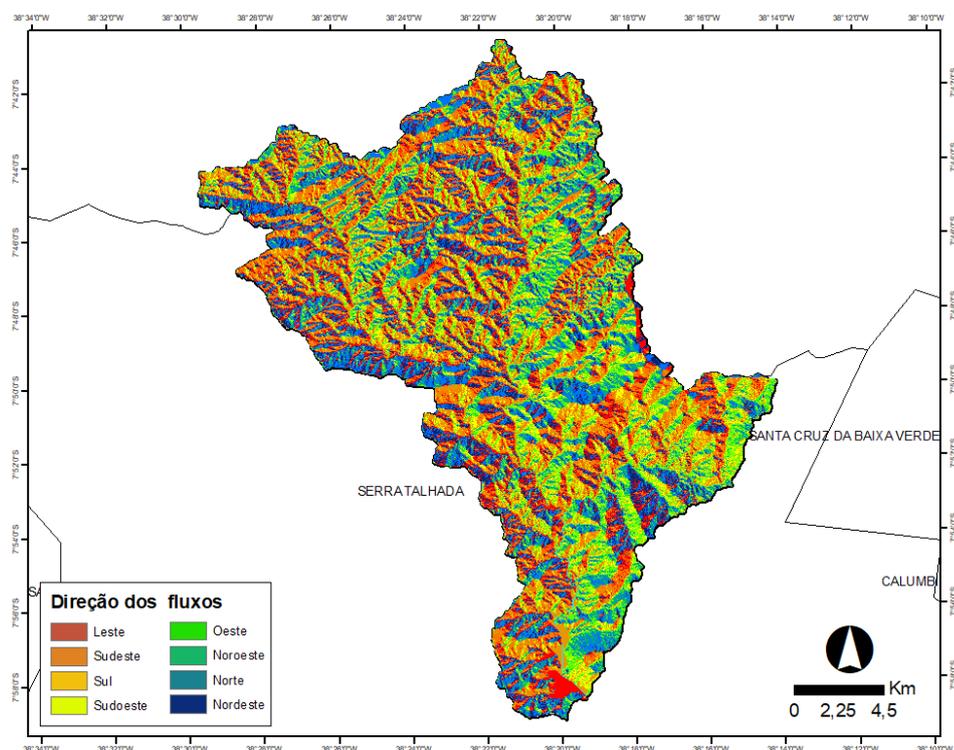
Figura 5. Ordem dos canais da bacia do Riacho Cachoeira, PE.



Fonte: O autor (2022).

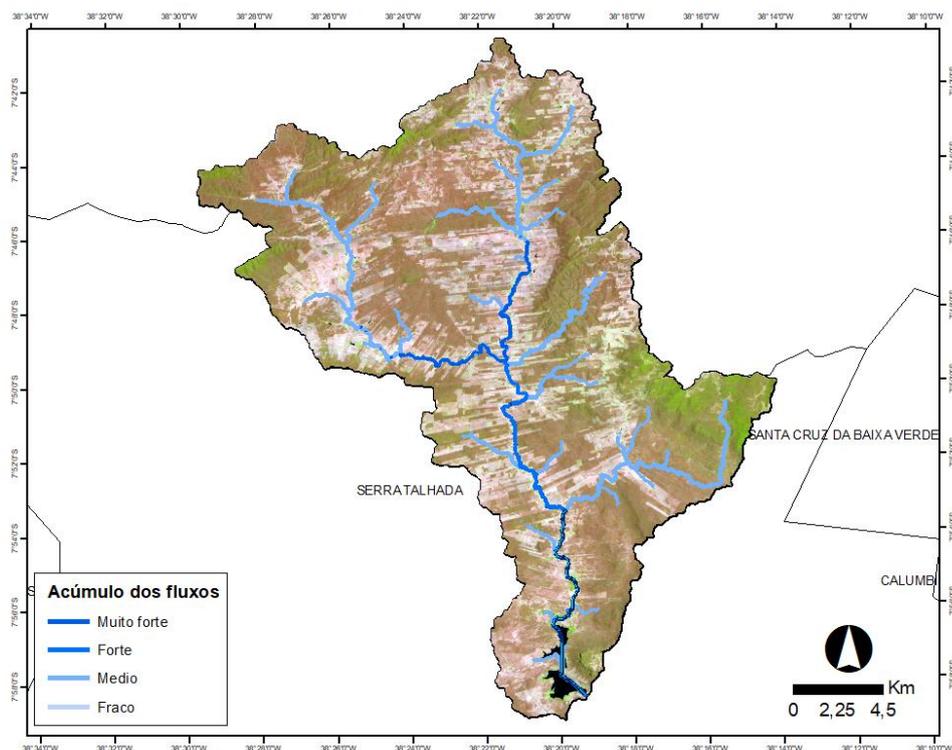
Além da ordem dos canais, estão apresentadas nas figuras 6 e 7 respectivamente: a direção e o acúmulo dos fluxos, extraídos a partir do MDE LiDAR. A rede de drenagem apresenta ramificações significativas, corroborando com a ordem encontrada para a bacia, bem como com o padrão de drenagem dendrítico informado pela CPRM, (2005). As informações de direção e acúmulo de fluxo são de extrema importância para a compreensão do comportamento da água na área da bacia, sobretudo para a projeção de enchentes e inundações, uma vez que subsidiam conhecimentos acerca do padrão do escoamento superficial e as áreas de maior acúmulo de água na bacia (SOARES e GALVÍNCIO, 2020).

Figura 6. Direção dos fluxos da bacia do Riacho Cachoeira, PE.



Fonte: O autor (2022).

Figura 7. Acúmulo dos fluxos da bacia do Riacho Cachoeira, PE.



Fonte: O autor (2022).

A mensuração do comprimento do canal principal e do comprimento total dos cursos d'água obteve para os índices, respectivamente, 48.28 km e 407.29 km. Os índices obtidos por Santos et al. (2021) para tais parâmetros na bacia do Riacho Cachoeira foram 22,936 km e 265,749 para comprimento do canal principal e comprimento total dos cursos d'água, respectivamente. A disparidade entre os valores obtidos se justifica pelo uso de diferentes modelos digitais de elevação, tendo em vista que para a caracterização proposta pelos autores foram utilizados dados do SRTM com resolução espacial de 30 m. Segundo Barros e Galvêncio (2022), a modelagem dos fluxos realizada para a extração dos canais é fortemente influenciada pela resolução dos dados, tendo em vista que a riqueza de detalhamento da topografia é indispensável para obter representações fidedignas dos fluxos superficiais, destacando explicitamente a superioridade dos modelos digitais de elevação do LiDAR em relação aos modelos SRTM.

Para a densidade de drenagem foi obtido o valor de 1.03 km/km², o que de acordo com a classificação de Vilella e Mattos (1975), indica que a drenagem da bacia é regular. Ferreira et al. (2010) obtiveram resultados similares acerca da densidade de drenagem para a bacia, constatando para o parâmetro o valor de 1.16 km/km², e atestando-a como uma de drenagem pobre, apesar da também identificada ramificação da rede de drenagem. Os autores contribuem ainda para a compreensão do comportamento hidrológico da bacia, quando atestam que para além dos padrões climáticos da região, a baixa densidade de drenagem da bacia do Riacho Cachoeira justifica a presença de reservatórios em sua extensão, indicando que estes reservatórios são indispensáveis para assegurar o acesso à água para a população abastecida. Tucci (2004) contribui para o entendimento da importância de se estimar a densidade de drenagem em uma bacia hidrográfica, a partir da seguinte constatação:

A densidade de drenagem é um indicador do relevo superficial e das características geológicas da bacia [...] permite avaliar a eficácia de drenagem de uma bacia, ou seja, a eficiência na concentração do escoamento superficial no exutório da bacia. Quanto maior a densidade de drenagem, maior a capacidade da bacia de fazer escoamentos rápidos no exutório, bem como deflúvios de estiagem baixos. É um parâmetro utilizado para pré-avaliação em estudos de regionalização ou transposição de dados hidrológicos entre bacias de uma região, pois permite avaliar as semelhanças de escoamento entre bacias hidrográficas de tamanhos diferentes (TUCCI, 2004, p.47).

Um dos principais padrões a serem caracterizados na hidrografia de uma bacia é a extensão média do escoamento superficial, que quantifica a distância percorrida pela água das chuvas até desaguar nos cursos d'água de uma bacia (VILLELA E MATTOS, 1975). Para a bacia hidrográfica do Riacho Cachoeira, a extensão média do escoamento superficial estimada foi de 2,03 km, o que corrobora com os dados de densidade de drenagem, uma vez que a bacia, apesar de dispor de uma rede de drenagem extremamente ramificada, apresenta uma drenagem pobre.

O conhecimento das características hidrográficas de uma bacia é essencial para o planejamento do uso de seus recursos, pois como apontam Soares e Galvíncio (2020), estes índices representam a expressão do comportamento da água em uma bacia, se caracterizando enquanto indispensáveis para um manejo de qualidade das áreas da bacia. Os resultados para os parâmetros hidrográficos da bacia do Riacho Cachoeira estão apresentados na tabela 3.

Tabela 3 – Resultados da caracterização hidrográfica da bacia do Riacho Cachoeira, PE.

