



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE  
PERNAMBUCO

Campus Recife

Departamento Acadêmico de Cursos Superior - DACS

Curso de Licenciatura em Geografia

FELIPE MITCHELL CAMPOS RAMOS

**IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA PRECIPITAÇÃO DA  
BACIA DO TAPACURÁ: aplicabilidade do sistema de unidades de  
respostas hidrológicas para Pernambuco**

Recife

2025

FELIPE MITCHELL CAMPOS RAMOS

**IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA PRECIPITAÇÃO DA  
BACIA DO TAPACURÁ: aplicabilidade do sistema de unidades de  
respostas hidrológicas para Pernambuco**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Licenciatura em Geografia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco – *Campus* Recife, como requisito para obtenção do título de Licenciado(a) em Geografia.

Orientador: Prof. Me. Marcelo Ricardo Bezerra de Miranda

Coorientador: Prof.<sup>a</sup> Me Joazadaque Lucena de Souza

Recife

2025

R175i  
2025

Ramos, Felipe Mitchell Campos.

Impacto das mudanças climáticas na precipitação da bacia do Tapacurá :  
aplicabilidade do sistema de unidades de respostas hidrológicas para Pernambuco /  
Felipe Mitchell Campos Ramos. --- Recife: O autor, 2025.  
55f. il. Color.

TCC (Curso de Licenciatura em Geografia) – Instituto Federal de Pernambuco,  
2025.

Inclui Referências e glossário

Orientador: Professor Dr. Marcelo Ricardo Bezerra de Miranda.

1. Geografia. 2. Mudanças climáticas. 3. Bacia hidrográfica. 4. Rio Tappacurá  
. I. Título. II. Barbosa, Aduino Gomes (orientador). III. Instituto Federal de  
Pernambuco.

CDD 918.134 (21ed.)

FELIPE MITCHELL CAMPOS RAMOS

**IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA PRECIPITAÇÃO DA BACIA DO  
TAPACURÁ: APLICABILIDADE DO SISTEMA DE UNIDADES DE RESPOSTAS  
HIDROLÓGICAS PARA PERNAMBUCO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Licenciatura em Geografia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco – *Campus Recife*, como requisito para obtenção do título de Licenciado(a) em Geografia.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado e **APROVADO** em 11 de abril de 2025 pela Banca Examinadora:

---

Marcelo Ricardo Bezerra de Miranda (IFPE/CGEO) – Orientador  
Mestre em Geografia – UFPE

---

Joazadaque Lucena de Souza (IFPE/CGEO) – Coorientador  
Mestre em Geografia – UFPE

---

Cristiane Barbosa da Silva (UFPE/PPGEO) – Examinadora Externa  
Mestra em Geografia – UFPE

---

Manuella Vieira Barbosa Neto (IFPE/CGEO) – Examinadora Interna  
Doutora em Geografia – UFPE

Recife

2025

A você, mãe, mulher guerreira e inspiração constante na minha vida, dedico com todo o meu amor esta conquista acadêmica. Foi você quem me mostrou, desde os primeiros passos, que a educação é a mais poderosa ferramenta de transformação. Seus ensinamentos, valores e sacrifícios moldaram não apenas o profissional que me tornei, mas principalmente a pessoa que sou hoje.

## **AGRADECIMENTOS**

É com profunda gratidão e emoção que dedico este trabalho a todas as pessoas que, de alguma forma, contribuíram para que eu chegasse até aqui. Essa jornada acadêmica foi marcada por desafios, aprendizados e muitas superações, e cada um de vocês teve um papel fundamental nesse processo.

Em primeiro lugar, quero expressar meu eterno agradecimento à minha mãe, Maria José, mulher forte e batalhadora que sempre colocou a educação como prioridade em nossa família. Mesmo diante das dificuldades, você fez o impossível para garantir que eu e meus irmãos tivéssemos acesso ao conhecimento e às oportunidades que você mesma não pôde ter. Sua resiliência, amor incondicional e sacrifícios são a base de tudo o que conquistei até hoje. Mãe, sou o que sou por sua causa, e essa vitória é tão sua quanto é minha.

Uma menção especial vai para duas Beatrizes que iluminam minha vida: minha avó, dona Beatriz, e minha irmã, Beatriz. Avó, sua história de luta e perseverança sempre me inspirou. Mesmo com todas as adversidades, você plantou em nós a semente da educação e nos ensinou que o estudo é a chave para um futuro melhor. Ver o orgulho em seus olhos ao me ver conquistar esse diploma é uma das maiores recompensas desse caminho. E à minha irmã Beatriz, minha companheira de vida, obrigado por ser meu exemplo de força, inteligência e humanidade. Sua determinação e apoio incondicional me mostraram que sempre vale a pena persistir, mesmo nos momentos mais difíceis.

Agradeço também ao meu noivo, Lucas, por ser meu porto seguro nessa jornada. Sua paciência, incentivo e amor foram essenciais para que eu não desistisse, especialmente nos momentos de incerteza. E ao meu grande amigo Hércio Lucena, que esteve ao meu lado quando decidi me mudar para Recife em busca desse sonho. Sua amizade e apoio foram fundamentais para que eu me adaptasse e encontrasse forças para seguir em frente.

À minha família como um todo — tios, primos e amigos que se tornaram família —, obrigado por cada palavra de incentivo, por cada "você consegue" nos momentos em que eu mais precisei. Saber que podia contar com vocês fez toda a diferença.

Aos meus orientadores Marcelo Miranda e Joazadaque Souza, professores e colegas de curso, meu sincero reconhecimento. Aos meus orientadores, agradeço pela paciência, dedicação e sabedoria compartilhada ao longo desse projeto. Suas críticas construtivas e orientações foram essenciais para o aprimoramento deste trabalho. Aos professores que passaram pela minha trajetória acadêmica, obrigado por cada ensinamento, por despertarem em mim a paixão pelo conhecimento e por me mostrarem que a educação transforma vidas. E aos meus colegas de turma, que compartilharam risadas, noites de estudo e momentos de descontração, obrigado por fazerem dessa jornada uma experiência inesquecível.

Por fim, mas não menos importante, agradeço a Deus e à vida por me permitirem chegar até aqui. Aos desafios que me fortaleceram, às quedas que me ensinaram a levantar e às vitórias que me mostraram que todo esforço vale a pena. Este trabalho não é apenas o fim de uma etapa, mas o início de uma nova caminhada, e sei que tudo o que vivi até agora me preparou para os próximos passos.

Que este momento sirva de inspiração para quem, assim como eu, acredita que a educação é o caminho para mudar não apenas uma vida, mas toda uma história.

Com gratidão eterna,

Felipe Mitchell

*O poder da geografia é dado pela capacidade  
de entender a realidade em que vivemos.*

(SANTOS, 1979)

## RESUMO

Diante dos crescentes desafios impostos pelas mudanças climáticas, que alteram os padrões hidrológicos em escala global, este Trabalho de Conclusão de Curso investiga como as mudanças no regime de precipitação estão afetando a disponibilidade hídrica na Bacia Hidrográfica do Rio Tapacurá (PE), utilizando o Sistema de Unidades de Resposta Hidrológica (SUPer) como ferramenta de modelagem. A bacia, localizada em Pernambuco, é essencial para o abastecimento hídrico regional, mas enfrenta desafios críticos como: variabilidade pluviométrica crescente, alterações aceleradas no uso do solo e pressões socioeconômicas que intensificam sua vulnerabilidade. O estudo analisou dados climáticos históricos (1960–2020) e simulou cenários futuros com aumento de 1,5°C na temperatura global, projetando um aumento de 20% na precipitação média anual (de 1.501,09 mm para 1.801,43 mm). Contudo, esse incremento está associado a eventos extremos mais frequentes (como chuvas intensas) e a um aumento da evapotranspiração potencial (ETP), agravando o déficit hídrico em períodos secos. A análise espacial revelou disparidades: a porção leste da bacia, mais próxima do litoral, registra maiores volumes pluviométricos (até 1.600 mm/ano), enquanto a região oeste, mais elevada e semiárida, apresenta menor precipitação (850 mm/ano). Os resultados destacam a vulnerabilidade da bacia a inundações e secas, exacerbadas pela ocupação desordenada e pela redução do fluxo de base (de 64,7% para 62,3% no cenário com mudanças climáticas). Para mitigar esses impactos, o trabalho propõe estratégias como gestão integrada de recursos hídricos, recuperação de áreas degradadas e infraestrutura de armazenamento. Conclui-se que a aplicação do SUPer é viável para monitorar mudanças hidrológicas em Pernambuco, oferecendo bases técnicas para políticas públicas adaptativas.

Palavras-chave: Eventos extremos; Temperatura; Cenários; SUPer; Gestão hídrica.

## ABSTRACT

This Undergraduate Thesis investigates the impacts of climate change on precipitation in the Tapacurá River Basin (Pernambuco, Brazil), employing the Hydrological Response Units System (SUPer) for modeling. The basin, vital for regional water supply, faces challenges such as rainfall variability, land-use changes, and socioeconomic pressures. The study analyzed historical climate data (1960–2020) and simulated future scenarios with a 1.5°C global temperature rise, projecting a 20% increase in annual average precipitation (from 1,501.09 mm to 1,801.43 mm). However, this rise is linked to more frequent extreme events (e.g., heavy rainfall) and higher potential evapotranspiration (PET), intensifying water deficits during dry periods. Spatial analysis revealed disparities: the eastern part of the basin, closer to the coast, records higher rainfall (up to 1,600 mm/year), while the elevated western region is semi-arid (850 mm/year). Findings underscore the basin's vulnerability to floods and droughts, worsened by unplanned urbanization and reduced baseflow (from 64.7% to 62.3% under climate change). To mitigate these impacts, the study proposes strategies like integrated water resource management, restoration of degraded areas, and storage infrastructure. The research concludes that SUPer is a viable tool for monitoring hydrological shifts in Pernambuco, providing insights for adaptive policymaking.

Keywords: Climate change; Tapacurá Basin; Precipitation; SUPer; Water management.

## LISTA DE TABELAS/ FIGURAS/ GRÁFICOS

Figura 1 - Localização geográfica da Bacia do Tapacurá.....	25
Figura 2 - Criação do cenário na plataforma do SUPer.....	31
Figura 3 - Customização de cenário no SUPer .....	32
Figura 4 - Média diária da bacia do Tapacurá sem alteração climática.....	34
Figura 5 - Valores diários de precipitação sem alteração climática.....	36
Figura 6 - Média anual de precipitação sem alteração climática. ....	37
Figura 7 - Média anual de precipitação com alteração climática .....	38
Figura 8 - Relação precipitação e evapotranspiração sem alteração climática. ....	38
Figura 9 - Relação precipitação e evapotranspiração com alteração climática. ....	39
Figura 10 - Média anual de temperatura na Bacia do Tapacurá. ....	41
Figura 11 - Média diária sem alteração climática .....	44
Figura 12 - Média diária com alteração climática .....	45
Figura 13 - Média diária de precipitação em maio sem alteração climática .....	46
Figura 14- Média diária de precipitação em maio com alteração climática .....	47
Figura 15 - Média diária com e sem alteração climática.....	48

## LISTA DE ABREVIATURAS

- APAC – Agência Pernambucana de Águas e Clima
- DACS – Departamento Acadêmico de Cursos Superior
- DOL – Distúrbios Ondulatórios de Leste
- ETP – Evapotranspiração Potencial
- HRU – Unidades de Resposta Hidrológica (do inglês *Hydrological Response Units*)
- IFPE – Instituto Federal de Pernambuco
- INMET – Instituto Nacional de Meteorologia
- IPCC – Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (do inglês *Intergovernmental Panel on Climate Change*)
- PCA/HCPC – Análise de Componentes Principais e Análise de Agrupamento Hierárquico (do inglês *Principal Component Analysis/Hierarchical Clustering Principal Components*)
- PET – Evapotranspiração Potencial (do inglês *Potential Evapotranspiration*)
- RCP 8.5 – Cenário de Emissões de Gases de Efeito Estufa (do inglês *Representative Concentration Pathway 8.5*)
- SIG – Sistemas de Informações Geográficas
- SUPer – Sistema de Unidades de Respostas Hidrológicas para Pernambuco
- SWAT – Ferramenta de Avaliação de Solo e Água (do inglês *Soil and Water Assessment Tool*)
- VCAN – Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis
- ZCIT – Zona de Convergência Intertropical

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	18
2.1 Mudanças Climáticas: Contexto e Impactos Globais.....	18
2.2. SWAT e Sistema de Unidades de Resposta Hidrológica HRU.....	19
2.3. Mudanças nos padrões de precipitação. ....	22
2.4. Bacia Hidrográfica.....	24
2.5. Bacia do Rio Tapacurá .....	25
3 METODOLOGIA .....	29
3.1 Área de Estudo .....	29
3.2 Coleta de Dados .....	30
3.3 Modelagem Hidrológica com o SUPer .....	30
3.4 Geoprocessamento e Análise Espacial .....	32
3.5 Análise Estatística e Séries Temporais .....	33
3.6 Avaliação dos Impactos Climáticos .....	33
3.7 Resultados e Visualização .....	33
4 RESULTADOS e DISCUSSÃO .....	34
4.1 Dados Climáticos da Bacia do Rio Tapacurá .....	34
4.1.1 Precipitação e Variabilidade Temporal .....	34
4.1.2. Distribuição Espacial da Precipitação .....	39
4.1.3 Temperatura e Evapotranspiração .....	41
4.1.4 Balanço Hídrico e Componentes do Ciclo Hidrológico .....	42
4.1.5 Vulnerabilidade a Inundações .....	43
4.2 Comparação entre Dados Climáticos Históricos e Resultados de Simulação..	43
4.3 Análise do Mês de Maio: Cenário com e sem Alteração Climática.....	45
4.4 Evapotranspiração e Balanço Hídrico .....	49
4.5 Impactos nos Recursos Hídricos e na Agricultura .....	49
4.6 Vulnerabilidade a Inundações e Secas.....	50
4.7 Necessidade de Estratégias de Adaptação .....	50
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	52
REFERÊNCIAS .....	54
Glossário .....	57

## 1 INTRODUÇÃO

O século XXI tem sido marcado por desafios significativos relacionados às mudanças climáticas, que têm um impacto cada vez mais presente nos ecossistemas naturais e nas comunidades humanas em todo o mundo. O fenômeno das mudanças climáticas é complexo e afeta diferentes regiões de maneiras diversas, apresentando consequências adversas em várias esferas da sociedade.