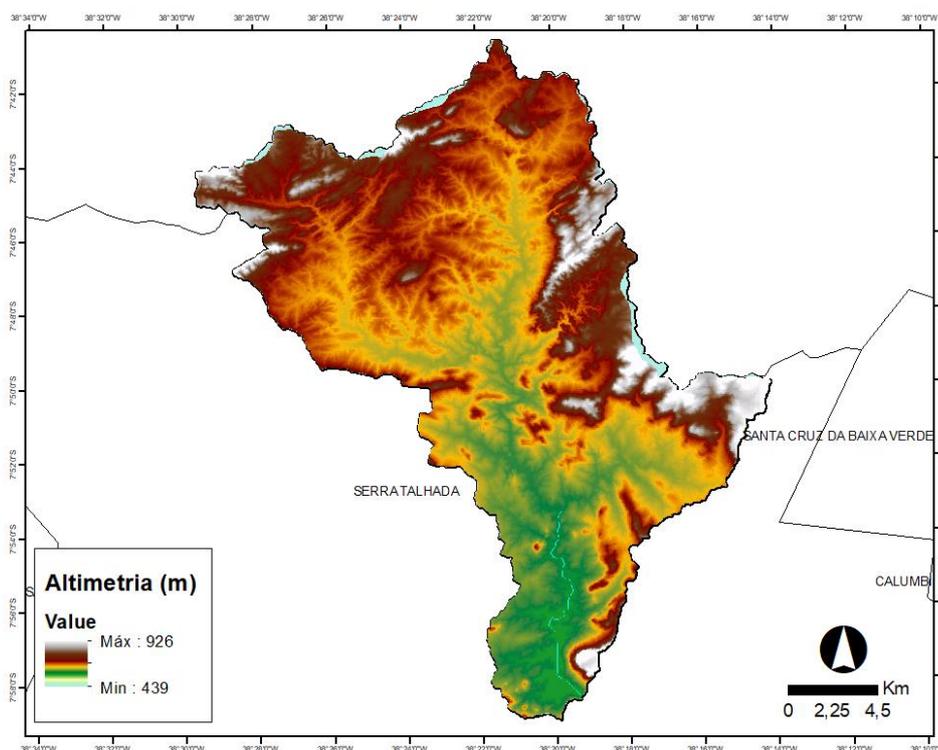
Parâmetros hidrográficos	
Parâmetros obtidos	Resultados
Ordem da bacia	5°
Comprimento do canal principal	48.28 km
Comprimento total dos cursos d'água	407.29 km
Densidade de drenagem	1.03 km/km ²
Extensão média do escoamento superficial	2,03 km

Fonte: O autor (2022).

5.1.3 Caracterização topográfica

Soares e Galvíncio (2020) discorrem sobre a importância de se compreender a dinâmica altimétrica de uma bacia hidrográfica, uma vez que suas características indicam as áreas para onde confluirão e se acumularão fluxos superficiais de água. Para a bacia hidrográfica do Riacho Cachoeira, o mapa altimétrico (figura 8) indicou uma altura máxima de 926 m de altitude, e altitude mínima de 439 m, corroborando com os resultados apresentados por França (2017), que estimou uma variação de altitudes entre 250 m e 1000 m para a bacia hidrográfica do rio Pajeú. A amplitude altimétrica, parâmetro que expressa a diferença entre os extremos altimétricos em uma bacia hidrográfica, foi de 487 m.

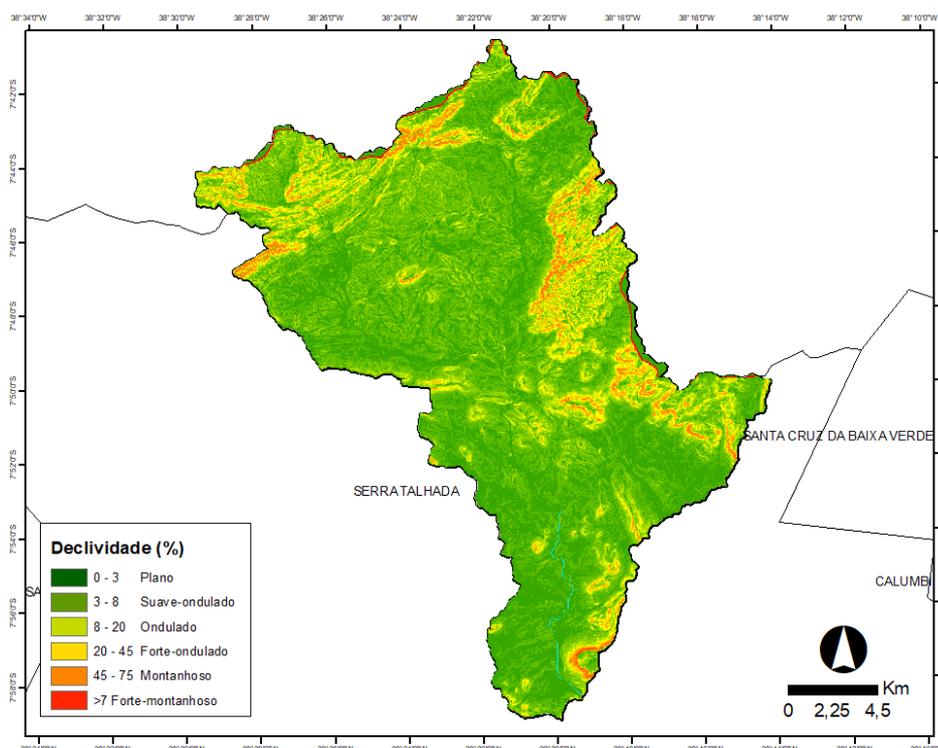
Figura 8. Altimetria da bacia do Riacho Cachoeira, PE.



Fonte: O autor (2022).

A declividade é um parâmetro essencial para a compreensão do comportamento da água em bacias hidrográficas, uma vez que a orientação do terreno define o padrão de escoamento, como destacam Galvêncio et al. (2006). Analisando o mapa de declividade (figura 9) obtido para a bacia hidrográfica do Riacho Cachoeira, pode-se inferir que na área da bacia há uma predominância de relevos das classes baixas: plano, suave ondulado e ondulado. Esta configuração se dá principalmente, pelo fato da área da bacia estar inserida na unidade geoambiental da Depressão Sertaneja, marcada por uma superfície de pediplanação monótona e de relevo majoritariamente suave-ondulado (CPRM, 2005). Segundo Galvêncio et al. (2006), bacias hidrográficas que apresentam suaves níveis de declividade, possuem escoamento superficial com baixa velocidade, portanto, são pouco propensas à ocorrência de inundações.

Figura 9. Declividade da bacia do Riacho Cachoeira, PE.



Fonte: O autor (2022).

A relação de relevo obtida para a bacia hidrográfica do Riacho Cachoeira foi de 10,08 m/km, o que segundo Pessoa Neto et al. (2021), apontam uma baixa declividade geral da bacia, indicando que a velocidade da água que escoar em direção ao canal principal também será baixa. O gradiente de canais estimado para a bacia foi de 19,18% de declividade, condizente com as características do relevo, que apresenta em praticamente toda a área da bacia níveis de declividade característicos de relevos plano a ondulado. Os padrões estimados para a caracterização do relevo estão apresentados na tabela 4.

Tabela 4 - Resultados da caracterização do relevo da bacia do Riacho Cachoeira, PE.

Parâmetros de Relevo	
Parâmetros obtidos	Resultados
Altitude mínima	439 m
Altitude máxima	926 m
Amplitude altimétrica	487 m
Relação de Relevo	10,08 m/Km
Gradiente de canais	19,18 %

Fonte: O autor (2022).

5.1.4 Comparação dos resultados obtidos com o MDE LiDAR e o MDE SRTM

Segundo Silva et al. (2022, p. 02), os MDEs são: “representações matemáticas da topografia, servindo de suporte para o desenvolvimento de pesquisas e políticas”. Para a gestão de bacias hidrográficas, a qualidade dos dados é de extrema importância na estimativa dos parâmetros de drenagem, evidenciando a influência que a utilização de modelos digitais de alta resolução apresenta na obtenção de resultados de qualidade, que representem de forma realística os percursos e nuances dos corpos hídricos em uma bacia hidrográfica (BARROS e GALVÍNCIO, 2022; SOARES e GALVÍNCIO, 2020).

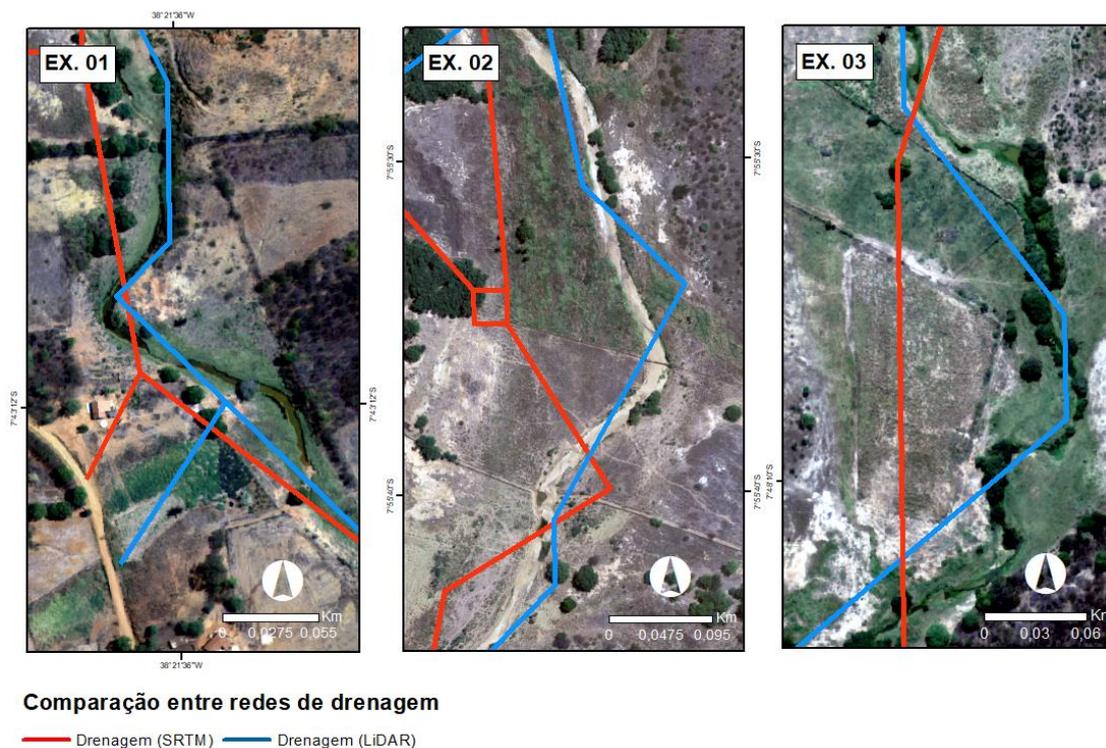
Barros e Galvínio (2022) comprovaram em seu estudo, a superioridade dos dados LiDAR quando comparados aos SRTM na representação dos acúmulos de fluxos, ainda que ocorram erros de precisão e algumas incertezas na modelagem; evidenciando a eficácia da utilização de dados LiDAR em projetos de modelagem, que por sua vez, podem contribuir com a tomada de decisões na gestão da água. Portanto, entender as disparidades entre a rede de drenagem extraída através dos respectivos dados também é de extrema importância, uma vez que atesta a qualidade dos resultados obtidos a partir da modelagem de bacias hidrográficas com o LiDAR, e demonstra a eficácia do emprego de seus resultados para projetos de gestão eficazes.