O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (Intergovernmental Panel on Climate Change - IPCC) é uma organização científica de renome mundial, composta por especialistas de diversas áreas relacionadas ao clima, que tem como objetivo fornecer avaliações objetivas e atualizadas sobre as mudanças climáticas e seus impactos. Em seus relatórios mais recentes, o IPCC tem alertado sobre a preocupante perspectiva de um aumento da temperatura global de 1,5°C acima dos níveis pré-industriais (IPCC, 2023). Esse cenário, se não for contido, pode desencadear uma série de mudanças climáticas drásticas e adversas.

Entre os aspectos mais preocupantes está a modificação dos padrões de precipitação em diferentes regiões do globo. A elevação da temperatura global pode levar a alterações nos padrões de chuva, resultando em eventos mais intensos de precipitação em algumas áreas, enquanto outras podem experimentar períodos prolongados de seca. Essas mudanças no regime de precipitação podem desencadear impactos significativos nos ecossistemas, na agricultura, na disponibilidade de água doce e, até mesmo, no aumento de eventos extremos, como enchentes e secas, afetando diretamente a vida de milhões de pessoas ao redor do mundo.

A bacia do rio Tapacurá, localizada no estado de Pernambuco, é uma região de grande importância socioeconômica, especialmente para o abastecimento de água e a agricultura. Com uma área de aproximadamente 471,33 km<sup>2</sup>, a bacia abrange municípios como Vitória de Santo Antão, Pombos, São Lourenço da Mata, Gravatá, Moreno e Chã Grande. A bacia é caracterizada por um relevo variado, com altitudes que vão desde 43 metros próximo à confluência com o rio Capibaribe até mais de 500 metros nas áreas mais elevadas, próximas ao Planalto da Borborema (Duarte *et al.*,

2007). Essa variação topográfica influencia diretamente os padrões de precipitação e temperatura na região, com chuvas mais intensas na porção leste, onde a altitude é menor, e uma redução gradual em direção ao oeste, onde o relevo é mais acidentado.

A bacia do Tapacurá desempenha um papel crucial no abastecimento de água para a região metropolitana do Recife, especialmente após a construção da Barragem do Tapacurá na década de 1970. Essa barragem foi projetada para controlar as cheias durante períodos de precipitação extrema e para garantir o abastecimento de água em épocas de escassez. No entanto, a crescente demanda por água para irrigação e o aumento da urbanização têm exacerbado os desafios de gestão dos recursos hídricos, tornando a região ainda mais vulnerável às mudanças climáticas.

O estudo dos recursos hídricos na perspectiva da escala de análise de bacias hidrográficas, facilitado com o desenvolvimento tecnológico de softwares de geoprocessamento, mais especificamente os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), origina subsídios às tomadas de decisão dos gestores e melhores atuações dos diversos atores sociais com o meio ambiente. A utilização de SIGs na determinação das características físicas de uma bacia hidrográfica (área, fator de forma, coeficiente de compacidade, índice de circularidade, ordenamento de canais e densidade de drenagem) vem sendo amplamente abordada por diversos pesquisadores, que propõem metodologias e novas técnicas de análise dessas características (Ferreira *et al.*, 2007; Tonello *et al.*, 2006; Galvíncio *et al.*, 2004, 2005, 2006).

A bacia do Tapacurá apresenta uma forma alongada e irregular, com um coeficiente de compacidade de 1,8024, o que indica que a bacia é pouco sujeita a enchentes em anos normais de precipitação. Além disso, a bacia é classificada como de 5ª ordem, com uma densidade de drenagem de 1,4892 km.km<sup>2</sup>, o que demonstra um sistema de drenagem bem ramificado, especialmente na porção ocidental, onde as declividades são mais acentuadas (Duarte *et al.*, 2007). Essas características físicas, somadas às variações climáticas, tornam a bacia um objeto de estudo relevante para a compreensão dos impactos das mudanças climáticas na disponibilidade hídrica.

No entanto, apesar da importância dessas questões, a compreensão abrangente dos efeitos das mudanças climáticas na bacia do rio Tapacurá ainda é limitada. É necessária uma investigação aprofundada e fundamentada para identificar como essas mudanças estão afetando as variáveis climáticas, principalmente as precipitações, na região. Controvérsias sobre a gestão de recursos hídricos na Bacia do Tapacurá giram em torno do equilíbrio entre atividades humanas e conservação ambiental. A crescente demanda agrícola e as mudanças no uso da terra amplificam os impactos hidrológicos das mudanças climáticas, levando a maior escoamento superficial e perda de serviços ecossistêmicos cruciais, como recarga de lençóis freáticos (Santos *et al.*, 2015).

Nesse contexto, o presente Trabalho de Conclusão de Curso tem como objetivo analisar os impactos das mudanças climáticas na bacia do rio Tapacurá, com especial ênfase nas alterações nas precipitações. Para alcançar esse objetivo, será empregado o Sistema de Unidades de Resposta Hidrológica para Pernambuco (SUPer), que fornecerá dados estimados do balanço hídrico, possibilitando uma análise abrangente das condições atuais e a projeção de possíveis cenários futuros.

Especificamente, o trabalho se desenvolverá em três eixos principais: discutirá as mudanças climáticas e suas relações com os padrões de precipitação em contextos geográficos específicos, examinando como fatores como temperatura, umidade e circulação atmosférica influenciam a distribuição espacial e temporal das chuvas na região; identificará possíveis tendências ou padrões a partir das precipitações ao longo do tempo na bacia do rio Tapacurá, utilizando dados climáticos históricos e ferramentas de geoprocessamento para analisar séries temporais e padrões espaciais; e realizará projeções climáticas considerando diferentes cenários de aumento da temperatura terrestre, utilizando modelos hidrológicos para simular os impactos potenciais nas precipitações e na disponibilidade hídrica da bacia.

Dessa forma, espera-se obter informações fundamentais para a compreensão dos desafios impostos pelas mudanças climáticas na região, incluindo a identificação de áreas mais vulneráveis a extremos pluviométricos (secas ou inundações), e para a proposição de estratégias de gestão sustentável dos recursos hídricos adaptadas às projeções climáticas futuras. Os resultados poderão subsidiar políticas públicas e

planos de adaptação climática para a bacia hidrográfica, contribuindo para a segurança hídrica da região.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 OBJETIVO GERAL**

Investigar como as mudanças climáticas podem afetar a precipitação na bacia do Rio Tapacurá.

### **1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Discutir as mudanças climáticas e suas relações com os padrões de precipitação em contextos geográficos específicos;
- Identificar possíveis tendências ou padrões a partir das precipitações ao longo do tempo na bacia do Rio Tapacurá, utilizando dados climáticos históricos e ferramentas de geoprocessamento;
- Realizar projeções climáticas e apresentar possíveis cenários futuros considerando o aumento da temperatura terrestre, visando compreender os impactos potenciais nas precipitações da área de estudo.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 Mudanças Climáticas: Contexto e Impactos Globais

As mudanças climáticas têm sido um dos temas mais debatidos no cenário global nas últimas décadas, especialmente devido aos seus impactos crescentes sobre os ecossistemas, a economia e a sociedade. De acordo com o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2023) e pesquisadores brasileiros como Carlos Nobre (INPE) e José Marengo (CEMADEN), as atividades humanas, principalmente a queima de combustíveis fósseis e o uso insustentável da terra, são as principais responsáveis pelo aquecimento global observado desde o período pré-industrial. Nobre (2014) destaca que a escala e a velocidade dessas mudanças não têm precedentes na história geológica, caracterizando o Antropoceno como uma era de "Grande Aceleração" das transformações ambientais. O relatório do IPCC (2023) complementa que a temperatura média global aumentou em aproximadamente 1,1°C entre 1850-1900 e 2011-2020, com impactos adversos generalizados em todas as regiões do planeta.

Os efeitos das mudanças climáticas já são visíveis em diversos sistemas naturais e humanos, conforme evidenciado por estudos nacionais. Marengo (2015) demonstra que no Brasil, megacidades como São Paulo e Rio de Janeiro enfrentam aumento na frequência de eventos extremos, como chuvas torrenciais e secas prolongadas, que agravam deslizamentos e crises hídricas. O IPCC (2023) ressalta que tais eventos têm causado perdas significativas em biodiversidade, segurança alimentar e infraestrutura, com comunidades vulneráveis — como populações urbanas periféricas em áreas de risco — sendo desproporcionalmente afetadas, evidenciando uma questão de justiça climática. Nobre (2014) alerta ainda para "tipping points" críticos, como a savanização da Amazônia, que poderiam acelerar desequilíbrios irreversíveis no sistema climático.

Um dos aspectos mais preocupantes é a aceleração do aumento do nível do mar, que já subiu 0,20 metros entre 1901 e 2018 (IPCC, 2023). No Brasil, Marengo (2015) destaca que zonas costeiras, onde se concentram grandes cidades como Recife e Santos, enfrentam riscos de inundações e erosão, exigindo planos de adaptação como o implementado em Santos (Plano Municipal de Adaptação, 2016).

Esse fenômeno ameaça diretamente populações em regiões de baixa altitude, com riscos elevados de deslocamento humano.

As implicações socioeconômicas são igualmente graves. O IPCC (2023) aponta que 3,3 a 3,6 bilhões de pessoas vivem em contextos altamente vulneráveis, cenário corroborado por Marengo (2015) ao analisar os impactos da seca de 2012-2015 no Nordeste e Sudeste brasileiro, que afetou abastecimento de água e produção agrícola. A insegurança alimentar e hídrica, agravada pela degradação dos solos, é uma das consequências mais críticas, especialmente em regiões dependentes de recursos climáticos, como destacado por Nobre (2014) em relação à economia brasileira.

Mitigação e adaptação são estratégias essenciais, mas insuficientes no cenário atual. Enquanto o IPCC (2023) enfatiza a necessidade de reduzir emissões, Nobre (2014) argumenta que o Brasil avançou mais em mitigação (ex.: redução do desmatamento) do que em adaptação, como a criação de infraestrutura resiliente. Marengo (2015) complementa que políticas de gestão de risco, como as do CEMADEN, são urgentes para megacidades, onde o crescimento urbano desordenado amplifica vulnerabilidades.

Em síntese, as mudanças climáticas representam uma ameaça multidimensional que exige respostas globais coordenadas. A ciência, como demonstrado pelo IPCC e pesquisadores brasileiros, fornece evidências robustas sobre riscos e soluções. Porém, como alertam Nobre e Marengo, a implementação efetiva depende de políticas públicas baseadas em conhecimento científico, cooperação intersetorial e mudanças estruturais nos padrões de produção e consumo, especialmente em países em desenvolvimento como o Brasil.

## **2.2. SWAT e Sistema de Unidades de Resposta Hidrológica HRU**

As mudanças climáticas e as alterações no uso do solo são fatores significativos que influenciam a hidrologia das bacias hidrográficas, incluindo a Bacia do Tapacurá. A alteração do ciclo hidrológico devido às mudanças climáticas afeta a disponibilidade de água para atividades humanas essenciais, como consumo, indústria e geração de energia. Além disso, mudanças no uso do solo podem modificar

componentes hidrológicos chaves dentro de uma bacia, impactando processos como evapotranspiração, escoamento superficial e recarga de águas subterrâneas.

Compreender essas dinâmicas é crucial para avaliar os impactos potenciais das mudanças climáticas e das modificações no uso do solo nos sistemas hídricos. Estudos recentes têm utilizado modelos de simulação para prever cenários hidrológicos futuros. Por exemplo, a ferramenta SWAT (Soil and Water Assessment Tool) tem sido empregada para analisar os efeitos hidrológicos das mudanças climáticas em diversas bacias hidrográficas, revelando mudanças significativas nos padrões de escoamento e na qualidade da água devido às alterações esperadas na temperatura e na precipitação (Santos *et al.*, 2015).

O Sistema de Unidades de Resposta Hidrológica (HRU) é um componente crucial na modelagem de processos hidrológicos, especialmente no contexto de mudanças climáticas e impactos no uso do solo. As HRUs são definidas como áreas dentro de uma bacia hidrográfica que exibem propriedades hidrológicas semelhantes, derivadas de diversos fatores, como topografia, cobertura do solo e características do solo. Essa abordagem ajuda a simplificar modelos hidrológicos complexos, segmentando a paisagem em unidades que respondem de maneira similar a entradas meteorológicas (Poblete *et al.*, 2020).

A delimitação das HRUs geralmente emprega uma combinação de dados de sensoriamento remoto, Sistema de Informação Geográfica (SIG) e métodos estatísticos. Uma técnica eficaz para otimizar as HRUs é a análise de componentes principais e análise de agrupamento hierárquico (PCA/HPC). Essa metodologia permite a construção de HRUs ao analisar dados meteorológicos em grade juntamente com parâmetros hidrológicos. Ela se concentra em minimizar a variabilidade interna dentro de cada HRU enquanto maximiza a variância entre diferentes unidades, melhorando, assim, a precisão das respostas hidrológicas (Silva; Santos; Silva, 2014).

Na prática, as HRUs frequentemente são representadas como células em grade, facilitando a compatibilidade com imagens de sensoriamento remoto. Essas células podem ser classificadas com base em suas características de fluxo superficial e fluxo em canais, determinadas por suas áreas de acumulação de fluxo. Essas classificações permitem uma modelagem mais precisa de processos de escoamento

e produção de sedimentos, essenciais para avaliar os impactos das mudanças climáticas e do uso do solo nos recursos hídricos (Poblete *et al.*, 2020).

O sistema de HRUs é particularmente valioso na modelagem hidrológica regional, onde os modelos são aplicados em áreas extensas utilizando um conjunto consistente de parâmetros. Por exemplo, estudos na bacia do rio Tapacurá destacaram como a abordagem de HRUs pode simular os impactos da variabilidade climática nos ciclos hidrológicos. O sistema auxilia na compreensão de como mudanças nos padrões de precipitação e no uso do solo podem afetar o escoamento e a produção de sedimentos, influenciando, assim, as estratégias de gestão de recursos hídricos (Santos *et al.*, 2015).

Além disso, a integração das metodologias de HRUs com ferramentas como o Soil and Water Assessment Tool (SWAT) permite que os pesquisadores avaliem os efeitos de vários cenários climáticos nas dinâmicas hidrossedimentológicas. Por exemplo, simulações indicam que alterações na precipitação podem influenciar significativamente a produção de sedimentos, evidenciando a sensibilidade das HRUs às mudanças climáticas (Santos *et al.*, 2015).