Para tal, foram selecionados três exemplos entre as drenagens extraídas para a bacia do Riacho Cachoeira (figura 10), com o objetivo de identificar as disparidades na modelagem dos canais entre os dados de alta resolução do LiDAR e os dados SRTM para um mesmo ponto. Nos exemplos, é possível constatar a eficiência dos dados LiDAR no mapeamento das nuances dos canais mais sinuosos, em contrapartida a drenagem obtida com o SRTM apresenta generalizações grotescas na representação dos canais, como é possível observar no exemplo 3, onde a drenagem SRTM não mapeia a sinuosidade do canal, representando-o como retilíneo.

A influência da qualidade dos dados pode ser analisada a partir da comparação entre a caracterização fisiográfica proposta por Santos et al. (2021), que utilizaram como base para a modelagem os dados SRTM de 30 m de resolução, e o presente estudo que utiliza dados LiDAR de 1 m. Ainda que os resultados obtidos pelos autores indicassem em alguns índices as mesmas características que as aqui obtidas, há disparidades grosseiras entre as estimativas para a caracterização da rede de drenagem, evidenciando a influência da utilização de dados de alta resolução para o

desenvolvimento de projetos encarregados da caracterização de bacias hidrográficas e suas redes de drenagem.

Figura 10. Comparação entre os canais obtidos com o LiDAR e com o SRTM.



Fonte: O autor (2022).

5.2 Balanço hídrico superficial da bacia do Riacho Cachoeira

A água se apresenta como o principal recurso para o desenvolvimento das atividades humanas, sendo utilizada de diversas formas, tais como o abastecimento das populações, em atividades agrícolas, e na produção de energia (ABBASPOUR et al., 2015). Para uma gestão eficaz das bacias hidrográficas, se faz necessário compreender de forma sistêmica como os processos atuantes, de forma integrada, determinam a sua dinâmica hidrológica, pois como afirmam Montenegro et al. (2014), o entendimento das variáveis hidrológicas se apresenta como uma ferramenta indispensável para o manejo dos recursos hídricos. Desta forma, a compreensão das características físicas, associadas ao entendimento do comportamento da água, influencia diretamente na assimilação dos processos constituintes do ciclo hidrológico, como a infiltração, a quantidade de água produzida como deflúvio, a evapotranspiração e o escoamento superficial (TONELLO, 2005).

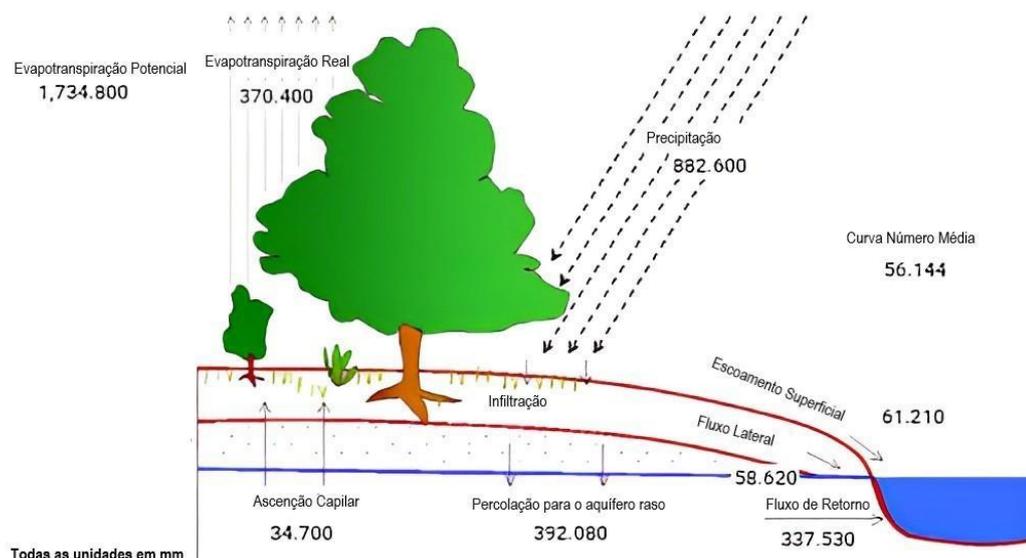
Luz e Galvínio (2022) indicam que uma caracterização de bacias hidrográficas precisa, é de suma importância para monitoramento e gestão de seus recursos hídricos. As autoras discorrem ainda sobre o emprego do balanço hídrico como ferramenta de estudo, que viabiliza a compreensão do comportamento da água na atmosfera, na superfície, e no sistema que as integra, destacando a Precipitação (P), Evapotranspiração (ET) e escoamento (R) como elementos principais do balanço hídrico superficial.

5.2.1 Análise do balanço hídrico superficial

Foram delimitadas para a bacia hidrográfica do Riacho Cachoeira 14 URHs, que a partir da integração entre os dados de entrada calibrados para os anos entre 1961 e 2021, apresentaram as características hidroclimáticas da bacia. As principais classes de uso do solo do SWAT encontradas para a bacia foram: CRWO, que segundo Viana et al. (2020) pode ser associada ao uso referente à Agricultura e a Caatinga, correspondendo a 58.9% da área; e SPAS, que é apontada pelos autores supracitados como Pastagem, correspondendo à 41.1% da bacia.

O balanço hídrico superficial médio anual da bacia do Riacho Cachoeira apresenta, de forma resumida, as seguintes razões: 42% da precipitação retorna à atmosfera através da evapotranspiração, 44% da precipitação é percolada, e apenas 13.4% do fluxo total na bacia correspondem a fluxos superficiais, o que evidencia um cenário de grande déficit de água no sistema, refletido diretamente na disponibilidade de água superficial na área da bacia. Os resultados obtidos por Luz e Galvínio (2022) para o balanço hídrico médio anual da bacia do Riacho Milagres apresentou os seguintes índices: 41% para evapotranspiração, 56% para a percolação e 3% para o fluxo superficial, apontando um cenário de baixa disponibilidade superficial de água. A representação gráfica do balanço hídrico superficial da bacia hidrográfica do Riacho Cachoeira está apresentada na figura 11.

Figura 11. Representação gráfica do balanço hídrico superficial da bacia do Riacho Cachoeira, PE.



Fonte: O autor (2022).

Os baixos índices pluviométricos irregulares, associados aos elevados níveis de evapotranspiração, tanto para a bacia do riacho dos Milagres caracterizada no estudo de Luz e Galvínio (2022), quanto para a bacia do Riacho Cachoeira, representam um cenário de escassez hídrica, onde o acesso à água é ameaçado e a população não dispõe de tal recurso em níveis que assegurem o seu acesso, explicitando uma problemática que deve ser detalhadamente analisada, e mitigada através de projetos de gestão e planejamento. A possibilidade de correlacionar os dados obtidos pelas autoras com os resultados aqui apresentados, se dá principalmente pela localização das áreas de estudo, ambas situadas na região semiárida do estado de Pernambuco, viabilizando comparações gerais. As médias estimadas para o balanço hídrico da bacia estão apresentadas na tabela 5:

Tabela 5 – Médias anuais para o balanço hídrico da bacia do Riacho Cachoeira, PE.

Balanço hídrico (1961 – 2021)	
Parâmetros modelados	Resultados (mm)
Precipitação (PRECIP)	871,164
Evapotranspiração potencial (PET)	1.712,289
Evapotranspiração real (ET)	365,582
Percolação (PERC)	387,318
Umidade do solo (SW)	228,919
Escoamento Superficial (SURQ)	60,416

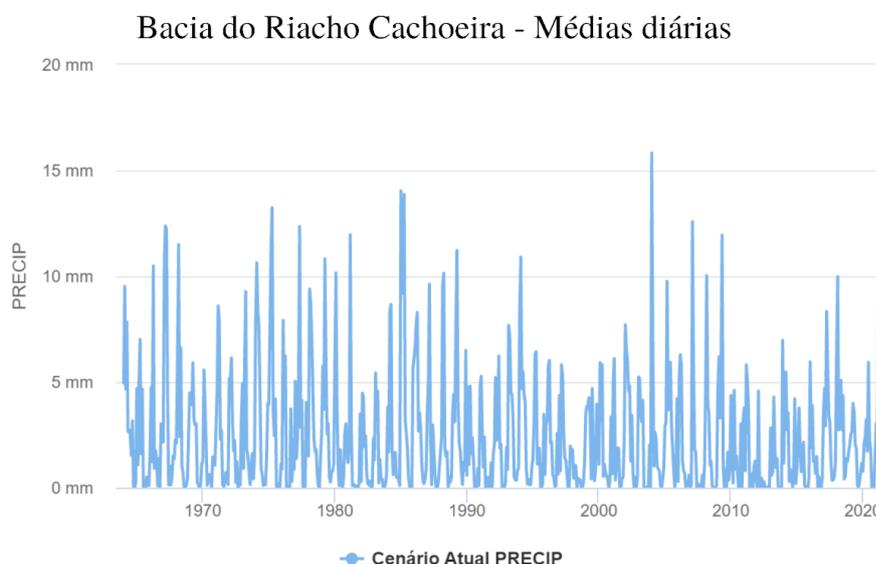
Fonte: O autor (2022).