### **2.3 Aplicações do SUPer e SWAT em Pernambuco**

O SUPer (Sistema de Unidades de Respostas Hidrológicas para Pernambuco), baseado no modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tool), tem sido amplamente utilizado para simular cenários de mudanças climáticas e balanço hídrico no estado. Estudos como o de Tibúreio *et al.* (2023) na bacia do Riacho Amolar demonstraram a eficácia do SUPer em projetar reduções na disponibilidade hídrica devido ao aumento da evapotranspiração e diminuição do fluxo de base em cenários de aquecimento global. Os resultados mostraram que, mesmo com variações na precipitação, a perda por evapotranspiração pode aumentar significativamente, agravando o déficit hídrico em regiões semiáridas.

Além disso, Galvíncio (2021) aplicou o SUPer para analisar o impacto do aumento de CO<sub>2</sub> nas precipitações em Pernambuco, revelando que o Agreste e o Litoral tendem a registrar aumento nas chuvas, enquanto o Sertão enfrentará reduções. Esses achados corroboram a sensibilidade do modelo em capturar variações espaciais e temporais, destacando sua superioridade em comparação a

métodos tradicionais de balanço hídrico, que muitas vezes não consideram a heterogeneidade do solo e da vegetação.

#### **2.4 Vantagens do SUPer/SWAT em relação a outros modelos**

A principal vantagem do SUPer e do SWAT reside na sua capacidade de integrar múltiplas variáveis (clima, solo, uso da terra) em uma única plataforma, permitindo simulações dinâmicas e adaptáveis a diferentes cenários. Enquanto modelos como o HEC-HMS ou MIKE SHE focam em aspectos específicos (escoamento superficial ou águas subterrâneas), o SWAT oferece uma abordagem holística, essencial para bacias com alta variabilidade climática, como a do Tapacurá (Santos *et al.*, 2015).

Outro diferencial é a validação robusta dos resultados. Miranda *et al.* (2017) calibraram o SWAT com dados de evapotranspiração do MODIS para a bacia do Pontal (semiárido pernambucano), obtendo correlações acima de 0,82 entre dados simulados e observados. Essa precisão reforça a confiabilidade do modelo para políticas públicas de gestão hídrica, como destacado por Luz e Galvínio (2022) em estudos na bacia do riacho Milagres.

Em síntese, a combinação entre HRUs e o SUPer/SWAT se mostra superior por sua flexibilidade: Adaptação a diferentes escalas (bacias ou sub-bacias) e cenários climáticos (Tibúreio *et al.*, 2023); Precisão: Calibração validada por dados observados (Miranda *et al.*, 2017); Aplicabilidade: Subsídio para estratégias de adaptação, como infraestrutura de armazenamento e recuperação de áreas degradadas (Galvínio, 2021).

#### **2.5 Mudanças nos padrões de precipitação.**

As mudanças climáticas alteram significativamente os padrões de precipitação, com implicações de longo alcance para ecossistemas e atividades humanas. À medida que as temperaturas médias globais aumentam, o ciclo hidrológico se intensifica, levando a taxas de evaporação mais altas, o que, por sua vez, eleva a

quantidade de umidade na atmosfera. Esse fenômeno pode resultar tanto em eventos de precipitação mais frequentes e intensos quanto em períodos prolongados de seca em diferentes regiões (Blunden; Boyer; Bartow-Gillies, 2023).

As tendências de longo prazo indicam que a precipitação total anual geralmente aumentou em todo o mundo. Desde 1901, a precipitação global subiu aproximadamente 0,03 polegadas por década. Os efeitos das mudanças climáticas na precipitação variam significativamente por região. Por exemplo, áreas próximas às rotas de tempestades provavelmente experimentarão aumento nas chuvas e riscos maiores de inundações, enquanto regiões mais distantes dessas rotas podem enfrentar uma redução na precipitação e um risco maior de seca. Os modelos climáticos atuais preveem que, à medida que as temperaturas aumentam, a precipitação média global pode subir cerca de 7% para cada grau de aquecimento, sugerindo um futuro caracterizado por chuvas mais intensas e maiores riscos de enchentes em certas áreas (Blunden; Boyer; Bartow-Gillies, 2023).

Os padrões de precipitação em mudança têm consequências diretas para os sistemas hidrológicos, afetando a produção de sedimentos e a dinâmica dos rios. O aumento da precipitação pode levar a maiores fluxos nos rios e ao transporte elevado de sedimentos, impactando a qualidade da água e a saúde dos ecossistemas. Especificamente, estudos indicam que o aumento da produção de sedimentos pode trazer desafios para a gestão de bacias hidrográficas, exigindo estratégias adaptativas para mitigar os riscos de enchentes e melhorar as práticas de gestão do uso do solo (Peña-Murillo; Lavado-Casimiro; Bourrel, 2024).

As projeções para a precipitação futura em diferentes cenários climáticos indicam a continuidade das tendências de aumento em algumas áreas e de redução em outras. Por exemplo, estima-se que a precipitação média anual em certas regiões possa aumentar até 14% até 2065 sob cenários de altas emissões, com aumentos de temperatura associados variando de 2,8°C a 7,4°C. No entanto, essas mudanças vêm acompanhadas de riscos crescentes de inundações e aumento na produção de sedimentos, especialmente durante eventos climáticos extremos. Isso sugere que, embora a disponibilidade de água possa aumentar, os riscos associados à gestão de recursos hídricos e infraestrutura podem se intensificar (Peña-Murillo; Lavado-Casimiro; Bourrel, 2024).

## 2.6 Bacia Hidrográfica

O conceito de bacia hidrográfica tem sido amplamente utilizado como uma unidade fundamental para estudos ambientais e de gestão de recursos hídricos. Uma bacia hidrográfica pode ser definida como uma região geográfica delimitada por divisores de águas, onde toda a água da chuva que cai sobre essa área escoar superficialmente ou subterraneamente para um corpo d'água principal, como um rio, lago ou reservatório (Pires *et al.*, 2002). Essa unidade de análise permite compreender o comportamento hidro-geomorfológico da região, considerando aspectos físicos, bióticos e socioeconômicos.

A abordagem integrada da bacia hidrográfica como unidade de estudo ambiental está diretamente relacionada à compreensão dos fluxos de água, sedimentos e nutrientes, sendo essencial para a conservação dos recursos naturais e para o planejamento territorial (Schivetti e Camargo, 2002). Essa perspectiva considera não apenas a quantidade e a qualidade da água, mas também as interações com o uso e ocupação do solo, promovendo uma gestão ambiental mais eficiente.

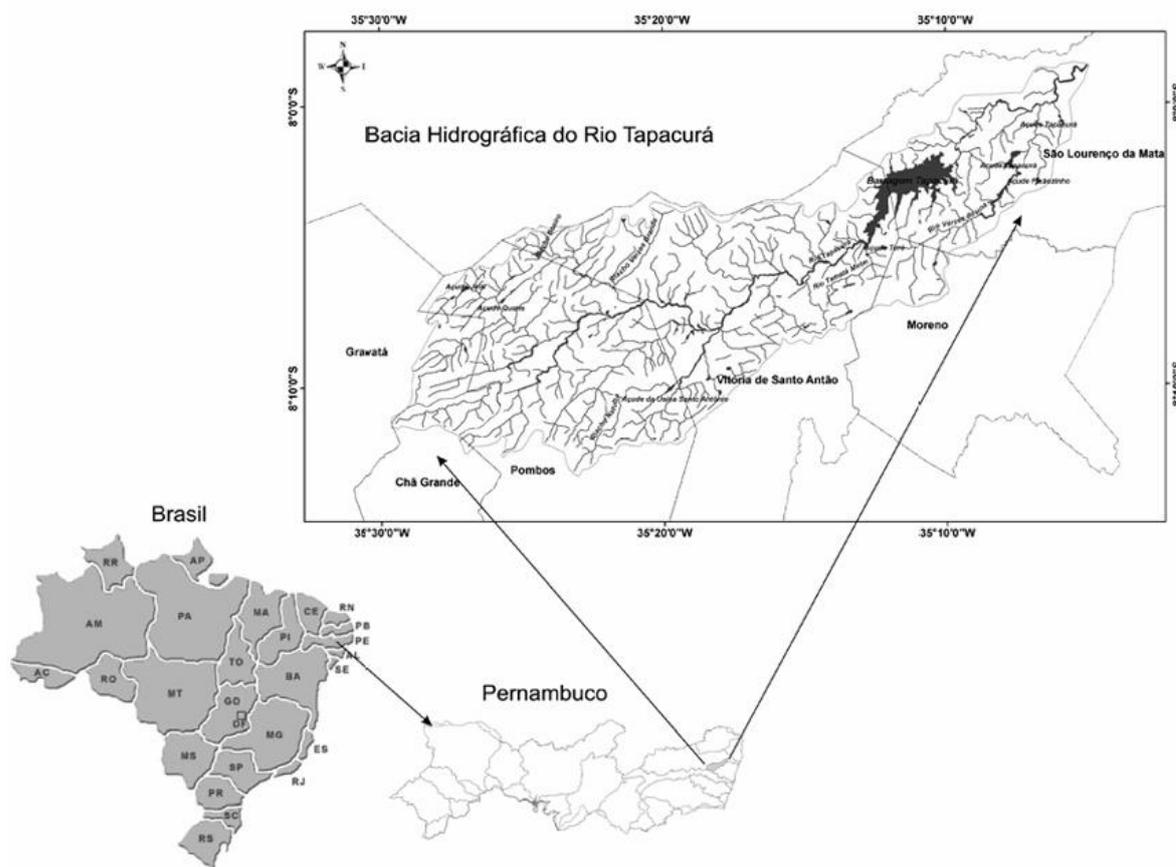
O conceito de bacia hidrográfica também é associado à ideia de ecossistema, onde cada componente está interligado e influenciado por fatores ambientais, como clima, vegetação e atividade humana. Estudos indicam que essa abordagem interdisciplinar é essencial para a manutenção do equilíbrio ecológico e para a prevenção de impactos negativos sobre os recursos hídricos (Pires *et al.*, 2002).

A gestão de bacias hidrográficas envolve um conjunto de ações que buscam compatibilizar o desenvolvimento socioeconômico com a conservação ambiental. Nesse sentido, o uso de ferramentas como os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) tem se destacado por permitir a integração de dados ambientais, auxiliando na identificação de áreas vulneráveis, no monitoramento da qualidade da água e na definição de estratégias de gestão sustentável (Pires *et al.*, 2002). Portanto, ao discutir a bacia do rio Tapacurá, é essencial compreender que a aplicação do conceito de bacia hidrográfica permite uma visão holística das interações ambientais e humanas que afetam a disponibilidade e a qualidade da água na região. Essa abordagem integrada é crucial para a implementação de políticas públicas eficazes e para a adoção de práticas sustentáveis no uso dos recursos hídricos.

## 2.7 Estudos Realizados na Bacia do Rio Tapacurá

A bacia do rio Tapacurá, no estado de Pernambuco, Brasil, tem sido objeto de pesquisas significativas sobre o impacto das mudanças climáticas nos padrões hidrológicos. Um estudo que avaliou a variabilidade espaço-temporal da precipitação entre 1970 e 2000 indicou uma grande concentração de chuvas ocorrendo entre março e julho, representando 60% do total anual. A análise também revelou uma redução significativa na precipitação anual, com uma diminuição de aproximadamente 20% em relação às médias históricas e uma variabilidade maior durante os meses mais secos (Santos *et al.*, 2015).

Figura 1 - Localização geográfica da Bacia do Tapacurá



Fonte: DUARTE *et al.* (2007)

Investigações adicionais utilizaram a ferramenta Soil and Water Assessment Tool (SWAT) para avaliar os efeitos do uso do solo e das mudanças climáticas entre 1967 e 2008 no escoamento e na produção de sedimentos da bacia. O modelo

calibrado apresentou fortes correlações entre os dados simulados e observados de escoamento, com valores de  $R^2$  variando de 0,82 a 0,84, indicando previsões confiáveis das respostas hidrológicas às mudanças climáticas e antropogênicas. Os resultados apontaram uma redução acentuada tanto no escoamento quanto na produção de sedimentos ao longo do período de estudo, destacando a interação entre as modificações na cobertura do solo e as alterações climáticas (Santos *et al.*, 2015).

O rio Tapacurá e sua bacia são cruciais para Pernambuco, tanto em termos de administração de recursos hídricos quanto de impactos ambientais. Vários estudos têm analisado as dinâmicas hidrológicas e climáticas da área, como os trabalhos de Santos *et al.* (2015) sobre a variabilidade espaço-temporal da precipitação e produção de sedimentos, Duarte *et al.* (2007) na caracterização fisiográfica da bacia, e Miranda (2015) ao discutir vulnerabilidades a inundações no médio curso do rio. Essas pesquisas auxiliam na compreensão dos obstáculos impostos pelas alterações climáticas e seu impacto na precipitação local.

Este estudo avança nessa discussão ao analisar a viabilidade do Sistema de Unidades de Resposta Hidrológicas (SUPer) para monitorar mudanças no padrão pluviométrico da bacia, introduzindo um cenário de aumento de  $1,5^{\circ}\text{C}$  na temperatura global. No contexto da bacia do Tapacurá, pesquisadores como Santos *et al.* (2015) e Galvêncio (2021) demonstraram que as mudanças nos padrões de precipitação, impulsionadas pelas alterações climáticas, têm impactado diretamente a disponibilidade hídrica e a estabilidade dos ecossistemas locais. Miranda (2015) e Duarte *et al.* (2007) alertam ainda para os riscos de extremos hidrológicos, como enchentes e secas, agravados pela combinação entre o aumento de temperatura — projetado em cenários do IPCC (2023) — e a pressão antrópica sobre a bacia. Este estudo avança nessa discussão ao analisar a viabilidade do SUPer para monitorar tais mudanças, simulando especificamente um cenário de elevação de  $1,5^{\circ}\text{C}$  na temperatura global e seus efeitos na dinâmica pluviométrica.

Esses desenvolvimentos gerados pelo aumento da temperatura destacam a necessidade de estratégias adaptativas na gestão de bacias hidrográficas, integrando modelagem hidrológica e fatores socioeconômicos para mitigar de forma eficaz os impactos das mudanças climáticas. À medida que a pesquisa continua a evoluir, os insights de diversos estudos de caso globais informarão práticas e políticas locais na

bacia do Tapacurá, promovendo resiliência diante dos desafios impostos por um clima em transformação (Nobre, 2014).