Jardim et al. (2019) dissertam sobre a importância de se compreender e quantificar o regime pluviométrico de uma determinada área, obtendo os valores médios em escalas diárias, mensais e anuais, uma vez que essas informações são indispensáveis para a gestão dos recursos hídricos e, conseqüentemente, nos planejamentos agrícolas, de conservação do solo, de obras civis e atividades socioambientais. A média anual de precipitação na bacia foi de 882.600 mm, valor consideravelmente elevado quando comparado aos níveis de precipitação encontrados por Galvíncio (2021) para a bacia do Pontal, uma média anual de 497.200 mm, e por Luz e Galvíncio (2022) para a bacia do Riacho Milagres, uma média anual de 638.500 mm.

Os extremos entre as médias pluviométricas anuais para a bacia do riacho Cachoeira entre a série temporal de 60 anos (1961-2021) foram: máxima de 1884.4 mm para o ano de 1985, ano para o qual Marengo et al. (2011) indicaram índices pluviométricos intensos e ocorrência de enchentes na região semiárida nordestina; e mínima de 163.3 mm em 2012, ano para o qual Marengo et al. (2016) registraram o início da seca mais grave da história do Nordeste brasileiro, apontando a influência do evento El Niño nos baixos índices pluviométricos.

Os impactos desse evento de seca que ocorreu entre 2012 e meados do ano de 2017 na disponibilidade hídrica, podem ser observados a partir da disponibilidade de água no Reservatório Cachoeira II, que registrou no ano de 2013 um de seus volumes mais baixos, 6% em medição realizada no dia 19/12/2013. Ao analisar o volume no reservatório entre os anos de 2012 e 2013, é perceptível a redução contínua de seu volume ao longo das medições, consequência direta dos baixos índices pluviométricos, que não propiciaram o reabastecimento da água utilizada durante o ano de 2012 para abastecer a cidade de Serra Talhada (ANA, 2022). A figura 12 apresenta o gráfico de médias diárias para a precipitação na bacia do Riacho Cachoeira.

Figura 12. Gráfico das médias diárias históricas de precipitação da bacia do Riacho Cachoeira, PE.



Fonte: O autor (2022).

A partir da análise do gráfico foi possível obter algumas informações, sendo estas resumidamente: o maior pico de precipitação diária foi encontrado para janeiro de 2004, onde 15.82 mm de chuva foram registrados; o mês de janeiro registra as maiores médias históricas, como em janeiro de 1995, onde houve um pico de precipitação diária de 14.03 mm, coincidindo com a atuação da ZCIT na região (FRANÇA, 2017); as médias históricas para os meses entre agosto e novembro, mostram níveis médios de precipitação diária são extremamente baixos durante este período, não passando recorrentemente ao longo dos 60 anos, de 5 mm; o ano de 2012 teve o pior registro de médias diárias de precipitação, não ultrapassando durante o ano inteiro 3 mm de precipitação diária, coincidindo com o período de seca apontado por Marengo et al. (2016) para o semiárido nordestino.

O regime de chuvas impacta diretamente sobre o escoamento superficial, pois como apontam Miranda et al. (2017) em seu estudo sobre o balanço hídrico da bacia hidrográfica do Rio Pontal, para ocorrência do escoamento superficial na área da Caatinga é preciso que o volume de pluviosidade média mensal atinja pelo menos 20 mm. Segundo Alencar et al. (2006), compreender o comportamento do escoamento superficial é indispensável para o dimensionamento de obras hidráulicas e para a conservação da água e do solo, apontando, ainda, que seu conhecimento está

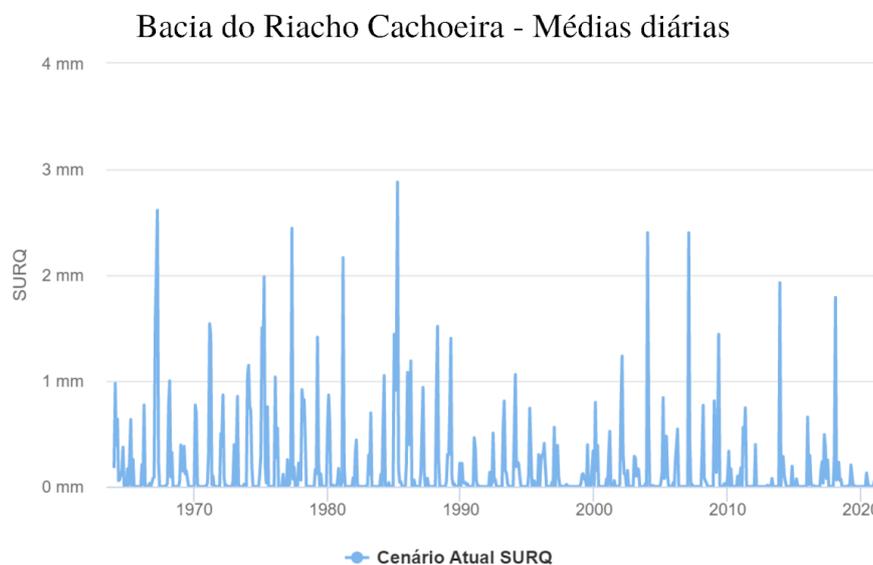
relacionado com a identificação das disponibilidades e potencialidades hídricas de uma bacia hidrográfica.

Os fluxos superficiais estimados para a bacia do Riacho Cachoeira, representados por 61.210 mm de escoamento superficial e 58.620 mm de fluxo lateral, correspondem a cerca de 13.4% da água no ciclo hidrológico da bacia, estando diretamente relacionados com a intensidade da precipitação na bacia, que como em todo o semiárido, é irregular. Em seu estudo sobre o impacto do aumento de CO² nas precipitações em Pernambuco, Galvínio (2021) comprova esta afirmação quando compara os balanços hídricos anuais das bacias hidrográficas do Rio Pontal, representando o semiárido pernambucano, e do Rio Goiana, representando o agreste/litoral do estado. Os resultados estimados pela referida autora demonstram que para a bacia semiárida, que possui uma precipitação média anual de 497.200 mm, o escoamento superficial corresponde a 13.67% dos fluxos superficiais; enquanto que para a bacia localizada entre o agreste e o litoral pernambucano, para uma precipitação média de 1.164 mm o escoamento superficial corresponde a 22% dos fluxos da bacia, evidenciando o impacto dos regimes pluviométricos na ocorrência expressiva de fluxos superficiais.

O escoamento superficial na área da bacia é extremamente baixo, corroborando com os resultados da caracterização hidrográfica, mantendo-se regularmente entre 0 mm e 1 mm na série de dados observados. O valor máximo para a razão ocorreu em abril de 1995, onde o escoamento superficial foi estimado em 2.879 mm. O ano de 1985, para o qual foi estimado o valor de 208.934 mm, se apresenta como o ano de maior ocorrência de escoamento superficial na bacia, coincidindo com o período de precipitação mais intensa na área da bacia e de ocorrência de enchentes no semiárido (MARENGO et al., 2011).

A partir da observação do gráfico representativo do escoamento superficial médio diário para a bacia (figura 13), é possível inferir que a mesma apresenta padrões irregulares, havendo períodos do ano onde ocorre expressivamente, e outros períodos onde sua ocorrência é nula. Luz e Galvínio (2022) encontraram resultados próximos para o escoamento superficial na bacia do Riacho Milagres, o que aponta uma necessidade de estudo mais aprofundado deste elemento em bacias e sub-bacias da região semiárida, tendo em vista sua importância para o desenvolvimento de projetos para gestão da drenagem em uma bacia hidrográfica.

Figura 13. Gráfico das médias diárias históricas de escoamento superficial da bacia do Riacho Cachoeira, PE.



Fonte: O autor (2022).

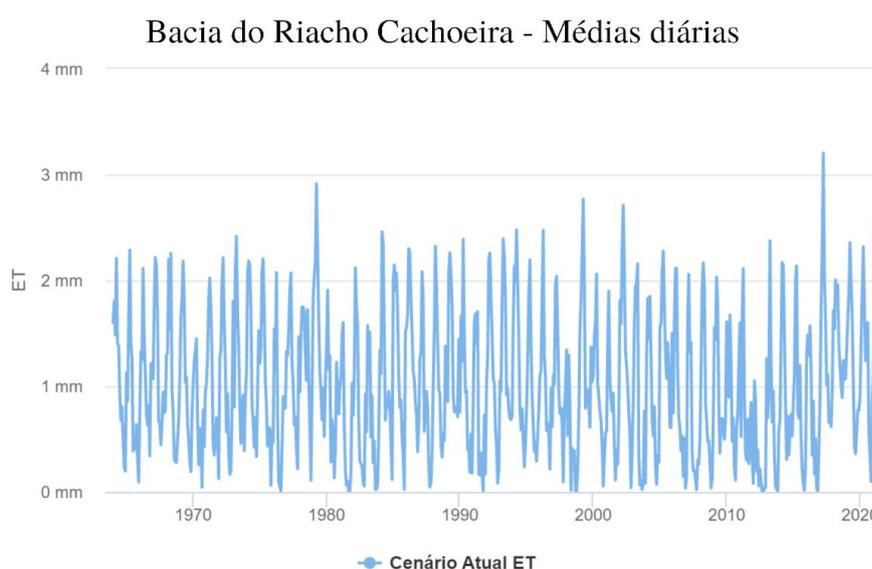
Assim como está relacionado com a ocorrência de precipitações, o escoamento superficial está intimamente ligado à evapotranspiração na área da bacia. Para a bacia hidrográfica do Riacho Cachoeira, o balanço hídrico superficial apontou uma evapotranspiração real no valor de 370.400 mm. Na bacia, os valores de evapotranspiração se apresentam como elevados, tendo em vista que 42% da água presente no sistema hidrológico da bacia é evapotranspirada, em decorrência principalmente das altas temperaturas.

Segundo Miranda (2017, p. 25), a evapotranspiração pode ser compreendida como “a soma de toda a água que evapora do solo e transpira de plantas”, atestando ainda que esse parâmetro pode ser empregado para estimar a quantidade de água utilizada em lavouras, e estimar a quantidade de irrigação necessária para as culturas. No âmbito da gestão hídrica, estimar a evapotranspiração, segundo o autor supracitado, é de extrema importância para a gestão da água no solo, para a gestão dos reservatórios e de hidrelétricas, indicando a importância de compreender e estimar a evapotranspiração, sobretudo na região semiárida, onde em virtude da distribuição irregular na precipitação, há um alarmante déficit hídrico.

Analisando o gráfico de médias da evapotranspiração real para a bacia do Riacho Cachoeira, foi possível identificar que: o pico de evapotranspiração real foi de

3.2 mm, registrado em abril de 2017, os índices para série histórica mantiveram-se regularmente entre 0.5mm e 2 mm; além de que os meses de março e abril apresentam evaporações mais acentuadas, em decorrência principalmente da maior ocorrência de chuvas neste período, resultado da atuação da ZCIT na região. Os dados estimados para a área em estudo demonstram que a evapotranspiração na bacia não é intensa, especialmente se comparados aos resultados apresentados por Luz e Galvêncio (2022), que obtiveram para a bacia hidrográfica do Riacho Milagres valores de evapotranspiração real entre 4 mm e 8 mm diários, evidenciando um cenário mais alarmante com relação à escassez de água. A figura 14 apresenta o gráfico de médias diárias de evapotranspiração registradas para a bacia.

Figura 14. Gráfico das médias diárias históricas de evapotranspiração real da bacia do Riacho Cachoeira, PE.



Fonte: O autor (2022).

5.3 Segurança Hídrica na formação de professores

O ensino de Geografia contempla nas áreas de estudo que abrange, a integração de campos distintos do conhecimento científico, possibilitando através de sua prática, caminhos para a compreensão do ser humano enquanto agente ativo no mundo contemporâneo, não podendo ocorrer, portanto, dissociado das temáticas atuais que assolam a sociedade (BELO e FERREIRA, 2012).

A resolução nº 98 de 2009 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) atestou, através do estabelecimento de princípios e diretrizes necessários para a gestão dos recursos hídricos, a importância da educação, que deve estar relacionada à temática a partir da reflexão de valores, hábitos e atitudes, contribuindo para o empoderamento social e para uma gestão democrática da água, pautada na articulação entre os interesses sociopolíticos de uma sociedade (BRASIL, 2009). Segundo Piccoli et al. (2016), este cenário de gestão integrada propõe para o ensino em suas mais diversas instâncias a abordagem de temáticas referentes ao ciclo hidrológico, à preservação e gestão dos recursos hídricos, temas compreendidos no conceito de segurança hídrica, proposto pela ONU (ONU-ÁGUA, 2013).

Diante deste contexto de emergências hidroclimáticas, Jacobi et al. (2011) apresentam, em sua pesquisa, modelos de ensino internacionais onde a educação para as mudanças climáticas já se configuram como modalidade específica, como no caso dos seguintes países: Austrália, Canadá, Dinamarca e China; os quais, segundo os autores supracitados, têm desenvolvido diversas atividades pedagógicas promotoras de conhecimento acerca das mudanças climáticas e suas consequências por meio de ações governamentais, evidenciando a necessidade de se desenvolver políticas e estudo em âmbito nacional, focadas na educação climática da população. Neste sentido, a legislação específica que discorre sobre a educação ambiental em caráter formal e não formal, garantiu, através da Política Nacional de Educação Ambiental (PNEA), a criação de órgão que assegure sua execução, através da atuação conjunta com instituições do ensino básico e superior, desenvolvendo ações e projetos que fortalecem as finalidades da educação ambiental (BRASIL, 1999; SORRENTINO et al., 2005).

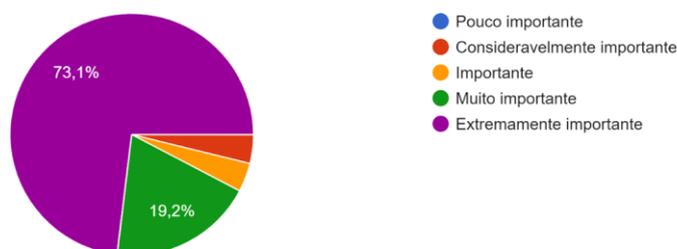
Considerando a necessidade da formação de educadores ambientais para efetivação da abordagem crítica e embasada cientificamente das temáticas relacionadas à segurança hídrica e mudanças climáticas na educação básica, buscou-se compreender qual o papel da formação inicial de professores de Geografia na execução destas políticas e na promoção da conscientização social acerca das problemáticas hidroclimáticas, através da aplicação de um questionário com graduandos do curso de Geografia entre o 5º e o 8º período da graduação, momento em que já estão em contato com as instituições de ensino básico através do Estágio supervisionado obrigatório.

Em resumo, os graduandos da licenciatura em Geografia da Universidade Federal de Pernambuco foram questionados sobre: sua percepção acerca da importância da abordagem das temáticas na educação básica; se em sua experiência na graduação são capacitados pedagogicamente para ministrar esses conteúdos; e a importância do desenvolvimento de estudos voltados a prover informações sobre o tema para o embasamento teórico de qualidade para a educação básica. É necessário destacar que este levantamento teve fins exclusivamente exploratórios, com o objetivo principal de entender o déficit de ações voltadas exclusivamente para a capacitação de professores nestas temáticas, e a importância do desenvolvimento de estudos como a caracterização fisiográfica e hidrológica aqui proposta para embasar cientificamente a prática pedagógica.

Quando questionados sobre a importância do ensino de tais temáticas, a maioria dos entrevistados apontou que considera de importante à extremamente importante, como está apresentado na figura 15, o que evidencia uma consciência coletiva por parte dos licenciandos em Geografia sobre o papel docente frente às crises hidroclimáticas. Nesse contexto, Cavalcanti (2010) discorre sobre a abordagem das temáticas físico-naturais na educação, destacando que devem ser ensinadas através de articulações entre os conceitos de natureza e sociedade, possibilitando o entendimento da influência sócio-histórica no meio natural.

Figura 15. Percepção dos graduandos em Licenciatura em Geografia da UFPE sobre a importância do ensino da Segurança Hídrica

O quão importante é abordagem dos temas Segurança Hídrica e Mudanças Climáticas em sala de aula, na atualidade?
26 respostas

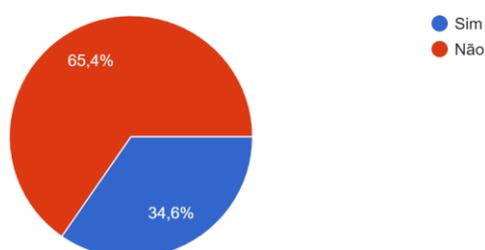


Fonte: O autor (2022).

No que diz respeito à percepção dos graduandos sobre a capacitação para abordagem da segurança hídrica em sala de aula, apresentada na figura 16, a maior parte dos entrevistados informou em suas respostas que não recebem incentivos por parte da universidade na capacitação para a abordagem das questões hidroclimáticas, destacando que o estudo destas problemáticas ocorre majoritariamente nas disciplinas do campo geográfico, tais como: Hidrografia, Climatologia; apontando a disciplina de Educação Ambiental como o único momento onde a perspectiva pedagógica é protagonista. Os participantes informaram que o centro responsável pela educação na universidade não possibilita aos licenciandos em Geografia uma capacitação específica para o desenvolvimento de abordagens e metodologias de ensino voltadas para o campo da educação climática.

Figura 16. Percepção dos graduandos em Licenciatura em Geografia da UFPE sobre os incentivos da universidade para capacitação

Em sua percepção, há incentivos da universidade na capacitação de professores nestas temáticas?
26 respostas



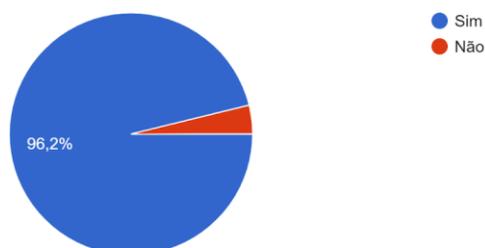
Fonte: O autor (2022).

A maior parte dos entrevistados informou compreender a capacitação de professores através da formação continuada como uma forma de enfrentamento social às emergências ambientais, assim como pode-se observar na figura 17, destacando a importância da capacitação contínua dos profissionais da educação em temas cotidianos, tais como as problemáticas hidroclimáticas. Compreendendo a conscientização ambiental, como um processo cíclico de formação de educadores ambientais, podemos destacar como principal objetivo deste processo: a capacitação de sujeitos engajados na promoção e liderança de projetos que, a partir da educação ambiental crítica, assumam o compromisso de atuar em prol da transformação da

sociedade, refletindo acerca de seus paradigmas, valores, hábitos e atitudes, em um movimento emancipatório contínuo (GUIMARÃES, 2007).

Figura 17. Percepção dos graduandos em Licenciatura em Geografia da UFPE sobre a importância da formação continuada

Você acredita que a capacitação de professores, através da formação continuada, pode impactar positivamente na conscientização das futuras gerações acerca das problemáticas hidroclimáticas?
26 respostas



Fonte: O autor (2022).