A avaliação fisiográfica da bacia do Tapacurá, realizada por Duarte *et al.* (2007), proporciona uma base fundamental para a descrição de suas características geográficas e hidrográficas. Esta pesquisa abordou detalhes sobre relevo, drenagem e uso do solo, dados fundamentais para a execução de sistemas de modelagem hidrológica, como o SUPer. É de suma importância entender esses parâmetros para antecipar como mudanças climáticas podem alterar os padrões de chuva e o comportamento da bacia hidrográfica.

Miranda (2015), no mesmo contexto, estudou a vulnerabilidade a inundações no curso médio do rio Tapacurá, enfatizando a influência da urbanização e da gestão imprópria dos recursos hídricos na intensificação de riscos ligados a eventos extremos. A tese de Miranda (2015) também enfatiza a importância de táticas fundamentadas em modelagem hidrológica, particularmente no contexto atual de alterações climáticas, que tendem a aumentar a frequência e a intensidade de eventos extremos.

As análises feitas por Galvíncio (2021) acerca do efeito do crescimento das concentrações de CO<sub>2</sub> nas precipitações em Pernambuco são igualmente cruciais. A autora destaca que, mesmo com a previsão de uma redução nos padrões gerais de precipitação em algumas regiões, outras podem enfrentar precipitações mais fortes e concentradas. Essa alteração na natureza da chuva, conforme apontado por Trenberth *et al.* (2003), pode intensificar a variabilidade sazonal, demandando estratégias mais sólidas de administração de recursos hídricos, como as que podem ser obtidas através da implementação de SUPer.

Ademais, as orientações e relatórios do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) oferecem uma fundamentação teórica robusta para compreender as consequências globais e regionais das mudanças climáticas, particularmente no que diz respeito ao ciclo da água. O IPCC (2023) destaca que a junção de alterações climáticas com métodos insustentáveis de ocupação do solo pode elevar consideravelmente os perigos de falta de água e inundações.

Portanto, ao incorporar os achados desses estudos às projeções regionais do IPCC (2023) no sistema de unidades de respostas hidrológicas, pode-se esperar

progredir na previsão e diminuição dos efeitos das alterações climáticas na bacia do Tapacurá, incentivando uma gestão sustentável e flexibilizada frente aos desafios emergentes.

### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 Área de Estudo

Este estudo tem como área de investigação a bacia hidrográfica do rio Tapacurá, localizada no estado de Pernambuco, abrangendo os municípios de Vitória de Santo Antão, Pombos, São Lourenço da Mata, Gravatá, Moreno e Chã Grande. A região é delimitada pelas coordenadas 35° 30' 00" e 35° 5' 00" de longitude oeste, e 8° 13' 00" e 7° 58' 30" de latitude sul (Duarte *et al.*, 2007). A escolha desta bacia deve-se à sua importância para o abastecimento hídrico regional e à vulnerabilidade de seus recursos hídricos diante das mudanças climáticas.

O relevo da bacia é marcado por variações topográficas significativas, com altitudes que variam de 43 metros, próximo à confluência com o rio Capibaribe, a mais de 500 metros nas áreas próximas ao Planalto da Borborema (Duarte *et al.*, 2007). Essa diversidade influencia diretamente os padrões climáticos locais: a porção leste, mais próxima do litoral, registra precipitações médias anuais de até 1.600 mm, enquanto a região oeste, mais elevada e semiárida, apresenta volumes pluviométricos reduzidos (850 mm/ano). A temperatura média anual varia entre 22°C (oeste) e 26°C (leste), com impactos diretos na evapotranspiração e na disponibilidade hídrica.

A cobertura vegetal é composta por remanescentes de Mata Atlântica na zona litorânea e fragmentos de Caatinga no sertão, refletindo a transição entre os biomas úmido e semiárido. Os solos predominantes são Argissolos Vermelho-Amarelos e Neossolos, com susceptibilidade à erosão em áreas de maior declividade (Duarte *et al.*, 2007).

A bacia do Tapacurá é intensamente antropizada, com atividades econômicas que exercem pressão sobre os recursos hídricos. Segundo Braga (2001, citado por Duarte *et al.*, 2007), a agricultura ocupa 37% da área, destacando-se a policultura, a horticultura e o cultivo de cana-de-açúcar (12,45%). A pecuária corresponde a 30,2% do uso do solo, enquanto áreas urbanas e granjas ocupam 5,6% e 7,8%, respectivamente. Essa ocupação desordenada, aliada à expansão urbana, tem agravado problemas como, degradação de áreas de preservação permanente: Redução da infiltração e aumento do escoamento superficial; Conflitos pelo uso da água: Competição entre irrigação, abastecimento humano e indústria. Vulnerabilidade

a eventos extremos: Inundações no Leste e secas no Oeste, exacerbadas pelas mudanças climáticas.

### 3.2 Coleta de Dados

A primeira etapa da pesquisa consistiu na coleta de dados climáticos e hidrológicos da bacia hidrográfica do rio Tapacurá. Os dados foram obtidos de fontes oficiais, como o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e a Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC), e já integrados ao Sistema de Unidades de Respostas Hidrológicas para Pernambuco (SUPer). A série histórica contemplou um período de 60 anos (1960-2020), permitindo uma avaliação abrangente das tendências de precipitação, temperatura e evapotranspiração no ambiente modelado. Além disso, informações sobre o uso do solo, fundamentais para analisar as interações entre atividades humanas e os recursos hídricos da bacia, foram incorporadas ao SUPer para calibrar os cenários de simulação.

### 3.3 Modelagem Hidrológica com o SUPer

Para a análise do balanço hídrico e a simulação de cenários de mudanças climáticas, foi utilizado o Sistema de Unidades de Respostas Hidrológicas para Pernambuco (SUPer), desenvolvido com base no modelo SWAT (Soil and Water Assessment Tools). O SUPer permite a modelagem robusta do balanço hídrico (Figura 2), incluindo análises de quantidade e qualidade da água, além de simulações de cenários climáticos futuros (Galvínio, 2021).

- **Configuração do Modelo:** Os parâmetros do modelo foram configurados para representar as condições específicas da bacia do rio Tapacurá. Foram incorporadas variáveis como a precipitação média diária mensal, a evapotranspiração real e potencial, e os volumes de escoamento superficial e fluxo de base.
- **Simulação de Cenários:** A ferramenta “Climate Sensitivity/Variability Analysis” do SUPer foi utilizada para simular cenários de mudanças climáticas (Figura 2

e 3). Foram considerados cenários baseados no IPCC (2023), que indicam possíveis aumentos de até 1,5°C na temperatura e mudanças consideráveis no padrão de precipitação. Esses cenários permitiram avaliar os impactos das mudanças climáticas nos componentes do ciclo hidrológico.

Figura 2 - Criação do cenário na plataforma do SUPer

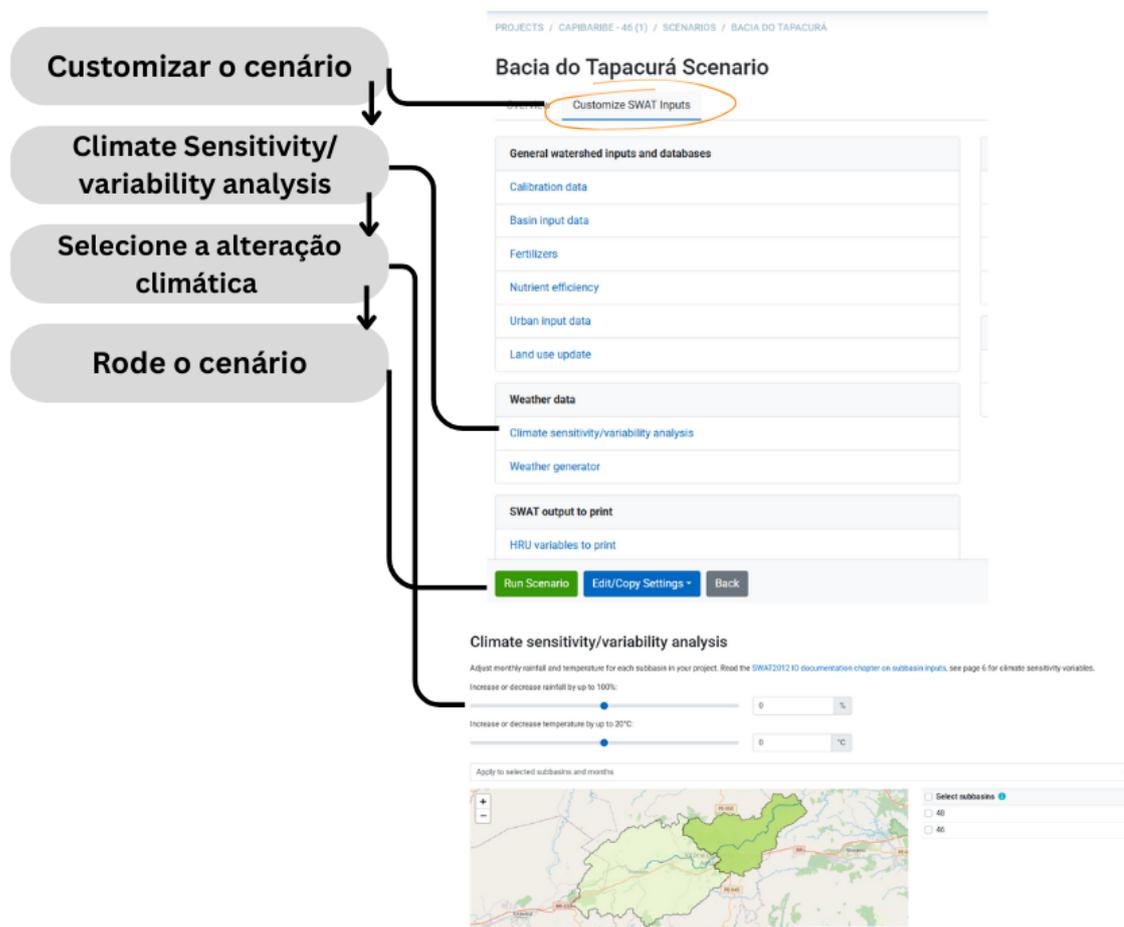
The image displays the SUPer platform interface for creating a new scenario. On the left, a vertical flowchart outlines the steps: 'Novo Projeto', 'Criar cenário', 'Selecionar bacia ou sub-bacia', and 'Escolher período de tempo'. The main interface shows a project summary for 'Capitão - 46 (1)' with details like Subbasins (2), HRSs (4), Total area (383.32 km²), and Watershed (Capitão, 46). A 'Create scenario' button is highlighted in the left sidebar. The 'Create a new scenario' dialog box is open, showing the following fields:

- Scenario name: Bacia do Tapacurá
- Weather data: Default
- Simulation start date: 01/01/1961
- Simulation end date: 31/03/2021
- Set-up/warm-up years: 2
- SWAT output print setting: Daily
- SWAT model version to run: SWAT 2012 rev. 664

Buttons for 'Save Changes' and 'Cancel' are visible at the bottom of the dialog.

Fonte: SUPer (2025)

Figura 3 - Customização de cenário no SUPer



Fonte: SUPer

### 3.4 Geoprocessamento e Análise Espacial

Foram empregadas técnicas de geoprocessamento utilizando ferramentas do próprio SUPer para gerar mapas temáticos e identificar padrões espaciais de precipitação e temperatura. Os dados climáticos foram interpolados diretamente na plataforma do SUPer, que permite a criação automatizada de mapas de isoietas e isotermas, facilitando a visualização e análise das variações espaciais ao longo da bacia. Essa funcionalidade integrada do sistema agiliza o processamento dos dados e garante a consistência dos resultados obtidos.

### **3.5 Análise Estatística e Séries Temporais**

A análise estatística empregou métodos descritivos e de séries temporais para caracterizar os padrões climáticos da bacia, com ênfase na identificação de tendências sazonais e interanuais na precipitação e demais variáveis meteorológicas. Através de técnicas como decomposição sazonal e análise de médias móveis, foi possível avaliar a variabilidade climática ao longo do período estudado (1960-2020), destacando os principais padrões de distribuição espacial e temporal dos dados.

### **3.6 Avaliação dos Impactos Climáticos**

As projeções climáticas geradas no SUPer foram avaliadas quanto ao seu impacto sobre os componentes do ciclo hidrológico, como precipitação, evapotranspiração, percolação e fluxo de base. Essas simulações permitiram a geração de cenários futuros, oferecendo uma perspectiva sobre as condições climáticas esperadas na região e as consequências para a gestão hídrica.

### **3.7 Resultados e Visualização**

Os resultados foram apresentados na forma de tabelas, mapas temáticos e gráficos, permitindo a visualização das variações climáticas ao longo do tempo e entre diferentes cenários projetados. Essa abordagem detalhada garantiu não apenas a exploração dos impactos climáticos sobre a precipitação na bacia do rio Tapacurá, mas também a geração de informações relevantes para a gestão e planejamento de recursos hídricos na região.