Os graduandos de Licenciatura em Geografia em formação inicial informaram através de suas respostas, que consideram o desenvolvimento de estudos voltados para a temática indispensáveis para o enfrentamento às emergências climáticas, como está apresentado na figura 18. Estudos como o aqui proposto, subsidiam informações indispensáveis para o ensino da Segurança Hídrica e podem ser adaptados para a sala de aula através da transposição didática, movimento de adequação do conteúdo científico para o ensino escolar, que deve respeitar o desenvolvimento sócio-cognitivo do público-alvo, possibilitando uma maior conscientização das futuras gerações acerca das emergências hidroclimáticas.

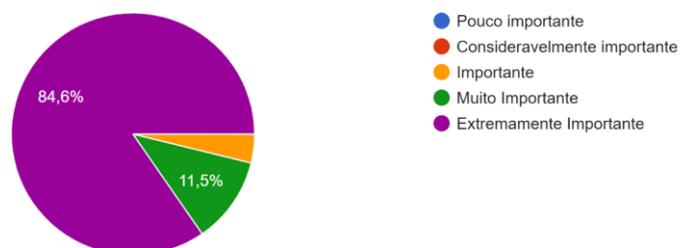
Desta forma, Oliveira et al. (2021), aponta que a pesquisa, e, por conseguinte a capacitação de profissionais da educação, voltadas às mudanças climáticas, devem considerar em suas análises estratégias de mitigação condizentes com a educação ambiental. Segundo os referidos autores, o ensino da temática contribui para a qualidade de vida e do meio ambiente, possibilitando transformações socioeconômicas e culturais que promovem o desenvolvimento sustentável, evidenciando que a formação de educadores ambientais, capacitados para a abordagem das temáticas relacionadas à segurança hídrica e às mudanças climáticas

no âmbito pedagógico, é indispensável para mudanças estruturais na forma de perceber e agir sobre os recursos naturais.

Figura 18. Percepção dos graduandos em Licenciatura em Geografia da UFPE sobre a importância do desenvolvimento de pesquisas sobre Segurança Hídrica

Na sua opinião, quão importante é o desenvolvimento de estudos e pesquisas sobre a segurança hídrica e as mudanças climáticas para o ensino de Geografia em Pernambuco?

26 respostas



Fonte: O autor (2022).

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos para a caracterização fisiográfica da bacia hidrográfica do Riacho Cachoeira evidenciam um cenário pouco propenso à ocorrência de enchentes, em decorrência principalmente da forma alongada atribuída à bacia através do cálculo dos índices geométricos. Com base nas características obtidas para a hidrografia da bacia, foi possível concluir que o escoamento superficial não é intenso e que sua rede de drenagem, apesar de altamente ramificada, não é eficiente.

A caracterização do relevo da bacia indicou um cenário de baixa propensão a acúmulo superficial, uma vez que se apresenta em classes de baixa declividade, ainda que apresente consideráveis níveis de altitude. Quanto à extração da rede de drenagens da bacia, foi possível atestar os grandes níveis de ramificação para a drenagem e as sinuosidades de seus canais, principalmente ao comparar os resultados obtidos através dos dados LiDAR com os obtidos a partir dos dados SRTM, onde ficou clara a superioridade do primeiro produto no que se refere à precisão e ao detalhamento das propriedades dos cursos d'água, evidenciando o LiDAR como uma excelente fonte de dados para o desenvolvimento de projetos de planejamento hídrico para o estado de Pernambuco, tendo em vista a disponibilidade e a qualidade dos dados para a modelagem hidrológica.

O modelo hidrológico SWAT, utilizado para a validação da dinâmica hídrica da bacia, se mostrou extremamente eficiente na representação da bacia, e a obtenção do balanço hídrico foi indispensável para o entendimento do comportamento dos fluxos e do acúmulo de água. O balanço hídrico para a bacia do Riacho Cachoeira representou de forma satisfatória o déficit hídrico na área, resultado principalmente das características climáticas da região, como fica evidente na representação gráfica do balanço, onde se destacam os elevados níveis de evapotranspiração. Acerca dos fluxos superficiais, que estão intrinsecamente relacionados com a disponibilidade hídrica superficial, o balanço hídrico apresentou para a simulação mensal com dados dos anos entre 1961 e 2016 resultados extremamente baixos.

Os resultados do balanço hídrico superficial para a bacia apresentaram de forma significativa a realidade, tendo em vista que ao serem temporalmente analisados, estiveram perfeitamente alinhados com os processos atuantes na região em que se encontra a bacia, como os momentos de escassez hídrica que estiveram

bem representados no balanço hídrico, uma vez que este indicou índices pluviométricos consideravelmente baixos para os períodos de análise.

A utilização do SUPer como metodologia de acesso à modelagem SWAT foi indispensável para a obtenção dos resultados presentes nesta pesquisa. A interface inovadora, acessível e eficiente se apresenta como uma ótima ferramenta para a análise hidrológica de bacias hidrográficas em Pernambuco. Assim como os dados LiDAR do PE3D, que se apresentaram extremamente eficazes para uma caracterização detalhada e precisa da bacia, especialmente quando comparados com os resultados obtidos com dados provenientes de outra fonte, evidenciando a superioridade de seus dados na representação real dos processos atuantes na bacia.

A possibilidade de integrar estas duas metodologias inovadoras e extremamente eficientes para caracterizar e compreender o comportamento hidrológico na bacia hidrográfica do Riacho Cachoeira, evidenciou a necessidade de desenvolver metodologias integradoras para o estudo de bacias hidrográficas, possibilitando o desenvolvimento de estudos em uma perspectiva sistêmica, que por sua vez podem subsidiar uma melhor gestão dos recursos hídricos de uma bacia, através de informações de qualidade. A disponibilidade de ambas as ferramentas para os estudos das bacias hidrográficas de Pernambuco necessita de ampla divulgação no meio científico, tendo em vista que sua adoção pode resultar no desenvolvimento de projetos de gestão eficientes, que busquem mitigar os impactos das emergências hidroclimáticas que assolam periodicamente o estado.

Para mitigar os efeitos das emergências climáticas a longo prazo, é necessário que os projetos de gestão estejam alinhados à educação, para tal, o desenvolvimento de pesquisas que se ocupem de caracterizar bacias hidrográficas, mudanças climáticas e outros elementos relacionados à segurança hídrica são indispensáveis, uma vez que subsidiam informações precisas e atuais para o ensino. A aplicação do questionário com os graduandos de Licenciatura em Geografia da UFPE indicou uma carência de estudos que se ocupem em propor metodologias e estratégias de ensino para estas temáticas, o que evidencia a necessidade de se desenvolverem projetos de capacitação no âmbito da educação formal e não-formal, alinhados aos objetivos de integração entre a universidade, a sociedade civil, e os órgãos gestores.

REFERÊNCIAS

- ABBASPOUR, K. C. et al. A continental-scale hydrology and water quality model for Europe: Calibration and uncertainty of a high-resolution large-scale SWAT model. **Journal of hydrology**, v. 524, p. 733-752, 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.03.027>
- ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Sistema de Acompanhamento de Reservatórios - Reservatórios do Nordeste**. 2022. Disponível: neste endereço. Acesso: 11 out. 2022.
- ANDRADE, C. W. L. et al. Modelagem hidrológica sob escassez de dados na Bacia do Alto Mundaú, Nordeste do Brasil. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, [S. l.], v. 2, n. 3, p. 227–238, 2017. DOI: <https://doi.org/10.24221/jeap.2.3.2017.1443.227-238>
- APAC – Agência Pernambucana de Águas e Clima. **Bacias Hidrográficas: Rio Pajeú**. 2022. Disponível: neste endereço. Acesso: 13 ago. 2022.
- BANDIM, C. G. A.; GALVÍNCIO, J. D. Mapeamento das áreas de armazenamento de água em depressão, usando dados LIDAR: estudo de caso avenida caxangá. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 1 p. 058-067, 2021. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.1.p058-067>
- BARGOS, D. C. **Caracterização de Bacias Hidrográficas**. E-disciplinas USP, 3 abr. 2019. Disponível: neste endereço. Acesso: 5 out. 2022.
- BARROS, J. P. F. G.; GALVÍNCIO, J. D. Caracterização fisiográfica das bacias hidrográficas do rio Una e Mundaú utilizando dados do LIDAR, Pernambuco 3D. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 05, p. 2671-2688, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v15.5.p2671-2688>
- BELO, E. M.; FERREIRA, G. H. C. A importância da geografia em sala de aula: o desafio de um ensino capaz de formar o cidadão. **Linguagem Acadêmica, Batatais**, v. 2, n. 2, p. 65-82, 2012. Disponível: neste endereço. Acesso: 20 out. 2022.
- BRASIL. Política Nacional de Educação Ambiental, Lei 9.795. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 27 de abr. 1999. Disponível: neste endereço. Acesso: 20 ago.2022.
- BRASIL. Política Nacional de Recursos Hídricos, Lei 9.433. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 8 de jan. de 1997. Disponível: neste endereço. Acesso: 20 ago.2022.
- BRASIL. Resolução CNRH nº 98, de 26 de março de 2009. Disponível: neste endereço. Acesso: 20 ago 2022.
- BROWN, J. D. et al. Modeling storm surge flooding of an urban area with particular reference to modeling uncertainties: A case study of Canvey Island, United Kingdom.

Water Resources Research, v. 43, n. 6, 2007. DOI:
<https://doi.org/10.1029/2005WR004597>.

CARVALHO, F. H. D. **Uso do modelo SWAT na estimativa da vazão e da produção de sedimentos em bacia agrícola do Cerrado brasileiro**. 2014. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade de Brasília. Disponível: neste endereço. Acesso:

CARVALHO, W. dos A. **Estimativa do balanço hídrico da bacia hidrográfica do Rio Pajeú utilizando o modelo *Soil and Water Assessment Tool* (SWAT)**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia de Pesca) – Unidade Acadêmica de Serra Talhada, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Serra Talhada, 2019. Disponível: neste endereço. Acesso: 25 ago. 2022

CAVALCANTI, L. de S. A Geografia e a realidade escolar contemporânea: avanços, caminhos, alternativas. Anais do **I Seminário Nacional: Currículo em Movimento – Perspectivas atuais Belo Horizonte**, novembro de 2010. Disponível: neste endereço. Acesso: 15 out. 2022.

CBHSF – Comitê da Bacia do Rio São Francisco. **Plano de Recursos Hídricos da Bacia do Rio São Francisco 2016-2025**. Alagoas. Volume 1 e 2.: 520 p. 2016. Disponível: neste endereço. Acesso: 15 ago. 2022

CBHSF – Comitê da Bacia do Rio São Francisco. **Rios perenes, efêmeros e intermitentes**. 2014. Disponível: neste endereço. Acesso: 11 ago. 2022

CHORLEY, R. H., RE 1945: Erosional development of streams and their drainage basins: hydrophysical approach to quantitative morphology. *Bulletin of the Geological Society of America* 56, 2 75-3 70. **Progress in Physical Geography**, v. 19, n. 4, p. 533-554, 1995. DOI: <https://doi.org/10.1177/030913339501900406>

CHRISTOFOLETTI, A. Geomorfologia, 2.ed. São Paulo: **Editora Edgard Blucher**, São Paulo, 1980. 188 p.

CIRILO, J. A. et al. Pernambuco tridimensional: base de dados espaciais para planejamento urbano e gestão territorial. **Silusba - Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Portuguesa**, 2015. Disponível: neste endereço. Acesso: 22 ago. 2022.

COELHO, V. H. R. et al. Dinâmica do uso e ocupação do solo em uma bacia hidrográfica do semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, p. 64-72, 2014. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662014000100009>.

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. **Diagnóstico do Município de Serra Talhada**. 2005. Disponível: neste endereço. Acesso: 11 ago. 2022

DA FONSECA NETO, G. C. et al. Modelagem Bidimensional para a Verificação Hidráulica da Canalização de um Trecho do Rio Fragoso em Olinda (Pernambuco,

Brasil). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 6, p. 2963-2977, 2020. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.6.p2963-2977>

DE SOUZA, F. A.; PIRES, M. E. R. Ensino e Pesquisa: Uma Análise do Balanço Hídrico do alto e baixo curso da Bacia Hidrográfica do Rio Tadarimana, em Mato Grosso. **Revista Equador**, v. 5, n. 4, p. 151-163, 2016. DOI: <https://doi.org/10.26694/equador.v5i4.5205>

DIAS, C. A. Grupo focal: técnica de coleta de dados em pesquisas qualitativas. **Informação & Sociedade**, v. 10, n. 2, 2000. Disponível: neste endereço. Acesso:

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Solos**. 2021. Disponível: neste endereço. Acesso: 11 ago. 2022

FAUSTINO, J. Planificación y gestión de manejo de cuencas. Turrialba: **CATIE**, 1996. 90p.

FEITOZA, M. A. B. **Aplicação de modelo de simulação hidrológica com regionalização de parâmetros para regiões semiáridas**. 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2021. Disponível: neste endereço. Acesso: 28 ago. 2022.

FERRAZ, G. D. F. **Simulação hidrológica e hidrodinâmica do impacto de enchentes na bacia do rio Sirinhaém e avaliação de sistema de controle proposto**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco. Disponível: neste endereço. Acesso: 25 ago. 2022.

FERREIRA, C. W. S. et al. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do açude Cachoeira II, no município de Serra Talhada - PE, Brasil. In: Anais do **VI Simpósio Latino-Americano de Geografia Física**, Coimbra, 2010. Disponível: neste endereço. Acesso: 25 ago. 2022

FEWTRELL, T. J. et al. Benchmarking urban flood models of varying complexity and scale using high resolution terrestrial LiDAR data. **Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C**, v. 36, n. 7-8, p. 281-291, 2011. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.pce.2010.12.011>.

FRANÇA, L. M. de A. **Impacto das ações antrópicas e do clima no uso e ocupação do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Pajeú**. 2017. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017. Disponível: neste endereço. Acesso: 05 ago. 2022.

FRANÇA, L. M. de A., et al. Análise do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Pajeú (Pernambuco) com o produto MODIS MCD12Q1. **Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto**, v. 1, n. 1, 2020. Disponível: neste endereço. Acesso: 15 ago. 2022

GALLEGOS, H. A. et al. Two-dimensional, high-resolution modeling of urban dam-break flooding: A case study of Baldwin Hills, California. *Advances in Water*

Resources, v. 32, n. 8, p. 1323-1335, 2009. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2009.05.008>.

GALVÍNCIO, J. D. et al. Análise do relevo da bacia hidrográfica do açude Epitácio Pessoa. **Revista de Geografia, Recife**, v. 23, n. 1, p. 54-69, 2006. Disponível: neste endereço. Acesso: 24 ago. 2022

GALVÍNCIO, J. D. Impacto do aumento de CO₂ nas Precipitações do estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 03, p. 1828-1839, 2021. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.3.p1828-1839>

GALVÍNCIO, J. D. Relation of leaf water content with real evapotranspiration and biomass in Caatinga biome, using remote sensing data. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 10, n. 05, p. 1545-1551, 2017. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v10.5.p1545-1551>

GALVÍNCIO, J. D.; LUZ, G. G. Desenvolvimento de Modelo que Estima o Impacto do CO₂ Atmosférico nas Precipitações do Estado de Pernambuco, utilizando o ARIMA. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 04, p. 1840-1851, 2021. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.4.p1840-1851>

GALVÍNCIO, J. D.; SOUSA, F. A. S. Uso do TOPAZ para caracterização fisiográfica da bacia hidrográfica do açude Epitácio Pessoa. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Rio Grande do Sul. v. 9, n. 4, p. 69-75, 2004. Disponível: neste endereço. Acesso: 24 ago. 2022.

GOMES, M. M. D. A. **Abordagem integrada de modelagem hidrológica e operação de barragens para avaliação da eficiência do controle de cheias na Bacia do Rio Capibaribe**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco. Disponível: neste endereço. Acesso: 26 ago. 2022.

GUIMARÃES, M. A formação de educadores ambientais. **Papirus Editora**, 2004. Disponível: neste endereço. Acesso: 20 out. 2022

HSU, M.; CHEN, S.; CHANG, T. Inundation simulation for urban drainage basin with storm sewer system. **Journal of Hydrology**, v. 234, n. 1-2, p. 21-37, 2000. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0022-1694\(00\)00237-7](https://doi.org/10.1016/S0022-1694(00)00237-7)

HUNTER, N. M. et al. Benchmarking 2D hydraulic models for urban flooding. In: **Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Water Management**. Thomas Telford Ltd, 2008. p. 13-30. DOI: <https://doi.org/10.1680/wama.2008.161.1.13>

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Brasileiro de 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. Disponível: neste endereço. Acesso: 05 ago. 2022.

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Objetivos do Desenvolvimento Sustentável**. 2019. Disponível: neste endereço. Acesso: 11 ago. 2022.

JACOBI, P. R. et al. Mudanças climáticas globais: a resposta da educação. *Revista brasileira de educação*, v. 16, p. 135-148, 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-24782011000100008>

JARDIM, A. M. da R. F. et al. Estudos climáticos do número de dias de precipitação pluvial para o município de Serra Talhada-PE. **Revista Engenharia na Agricultura**, v. 27, n. 4, p. 330-337, 2019. DOI: <https://doi.org/10.13083/reveng.v27i4.875>

LIMA, A. de S. et al. O uso dos dados lidar para a compreensão da dinâmica de escoamento e acúmulo de águas em Recife-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 06, p. 3255-3278, 2021. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.6.p3255-3278>

LUZ, G. G.; GALVÍNIO, J. D. Balanço hídrico superficial da bacia hidrográfica do riacho Milagres-PE, utilizando o SUPer. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.15, n.02, 1094-1107, 2021. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.2.p1094-1107>

MACÊDO, J. A.; DE OLIVEIRA SANTOS, J. Caracterização de eventos máximos de precipitação no semiárido cearense (Paper 528). *Papers do NAEA*, v. 30, n. 1, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.18542/papersnaea.v30i1.11259>

MARENCO, J. A. et al. A seca de 2012-15 no semiárido do Nordeste do Brasil no contexto histórico. **Revista Climanalise**, v. 3, n. 1, p. 49-54, 2016. Disponível: neste endereço. Acesso: 15 out. 2022

MARENCO, J. A. et al. Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. *Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas*, v. 1, p. 385-422, 2011. Disponível: neste endereço. Acesso: 15 out. 2022

MASON, D. C. et al. Use of fused airborne scanning laser altimetry and digital map data for urban flood modelling. **Hydrological Processes: An International Journal**, v. 21, n. 11, p. 1436-1447, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1002/hyp.6343>.

MIRANDA, R. Q. de. **Avaliação integrada da variação espacial e temporal do balanço hídrico na caatinga**. 2017. Tese (Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2017. Disponível: neste endereço. Acesso: 25 ago. 2022

MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Caatinga**. 2022. Disponível: neste endereço. Acesso: 11 ago. 2022

MOTA, J. da S. Utilização do google forms na pesquisa acadêmica. *Humanidades & Inovação*, v. 6, n. 12, p. 371-373, 2019. Disponível: neste endereço. Acesso: 20 out. 2022.

NEAL, J. C. et al. Distributed whole city water level measurements from the Carlisle 2005 urban flood event and comparison with hydraulic model simulations. **Journal of Hydrology**, v. 368, n. 1-4, p. 42-55, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhydrol.2009.01.026>

NEITSCH, S. L. et al. **Soil and Water Assessment Tool “SWAT”: Ferramentas de Avaliação de Solo & Água**. Documentação Teórica Versão 2009. College Station, Texas: Instituto de Recursos Hídricos do Texas, 2011. Disponível: neste endereço. Acesso: 25 ago. 2022.