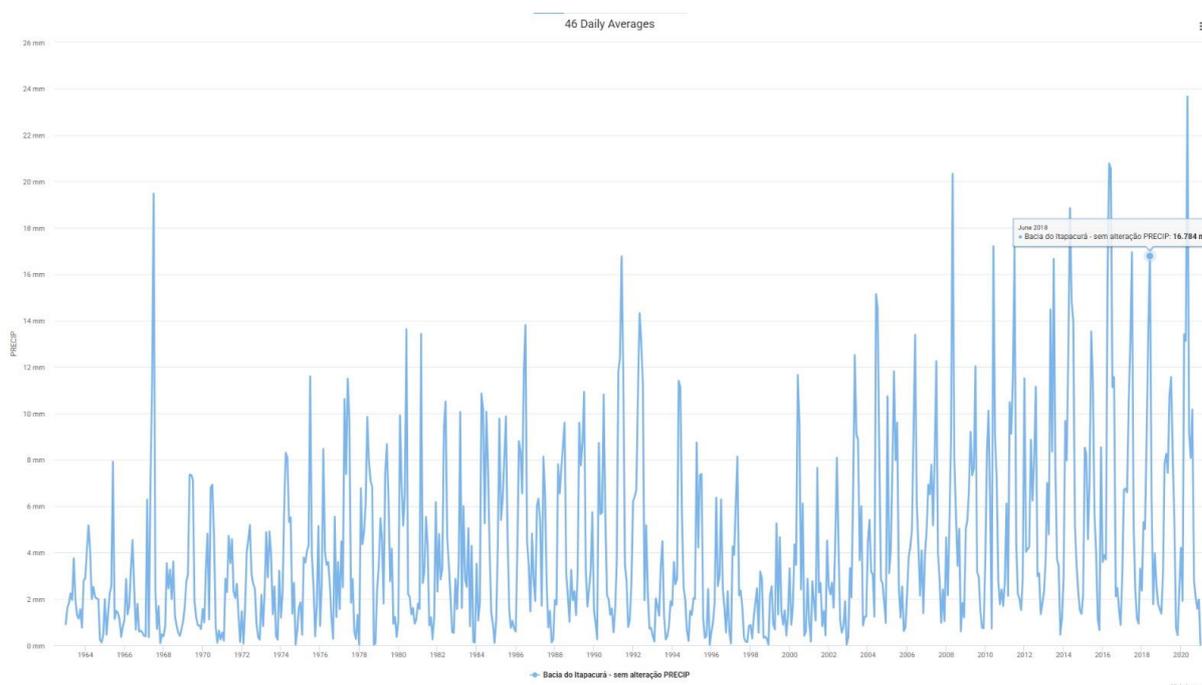
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Dados Climáticos da Bacia do Rio Tapacurá

#### 4.1.1 Precipitação e Variabilidade Temporal

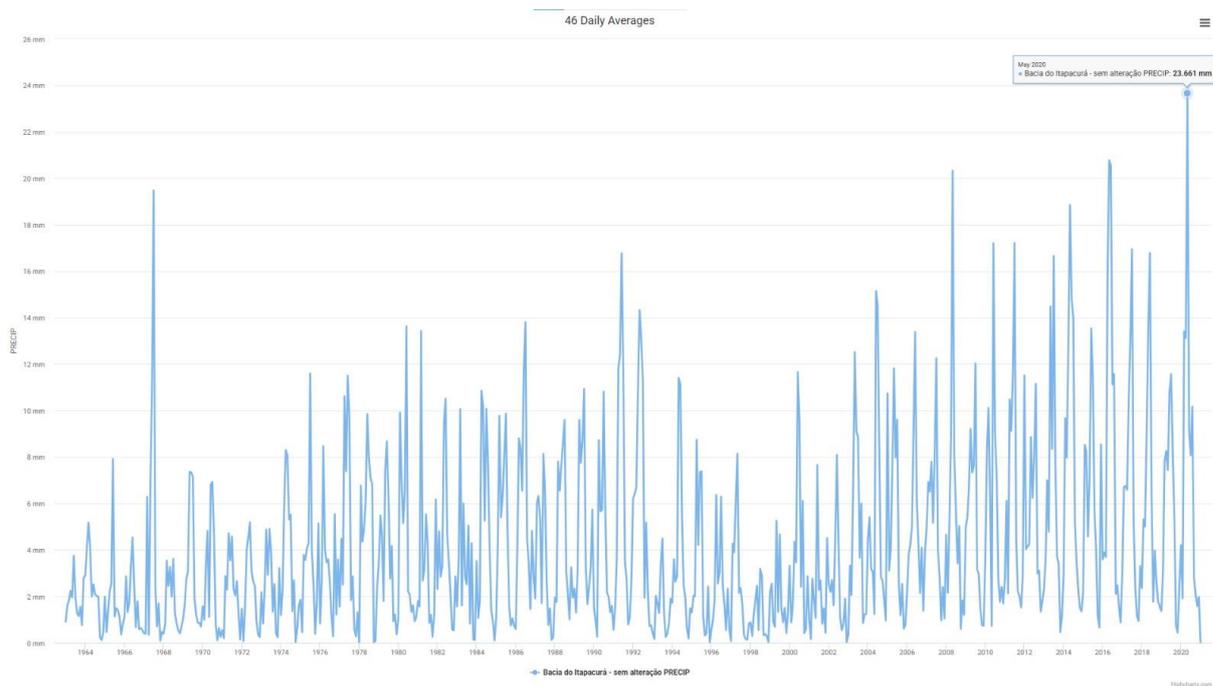
A análise da precipitação na bacia do rio Tapacurá revela uma variabilidade significativa ao longo do tempo, com padrões sazonais bem definidos. Conforme os dados apresentados na Figura 4, 5 e 6 "46 Daily Averages", a precipitação média diária mostra flutuações sazonais, com picos mais acentuados durante os meses de outono e inverno (abril a agosto), corroborando as observações de Braga (2001) sobre o período chuvoso mais intenso na região. Esses picos são característicos da influência de fenômenos climáticos como a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e os Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL), que atuam na região (Marengo, 2015; Galvínio, 2021).

**Figura 4 - Média diária da bacia do Tapacurá sem alteração climática indicando seu pico em junho de 2018**



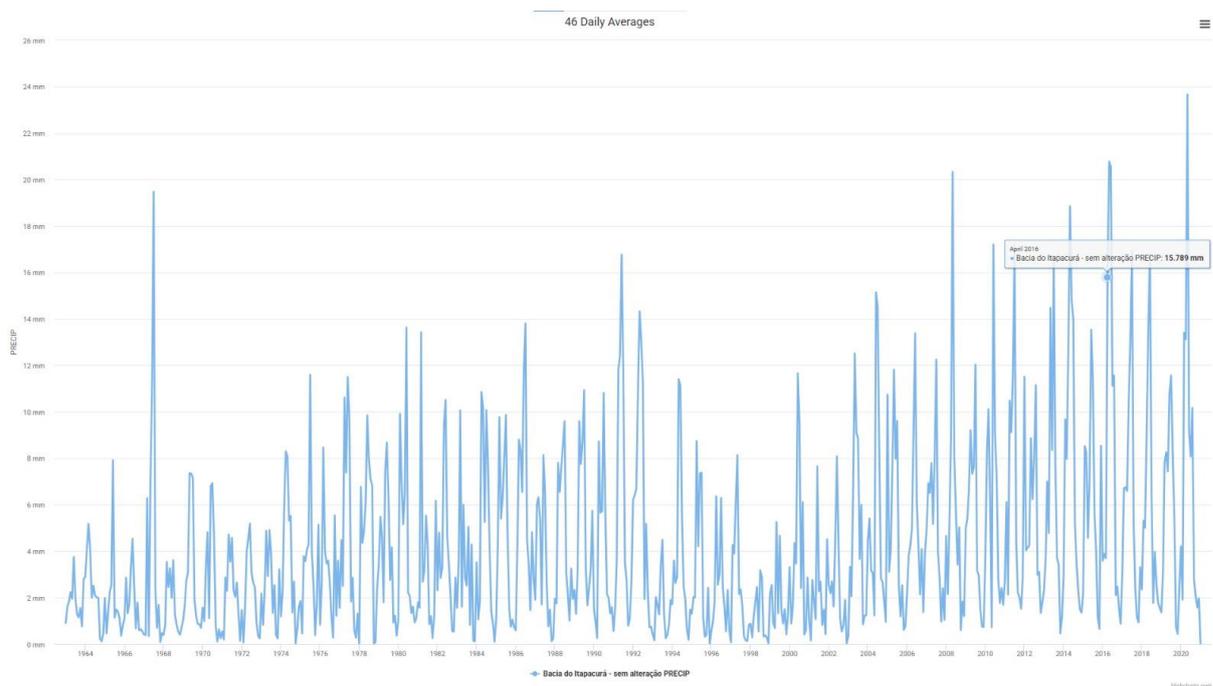
Fonte: SUPer (2025)

**Figura 5 - Média diária da bacia do Tapacurá sem alteração climática indicando seu pico em maio de 2020**



Fonte: SUPer (2025)

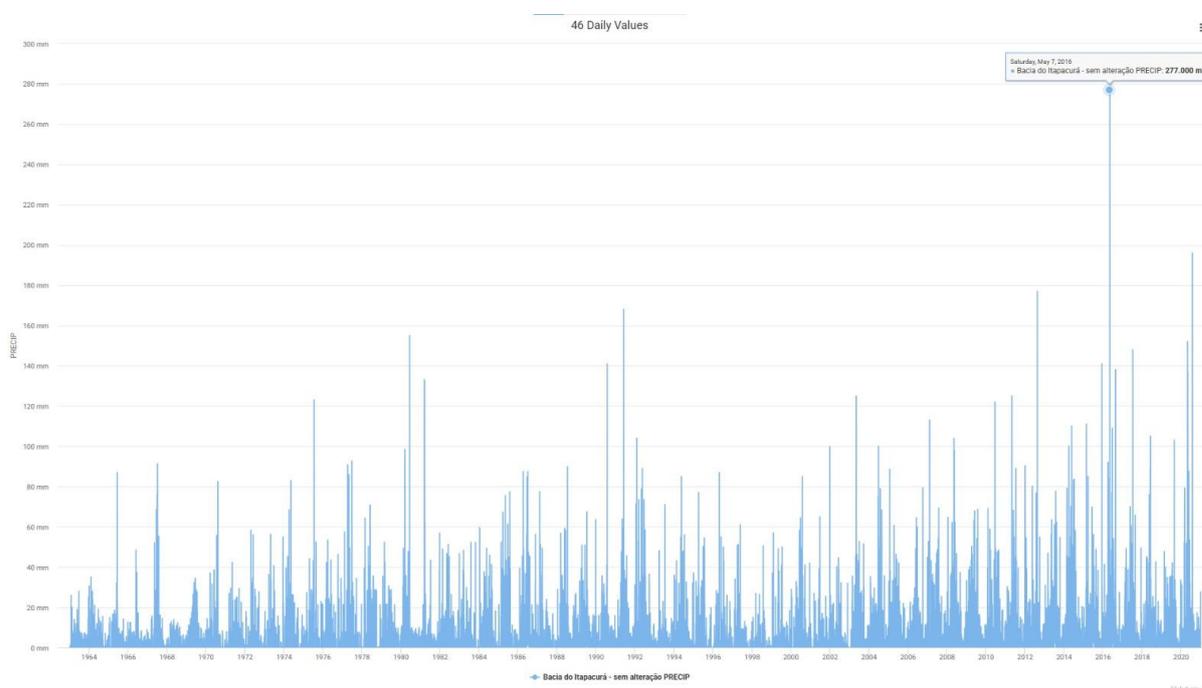
**Figura 6 - Média diária da bacia do Tapacurá sem alteração climática indicando seu pico em abril 2016**



Fonte: SUPer (2025)

A figura 7 destaca eventos extremos de precipitação, como chuvas intensas que ultrapassaram 200 mm em determinados dias, especialmente nos anos de 2004 e 2016 como pode-se visualizar na Figura 7, onde no dia 07 de maio deste ano, o volume chegou aos 277.000mm. Esses eventos extremos estão associados há anos de alta pluviosidade, que podem ser influenciados por fenômenos climáticos como os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN) e as frentes frias, conforme citado por Galvício (2021). Esses eventos têm implicações diretas para a gestão de recursos hídricos, pois podem causar inundações e aumentar a erosão do solo.

**Figura 7 - Valores diários de precipitação sem alteração climática indicando seu pico em 7 de maio de 2016.**

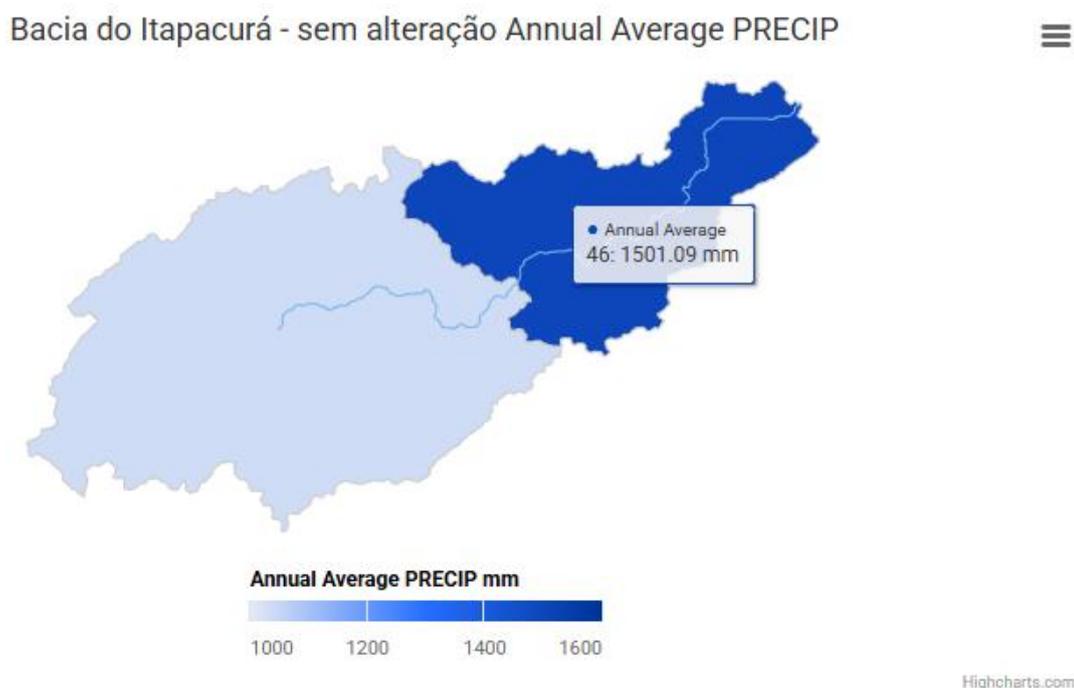


**Fonte: SUPer (2025)**

A precipitação média anual na bacia, conforme a figura 8 - "bacia do Tapacurá - sem alteração Annual Average PRECIP", foi de aproximadamente 1.501,09 mm no cenário sem alteração climática. No entanto, com o aumento de 1,5°C na temperatura global, a precipitação média anual subiu para 1.801,43 mm, representando um aumento de cerca de 20% (gráfico "Bacia do Tapacurá com alteração Annual Average PRECIP"). Esse aumento na pluviosidade está alinhado com as projeções do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2023), que indicam que o aquecimento global pode intensificar o ciclo hidrológico, resultando em eventos de precipitação mais intensos e frequentes em algumas regiões. Apesar do aumento na precipitação, a bacia ainda enfrenta desafios relacionados ao déficit hídrico, uma vez

que a evapotranspiração potencial (ETP) de 1.691,2 mm no cenário sem alteração climática (figura 10), aumentou para 1.715,1 mm no cenário com alteração climática (figura 11), mantendo uma demanda significativa por água que pode exceder a disponibilidade em períodos de seca.

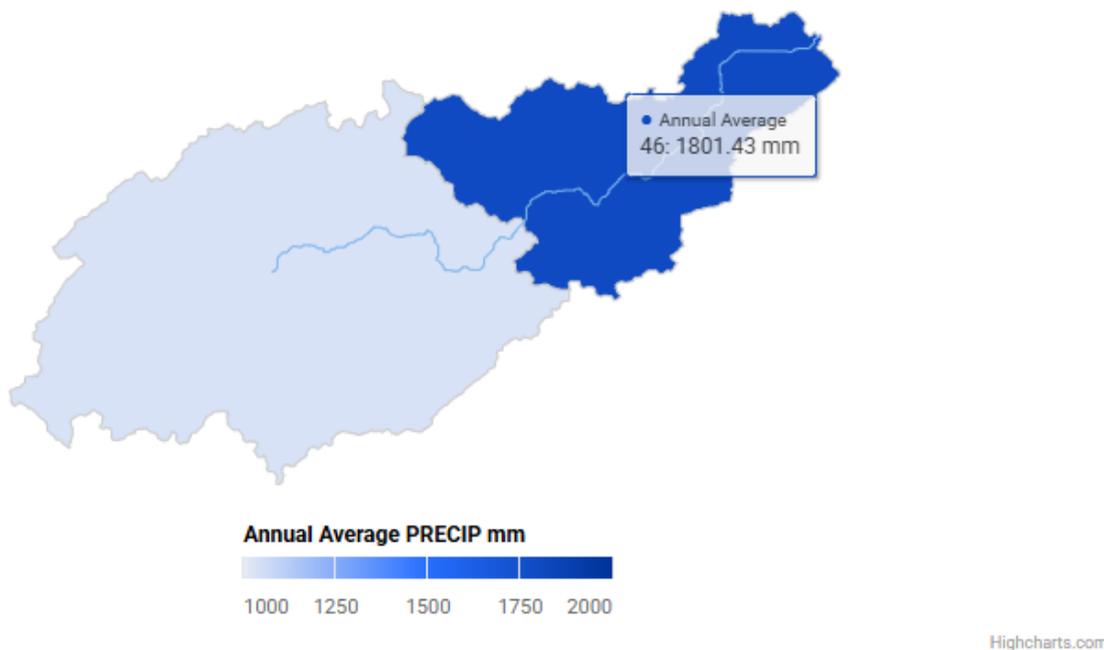
**Figura 8 - Média anual de precipitação sem alteração climática.**



Fonte: SUPer (2025)

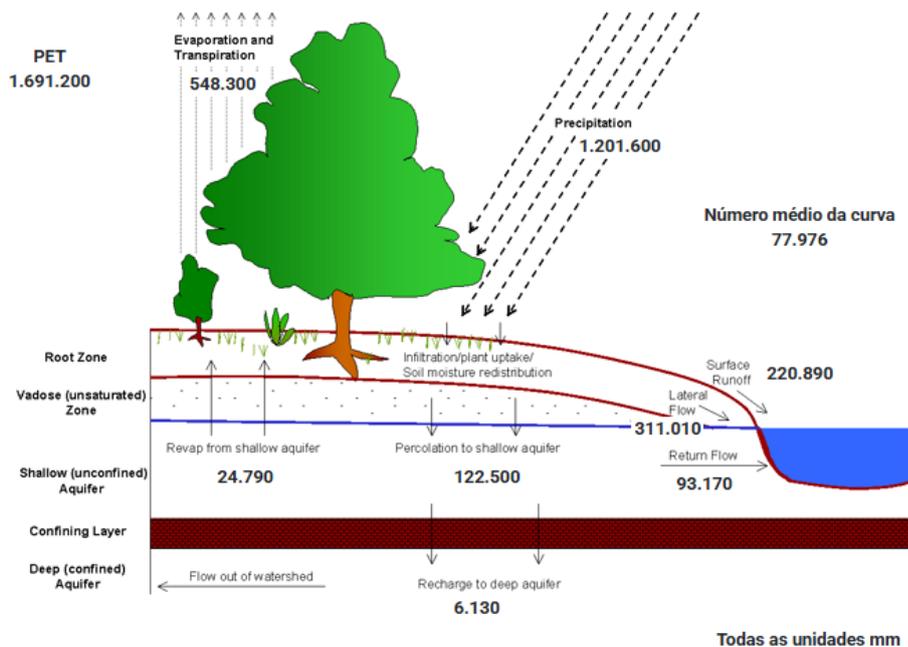
Figura 9 - Média anual de precipitação com alteração climática

Bacia do Itapacurá com alteração Annual Average PRECIP



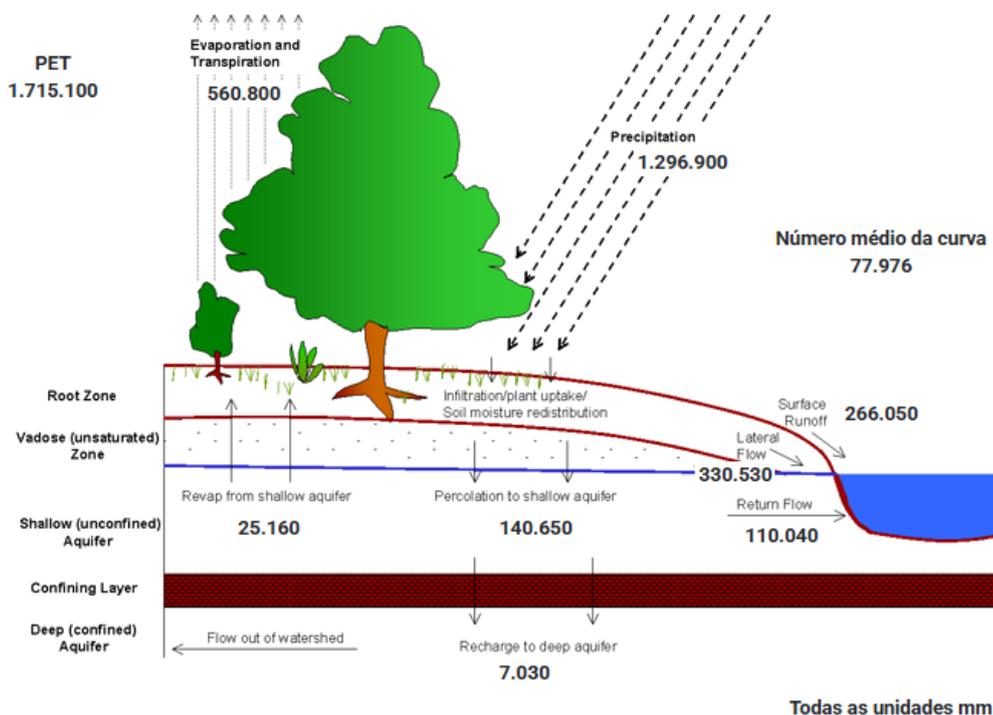
Fonte: SUPeR (2025)

Figura 10 - Relação precipitação e evapotranspiração sem alteração climática.



Fonte: SUPeR (2025)

Figura 11 - Relação precipitação e evapotranspiração com alteração climática.

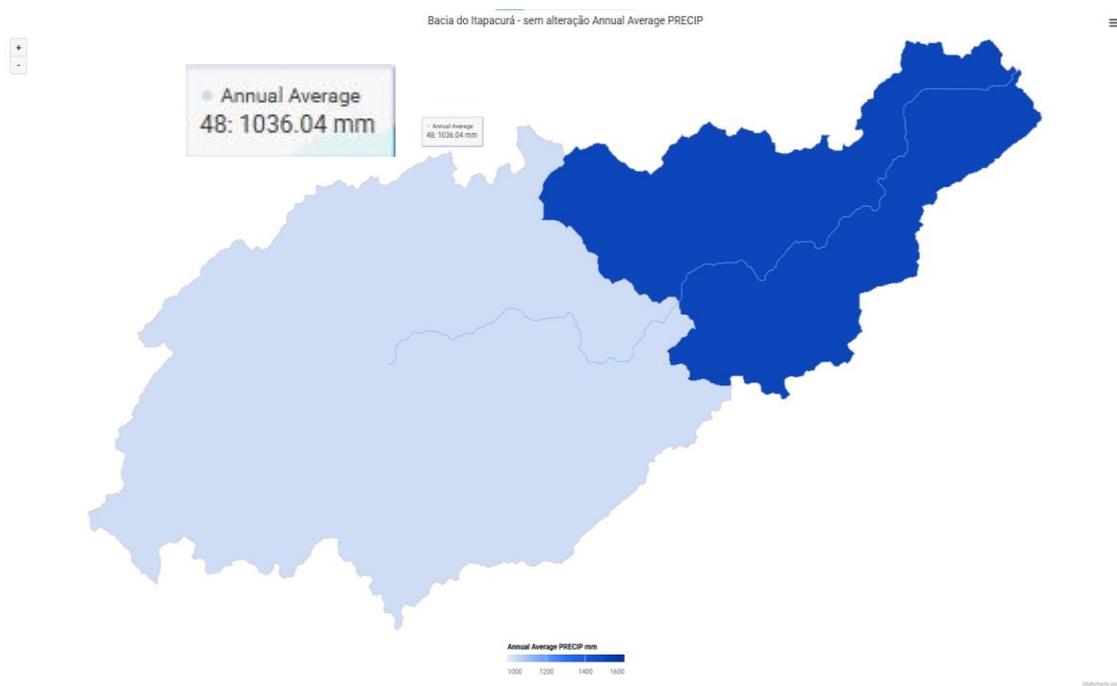


Fonte: SUPer (2025)

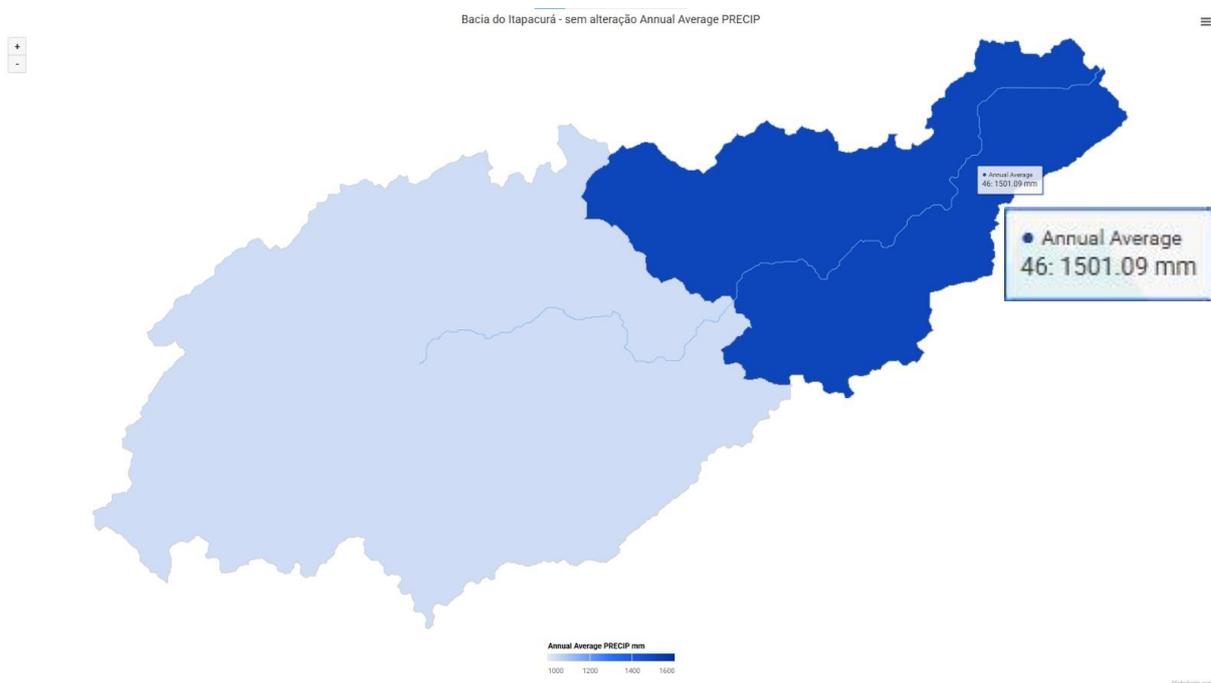
#### 4.1.2. Distribuição Espacial da Precipitação

A distribuição espacial da precipitação na bacia do rio Tapacurá é influenciada pela topografia e pela proximidade com o litoral. Conforme apontado por Duarte (2007) a precipitação média anual varia de 1.036 mm na porção ocidental a 1.501 mm na porção leste e sudeste da bacia. Essa diferença é resultado da interceptação dos ventos alísios de sudeste pelo relevo da região, que atua como uma barreira orográfica, concentrando as chuvas nas áreas mais próximas ao litoral.

A porção ocidental da bacia, com menores índices pluviométricos, é mais suscetível a períodos de seca, o que pode impactar a disponibilidade de água para atividades agrícolas e o abastecimento humano. Já a porção leste, com maiores volumes de precipitação, apresenta maior risco de inundações durante eventos extremos de chuva.