NEITSCH, S. L. et al. Soil and water assessment tool: Theoretical documentation, version 2005. **Agricultural Research Service and Texas AgriLife Research**. Texas, 2005. Disponível: neste endereço. Acesso: 25 ago. 2022.

NISHIWAKI, A. A. M.; MOURA, M. S. B.; GALVÍNCIO, J. D.; SANTOS, C. V. B.; CARVALHO, H. F. S. Comparison of detection methods for vegetable individuals from the Caatinga using airborne LiDAR data. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, v.11, p. 302-309, 2021. DOI: <https://doi.org/10.29150/2237-2202.2021.251968>

OLIVEIRA, N. C. R. de et al. Educação ambiental e mudanças climáticas: análise do Programa Escolas Sustentáveis. **Ciência & Educação (Bauru)**, v. 27, 2021. DOI: <https://doi.org/10.1590/1516-731320210068>

OZDEMIR, H. et al. Evaluating scale and roughness effects in urban flood modelling using terrestrial LIDAR data. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 17, n. 10, p. 4015-4030, 2013. DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-17-4015-2013>.

PBMC – Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. **Impactos, vulnerabilidades e adaptação às mudanças climáticas**. Contribuição do Grupo de Trabalho 2 do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas ao Primeiro Relatório da Avaliação Nacional sobre Mudanças 138 Climáticas. ASSAD, E. D.; MAGALHÃES, A., et al. Rio de Janeiro: COPPE. Universidade Federal do Rio de Janeiro 2014. Disponível: neste endereço. Acesso: 16 ago 2022.

PESSOA NETO, A. G. et al. Caracterização morfométrica da bacia hidrográfica do rio Jaboatão, em Pernambuco, utilizando Modelos Digitais de Elevação provenientes de sensor LiDAR. **Journal Of Hyperspectral Remote Sensing**, v. 11, p. 242-253, 2021. DOI: <https://doi.org/10.29150/2237-2202.2021.252364>

PICCOLI, A. de S. et al. A Educação Ambiental como estratégia de mobilização social para o enfrentamento da escassez de água. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 21, p. 797-808, 2016. DOI: <https://doi.org/10.1590/1413-81232015213.26852015>

RANGEL, L. de A.; GUERRA, A. J. T. Qualidade física de um cambissolo háplico sob diferentes usos na bacia do córrego dos micos, paraty (rj). **Boletim Goiano de Geografia**, v. 37, n. 1, p. 91-105, 2017. Disponível: neste endereço. Acesso:

RENNÓ, C. D.; SOARES, J. V. **Conceitos básicos de modelagem hidrológica**. MEIRELLES, MSP Geomática: modelos e aplicações ambientais/Editores técnicos: Margareth Simões Penello Meirelles, Gilberto Câmara e Cláudia Maria de Almeida—Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. Disponível: neste endereço. Acesso: 25 ago. 2022.

REUNGSANG, P. et al. Calibration and Validation of SWAT for the Upper Maquoketa River Watershed. **CARD Working Papers**. 372, 2005. Disponível: neste endereço. Acesso: 27 ago. 2022.

RHODEN, A. C. et al. A importância da água e da gestão dos recursos hídricos. **Revista de Ciências Agroveterinárias e Alimentos**, n. 1, 2016. Disponível: neste endereço. Acesso: 25 ago. 2022.

RIBEIRO, A. A. D. S. et al. Reconstituição de manchas de inundação baseada em dados coletados via smartphones: uma abordagem metodológica para o mapeamento de riscos hidrológicos. **RBRH**, v. 25, 2020. DOI: <https://doi.org/10.1590/2318-0331.252020190179>

RODRIGUEZ, L. C. E. et al. Inventário florestal com tecnologia laser aerotransportada de plantios de Eucalyptus spp no Brasil. **Ambiência**, Guarapuava, v. 6, p. 67–80, 2010. Disponível: neste endereço. Acesso: 15 ago. 2022.

SAMPSON, C. C. et al. Use of terrestrial laser scanning data to drive decimetric resolution urban inundation models. **Advances in water resources**, v. 41, p. 1-17, 2012. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2012.02.010>.

SANTANA, S. H. C. de et al. Método de Análise de Biomassa em um fragmento florestal de Pinus Uncinata. **Mercator (Fortaleza)**, v. 20, 2021. DOI: <https://doi.org/10.4215/rm2021.e20001>

SANTOS, A. G. B. dos et al. Caracterização Morfométrica e Uso e Ocupação do Solo em Bacia Hidrográfica do Semiárido Pernambucano. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 14, n. 2, p. 1036-1043, 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.26848/rbgf.v14.2.p1036-1043>

SARTORI, A. P. **Aplicação do modelo SWAT na modelagem do escoamento superficial e perda de solo na Bacia do Ribeirão Candidópolis em Itabira-MG**. 2019. 92 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa. 2019. Disponível: neste endereço. Acesso: 28 ago. 2022.

SCHUMM, S. A. Evolution of drainage systems and slopes in badlands at Perth Amboy, New Jersey. **Geological Society of America Bulletin**, v. 67, n. 5, p. 597-646, 1956. DOI: [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1956\)67\[597:EODSAS\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1956)67[597:EODSAS]2.0.CO;2)

SILVA, J. F. da et al. Análise dos Modelos Digitais de Elevação (PE3D, SRTM-30, SRTM-90, ASTER GDEM, TOPODATA, TANDEM-X, ALOS PALSAR e ALOS AW3D30) e a necessidade da produção de dados altimétricos em excelência no Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 15, n. 03, p. 1543-1555, 2022. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v15.3.p1543-1555>

SILVA, M. C. de O. **Abordagem multicritério para análise de sistemas de abastecimento de água e esgotamento sanitário com auxílio de dados espaciais de alta resolução**. 2021. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2021. Disponível: neste endereço. Acesso: 25 ago. 2022.

SILVA, P. P. L. et al. Impacto das perturbações ambientais históricas do semiárido brasileiro no acúmulo de biomassa e carbono pela caatinga. In: **Embrapa Semiárido-Resumo em anais de congresso (ALICE)** 5, 2017, Recife. Governança, desenvolvimento e tecnologias ambientais. Recife: ITEP, 2017. Disponível: neste endereço. Acesso: 25 ago. 2022.

SOARES, G. A. S.; GALVÍNCIO, J. D. Uso do LiDAR para avaliar os padrões hídricos de bacias em áreas urbanas: Caracterização fisiográfica da bacia do Rio Beberibe-PE. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 07, p. 3659-3674, 2020. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.07.p3659-3674>

SOMLYODY, L; VARIS, O. Freshwater under pressure. **International Review for Environmental Strategies**, v.6, n.2, p.181-204, 2006. Disponível: neste endereço. Acesso: 15 ago. 2022

SORRENTINO, M. et al. Educação ambiental como política pública. **Educação e pesquisa**, v. 31, p. 285-299, 2005. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1517-97022005000200010>

SOUSA, C. dos S. et al. Atributos físicos de uma topossequência de Luvisolos Crômicos (Tc), no Semiárido Paraibano. In: **Anais do I Congresso Internacional de Meio Ambiente e Sociedade e III Congresso Internacional da diversidade do Semiárido**, 2019. Disponível: neste endereço. Acesso: 28 ago. 2022

SRINIVASAN, R.; ARNOLD, J. G. Integration of the basin-scale water quality model with GIS. **JAWRA Journal of the American Water Resources Association**, v. 30, n. 3, p. 453-462, 1994. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1994.tb03304.x>

STRAHLER, A. N. Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography. **Geological Society of America Bulletin**, v. 63, n. 11, p. 1117-1142, 1952. DOI: [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1952\)63\[1117:HAAOET\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1952)63[1117:HAAOET]2.0.CO;2)

STRAHLER, A. N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Eos, Transactions American Geophysical Union**, v. 38, n. 6, p. 913-920, 1957. DOI: <https://doi.org/10.1029/TR038i006p00913>

TOMASELLA, J.; ROSSATO, L. Balanço hídrico. **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**. São Paulo, 2005. Disponível: neste endereço. Acesso: 10 ago. 2022.

TONELLO, K. C. **Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães, MG**. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, 2005. Disponível: neste endereço. Acesso: 05 ago. 2022.

TSUBAKI, R.; FUJITA, I. Unstructured grid generation using LiDAR data for urban flood inundation modelling. **Hydrological Processes: An International Journal**, v. 24, n. 11, p.1404-1420, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/hyp.7608>.

TUCCI, C. E. M. Hidrologia: ciência e aplicação. 3.ed. Porto Alegre: **ABRH**, 2004. 943 p.

TUNDISI, J. G.; MATSUMURA-TUNDISI, T. Limnologia. São Paulo: **Oficina de Textos**, 2008. 631p. Disponível: neste endereço. Acesso: 15 ago. 2022

ONU-ÁGUA – Organização das Nações Unidas: Água. **O que é Segurança Hídrica? Infográfico**. 2013. Disponível: neste endereço. Acesso: 27 ago. 2022.

VANZELA, L. et al. Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barras, Marinópolis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, p. 55-64, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662010000100008>.

VERÇOSA, L. F. de M. **Modelagem hidrológica e hidrodinâmica aplicada à avaliação da ocorrência de inundações na cidade de Recife, PE**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2019. Disponível: neste endereço. Acesso: 24 ago. 2022.

VIANA, J. F. D. S. et al. **XV Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste**. Calibrações parciais do Modelo SWAT como suporte ao Sistema de Unidades de Resposta Hidrológica para Pernambuco (SUPER): Bacia do Rio Pajeú. 2020. Disponível: neste endereço. Acesso: 15 ago. 2022.

VILLELA, S. M.; MATTOS, A. Hidrologia aplicada. São Paulo: **McGraw-Hill**, 1975. Disponível: neste endereço. Acesso: 15 ago. 2022.