**Figura 12 - distribuição de chuvas no lado oeste da bacia**

Fonte: SUPeR (2025)

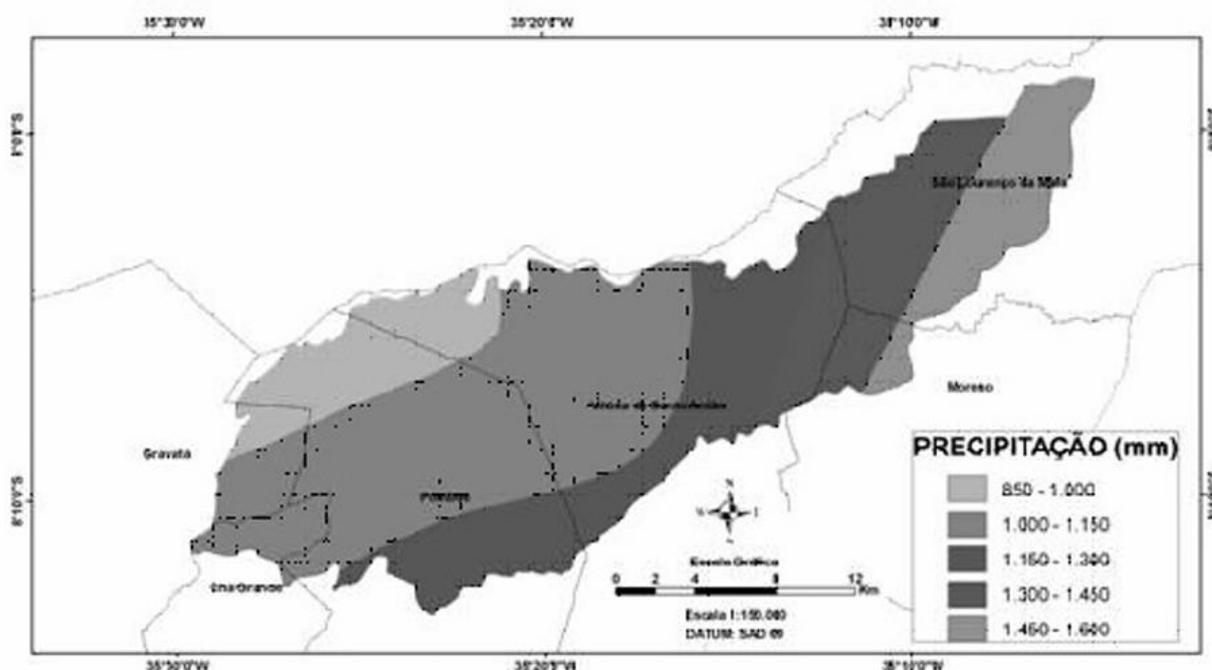
**Figura 13 - distribuição de chuvas no lado oeste da bacia**

Fonte: SUPeR (2025)

### 4.1.3 Temperatura e Evapotranspiração

Como aponta Duarte *et al.* (2007), a temperatura média anual na bacia varia entre 22°C e 26°C, a porção oriental da bacia, mais próxima do litoral, apresenta temperaturas mais elevadas (25°C a 26°C), enquanto a porção ocidental, com maior altitude, registra temperaturas mais amenas (22°C a 23°C). Essa variação espacial da temperatura influencia diretamente a evapotranspiração, que é mais intensa nas áreas mais quentes.

Figura 14 – Distribuição de precipitação ao longo da Bacia do Tapacurá.



Fonte: DUARTE *et al.* (2007)

A evapotranspiração potencial (ETP) de 1.691,2 mm, conforme os dados da figura 6, é significativamente maior que a precipitação média anual (1.198,6 mm), resultando em um déficit hídrico considerável. Esse déficit é agravado pela alta taxa de evapotranspiração real, que corresponde a 45,7% da precipitação, conforme a tabela 1. Esse valor elevado reflete as condições climáticas semiáridas da região, onde a perda de água por evapotranspiração é um dos principais desafios para a gestão dos recursos hídricos.

Tabela 1 - Razões de balanço hídrico

## Razões de balanço hídrico

Fluxo de água/Precipitação	0,520
Fluxo de base/fluxo total	0,647
Escoamento superficial/fluxo total	0,353
Perc/Precip	0,102
Recarga Profunda/Precip	0,005
ET/Precipitação	0,456

Fonte: SUPer (2025)

#### 4.1.4 Balanço Hídrico e Componentes do Ciclo Hidrológico

O balanço hídrico da bacia, conforme os dados da tabela 1, revela que 52% da precipitação é convertida em escoamento superficial (Fluxo de água/Precipitação), enquanto 64,7% do fluxo total é proveniente do fluxo de base (Fluxo de base/Fluxo Total). Isso destaca a importância das águas subterrâneas para a manutenção dos recursos hídricos na bacia, especialmente durante os períodos de seca.

A percolação (Perc/Precip) corresponde a 10,2% da precipitação, indicando que uma parcela significativa da água infiltra no solo, contribuindo para a recarga dos aquíferos. No entanto, a recarga profunda (Recarga profunda/Precip) é de apenas 0,5%, o que sugere que a maior parte da água infiltrada fica retida nas camadas superficiais do solo, sendo utilizada pela vegetação ou retornando ao sistema superficial por meio do fluxo de base.

#### **4.1.5 Vulnerabilidade a Inundações**

A bacia do rio Tapacurá apresenta uma vulnerabilidade moderada a inundações, conforme discutido por Braga (2001) e Duarte *et al.* (2007). O formato alongado da bacia e a presença de barragens como apontados por Miranda (2015), como a do Tapacurá e a Várzea do Una, contribuem para a redução do risco de enchentes. No entanto, a ocupação desordenada das margens dos rios e a impermeabilização do solo nas áreas urbanas aumentam a susceptibilidade a inundações, especialmente durante eventos extremos de precipitação.

A bacia do rio Tapacurá apresenta uma dinâmica climática complexa, com variações significativas na precipitação e na temperatura ao longo do tempo e do espaço. A alta taxa de evapotranspiração e o déficit hídrico são desafios importantes para a gestão dos recursos hídricos, especialmente em um contexto de mudanças climáticas. A distribuição espacial da precipitação, influenciada pela topografia e pela proximidade com o litoral, resulta em áreas com maior risco de seca e outras com maior susceptibilidade a inundações. Esses fatores devem ser considerados em planos de gestão integrada dos recursos hídricos, visando a sustentabilidade e a resiliência da bacia

#### **4.2 Comparação entre Dados Climáticos Históricos e Resultados de Simulação**

A análise dos dados de precipitação na bacia do rio Tapacurá revela mudanças significativas quando comparados os cenários com e sem alteração climática. No cenário sem alteração climática, a precipitação média anual foi de aproximadamente 1.501,09 mm, conforme indicado na figura 3. No entanto, no cenário com aumento de 1,5°C na temperatura global, a precipitação média anual aumentou para 1.801,43 mm, representando um aumento de aproximadamente 20% (Figura 4).

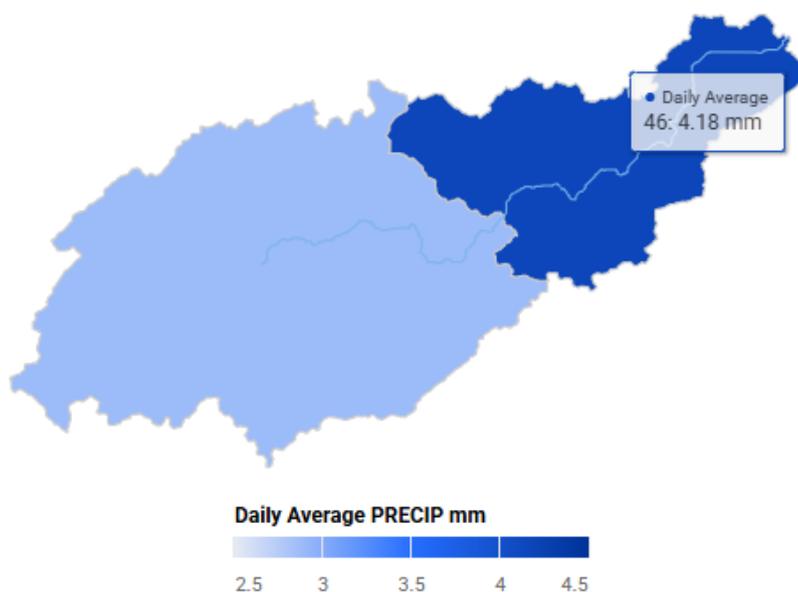
Esse aumento na precipitação está alinhado com as projeções do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2023), que indicam que o aquecimento global pode intensificar o ciclo hidrológico, resultando em eventos de

precipitação mais intensos e frequentes em algumas regiões. No caso da bacia do Tapacurá, o aumento da temperatura pode ter amplificado a evaporação e a umidade atmosférica, contribuindo para maiores volumes de chuva.

A análise da média diária de precipitação também mostra uma tendência de aumento. No cenário sem alteração climática, a média diária foi de 4,18 mm, enquanto no cenário com alteração climática, essa média subiu para 5,02 mm (figura 15 e 16 "Bacia do Tapacurá - sem alteração Daily Average PRECIP" e "Bacia do Tapacurá com alteração Daily Average PRECIP"). Esse aumento na precipitação diária pode resultar em eventos extremos mais frequentes, como chuvas intensas e inundações, especialmente em áreas urbanas próximas ao rio.

Figura 15 - Média diária sem alteração climática

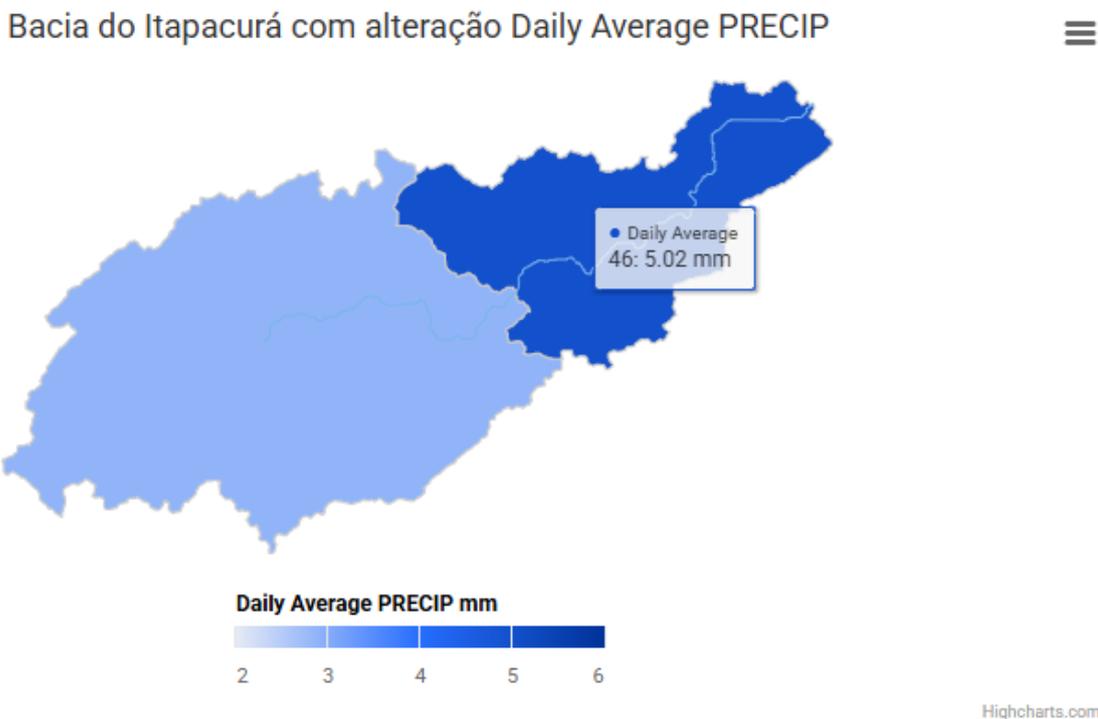
Bacia do Itapacurá - sem alteração Daily Average PRECIP



Highcharts.com

Fonte: SUPer (2025)

Figura 16 - Média diária com alteração climática



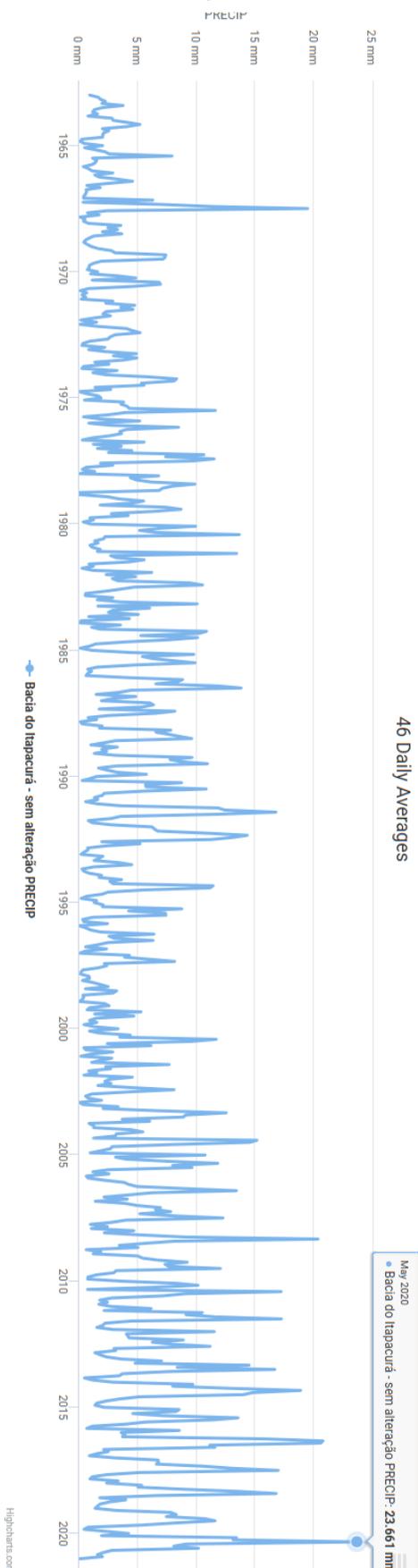
Fonte: SUPer (2025)

#### 4.3 Análise do Mês de Maio: Cenário com e sem Alteração Climática

O mês de maio, que faz parte do período chuvoso na bacia do Tapacurá, foi escolhido para uma análise mais detalhada. No cenário sem alteração climática, a precipitação média diária em maio foi de 23,641 mm, como visto na figura 10 - "Bacia do Tapacurá - sem alteração PRECIP". Já no cenário com aumento de 1,5°C na temperatura global, a precipitação média diária em maio subiu para 24,430 mm, representando um aumento de aproximadamente 3,3% (Figura 17 "Bacia do Tapacurá com alteração PRECIP").

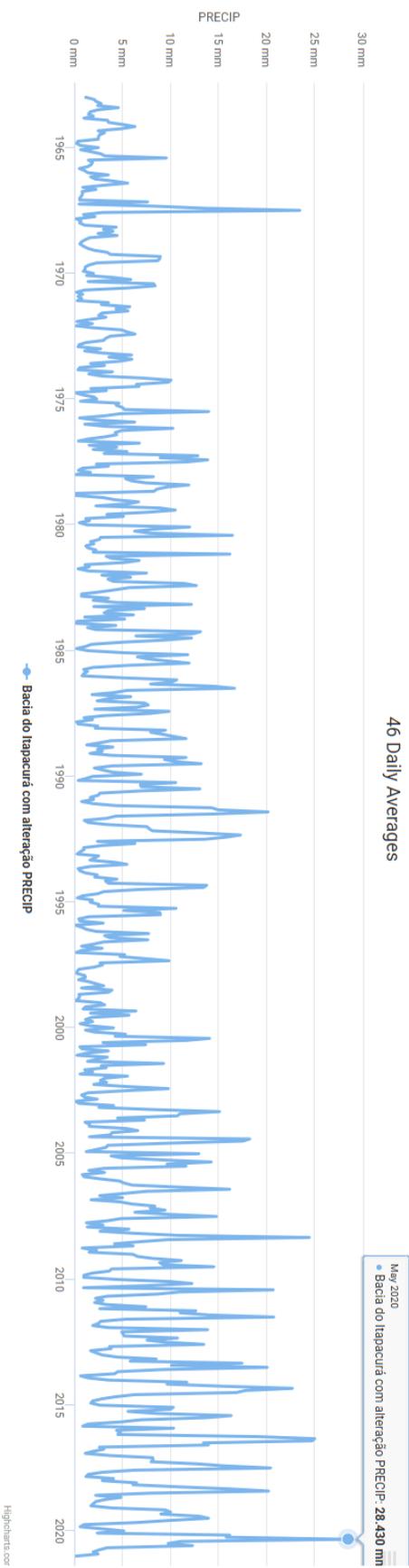
Esse aumento na precipitação durante o mês de maio pode ser atribuído ao aumento da temperatura global, que intensifica o ciclo hidrológico, resultando em maiores volumes de chuva. Conforme Duarte *et al.* (2007), a topografia da bacia, com suas variações de altitude e declividade, influencia diretamente a distribuição da precipitação, concentrando maiores volumes de chuva nas áreas mais próximas ao litoral. Esse fenômeno é corroborado pelo aumento observado no cenário com alteração climática, onde a precipitação média diária em maio foi superior ao cenário sem alteração.

Figura 17 - Média diária de precipitação em maio sem alteração climática



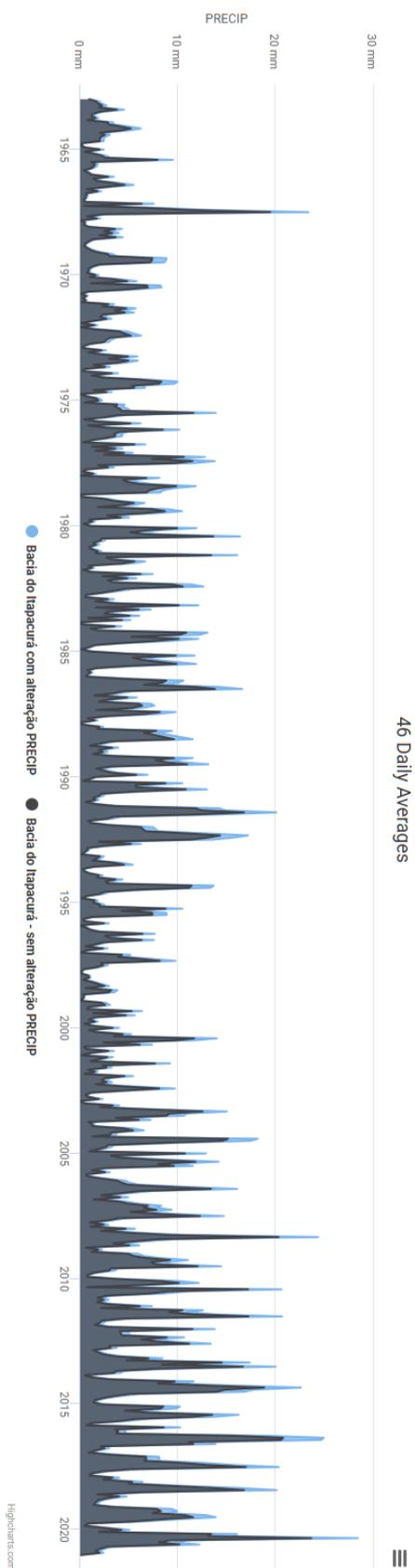
Fonte: SUPer (2025)

Figura 18- Média diária de precipitação em maio com alteração climática



Fonte: SUPeR (2025)

Figura 19 - Média diária com e sem alteração climática.



Fonte: SUPer (2025)

#### **4.4 Evapotranspiração e Balanço Hídrico**

A evapotranspiração potencial (ETP) também apresentou mudanças significativas entre os cenários. No cenário sem alteração climática, a ETP foi de 1.691,2 mm, enquanto no cenário com aumento de temperatura, a ETP subiu para 1.715,1 mm (Figuras 10 e 11 "relação precipitação e evapotranspiração sem alteração climática" e "relação de precipitação e evapotranspiração com alteração climática"). Esse aumento na ETP reflete a maior demanda por água devido ao aumento da temperatura, o que pode agravar o déficit hídrico em períodos de seca.

O balanço hídrico da bacia também foi afetado pelo aumento da temperatura. No cenário sem alteração climática, a relação entre o fluxo de água e a precipitação foi de 0,520, enquanto no cenário com alteração climática, essa relação aumentou para 0,545 (Tabela 1 - "Razão de balanço hídrico sem alteração climática" e "razão balanço hídrico com alteração climática"). Isso indica que, apesar do aumento na precipitação, a maior evapotranspiração e a perda de água por evaporação reduziram a eficiência do ciclo hidrológico.

O fluxo de base, que é fundamental para a manutenção dos rios durante os períodos de seca, apresentou uma redução de 64,7% no cenário sem alteração climática para 62,3% no cenário com alteração climática. Essa redução pode ser atribuída ao aumento da evapotranspiração e à menor infiltração de água no solo, o que impacta diretamente a recarga dos aquíferos.

#### **4.5 Impactos nos Recursos Hídricos e na Agricultura**

O aumento da precipitação e da evapotranspiração tem implicações diretas para a gestão dos recursos hídricos na bacia do Tapacurá. Por um lado, o aumento na precipitação pode beneficiar o abastecimento de água e a agricultura, especialmente em períodos de estiagem. No entanto, a maior frequência de eventos extremos de chuva pode resultar em inundações e erosão do solo, especialmente em áreas com ocupação desordenada.

A agricultura, que é uma das principais atividades econômicas na bacia, pode ser afetada de forma ambígua. O aumento na precipitação pode melhorar a

disponibilidade de água para irrigação, mas a maior evapotranspiração pode aumentar a demanda por água, especialmente em culturas sensíveis ao déficit hídrico, como a cana-de-açúcar. Além disso, os eventos extremos de chuva podem danificar as plantações e aumentar os custos de produção.

#### **4.6 Vulnerabilidade a Inundações e Secas**

A bacia do Tapacurá já apresenta uma vulnerabilidade moderada a inundações, especialmente nas áreas urbanas próximas ao rio. O aumento na precipitação e na frequência de eventos extremos pode agravar essa vulnerabilidade, resultando em inundações mais frequentes e intensas. Por outro lado, a redução no fluxo de base e a maior evapotranspiração podem aumentar o risco de secas prolongadas, especialmente durante os períodos de estiagem.

Essa dualidade entre inundações e secas representa um desafio significativo para a gestão dos recursos hídricos na bacia. Estratégias de adaptação, como a construção de reservatórios para armazenamento de água e a implementação de práticas de conservação do solo, serão essenciais para mitigar os impactos das mudanças climáticas.

#### **4.7 Necessidade de Estratégias de Adaptação**

Diante dos cenários projetados, é fundamental implementar estratégias de adaptação para minimizar os impactos das mudanças climáticas na bacia do rio Tapacurá. Algumas medidas sugeridas incluem:

- Gestão Integrada dos Recursos Hídricos: Promover o uso sustentável da água, com foco na captação de água da chuva e na reutilização de águas residuais.
- Recuperação de Áreas Degradadas: Restaurar áreas de preservação permanente e implementar práticas de conservação do solo, como o plantio direto e a rotação de culturas.
- Infraestrutura de Armazenamento: Ampliar a capacidade de armazenamento de água, com a construção de novos reservatórios e a revitalização dos existentes.

- Educação e Conscientização: Implementar programas de educação ambiental para conscientizar a população sobre a importância da conservação da água.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa evidenciou os profundos impactos das mudanças climáticas na bacia do Tapacurá, particularmente na dinâmica das precipitações. Os resultados obtidos por meio do Sistema de Unidades de Resposta Hidrológica (SUPer) revelaram padrões preocupantes: embora a precipitação média anual possa aumentar aproximadamente 20% em cenários de elevação de temperatura, esse incremento é contrabalanceado pelo crescimento da evapotranspiração e pela maior irregularidade na distribuição das chuvas. Esse paradoxo climático — caracterizado pelo aumento de chuvas, mas redução na disponibilidade hídrica — é uma realidade que se manifesta em diversas regiões semiáridas, reforçando a complexidade dos desafios enfrentados.

A análise detalhada dos dados demonstrou que eventos extremos estão se tornando mais frequentes, com registros de precipitações intensas superiores a 200 mm em curtos períodos, alternados com longos intervalos de estiagem. Essa variabilidade climática impõe pressões adicionais sobre os sistemas hídricos, já comprometidos pela expansão agrícola e urbana desordenada. Um aspecto especialmente crítico é a redução do fluxo de base, que diminuiu de 64,7% para 62,3% nas simulações, indicando uma menor capacidade de recarga dos aquíferos, o que pode agravar a escassez de água em períodos secos.

Do ponto de vista espacial, a pesquisa confirmou disparidades significativas dentro da bacia. A porção leste, mais próxima do litoral, apresenta volumes pluviométricos mais elevados (até 1.501 mm/ano), mas enfrenta problemas recorrentes de inundações. Em contraste, a região oeste, com precipitação média de apenas 1.036 mm/ano, sofre com a crescente escassez hídrica. Essa heterogeneidade exige estratégias de gestão diferenciadas, adaptadas às particularidades de cada sub-bacia, para garantir a sustentabilidade dos recursos hídricos.

O estudo também destacou a intensa pressão antrópica sobre a bacia, evidenciando a necessidade de modernização da Barragem do Tapacurá, construída na década de 1970, para adequá-la aos novos padrões climáticos. A expansão de cultivos como a cana-de-açúcar e a urbanização descontrolada nas margens dos rios

têm agravado processos erosivos e reduzido a infiltração da água no solo, comprometendo ainda mais a disponibilidade hídrica.

As projeções geradas pelo SUPer, quando comparadas com modelos climáticos globais, indicam que esses desafios tendem a se intensificar nas próximas décadas. No entanto, a pesquisa também apontou oportunidades para mitigação, como a implementação de sistemas de alerta precoce para eventos extremos e a adoção de práticas agrícolas sustentáveis que promovam a conservação do solo e da água. A recuperação de áreas de preservação permanente e a gestão integrada dos recursos hídricos emergem como medidas essenciais para aumentar a resiliência da bacia.

Os resultados reforçam a urgência de integrar o conhecimento científico ao planejamento territorial e às políticas públicas, desenvolvendo estratégias adaptativas que considerem os cenários climáticos futuros. A bacia do Tapacurá, dada sua importância estratégica para o abastecimento hídrico regional, demanda ações coordenadas entre governo, setor produtivo e comunidades locais. Além disso, a criação de um sistema de monitoramento contínuo poderia aprimorar a capacidade de resposta aos desafios emergentes, assegurando uma gestão mais eficiente dos recursos hídricos.

Em síntese, esta pesquisa demonstra que a ciência tem um papel fundamental na construção de soluções para os impactos das mudanças climáticas. No entanto, a efetividade dessas soluções depende da transformação do conhecimento em ações práticas e políticas públicas bem estruturadas, capazes de garantir a segurança hídrica e a sustentabilidade da bacia do Tapacurá diante de um cenário climático em constante transformação.

## REFERÊNCIAS

- ASSAD, E. **Agricultura e mudanças climáticas**. EMBRAPA, 2010. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1076096/1/CLV17010.pdf>. Acesso em: 10 jul. 2024.
- BLUNDEN, J.; BOYER, T.; BARTOW-GILLIES, E. **State of the Climate in 2022**. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 104, n. 9, p. 1-516, set. 2023. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1175/2023bamsstateoftheclimate.1>. Acesso em: 10 jul. 2024.
- BRAGA, R. (Coord.). **Gestão ambiental da bacia do Tapacurá - Plano de ação**. Recife: UFPE/CTG/DECIVIL/GRH, 2001.
- DUARTE, C. C. et al. **Análise Fisiográfica da Bacia Hidrográfica do Rio Tapacurá - PE**. *Revista de Geografia*, Recife, v. 24, n. 2, p. 1-64, maio/ago. 2007.
- FERREIRA, D. S. et al. **Utilização de dados de sensoriamento remoto para a obtenção das características físicas da Bacia Hidrográfica do Córrego João Pedro em Linhares – Espírito Santo**. In: SIMPÓSIO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais [...]**. Florianópolis: INPE, 2007. p. 3343-3348.
- GALVÍNCIO, J. D. **Impacto do aumento de CO2 nas Precipitações do estado de Pernambuco**. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 14, n. 3, p. 1828-1839, 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.26848/rbqf.v14.3.p1828-1839>. Acesso em: 10 jul. 2024.
- 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*, v. 9, n. 4, p. 69-75, 2004.
- GOMES, W. B. et al. **Avaliação dos Impactos das Mudanças na Cobertura da Terra e Cenário de Emissões (RCP 8.5) no Balanço de água na Bacia do Rio Madeira**. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 35, n. 4, p. 689-702, dez. 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-77863540076>. Acesso em: 10 jul. 2024.
- MARENGO, J. A. **Mudanças Climáticas e cidades: extremos, desastres naturais e risco climático**. *Workshop: As mudanças climáticas e as cidades brasileiras - riscos e medidas de respostas*. São Paulo: CEMADEN, 2015. Disponível

em: <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/rxdDPZXPm7wYYn9dLPkBSty/>. Acesso em: 10 jul. 2024.

MARENGO, J. A. et al. **Anomalias de chuvas sazonais nos verões de 2013-14 e 2014-15 no Sudeste do Brasil**. *Relatório CEMADEN*, 2015. Disponível em: [https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/36/2016/06/Clima\\_cidades\\_Jose-Marengo.pdf](https://cetesb.sp.gov.br/wp-content/uploads/sites/36/2016/06/Clima_cidades_Jose-Marengo.pdf). Acesso em: 10 jul. 2024.

MILLY, P. C. D. et al. **Global pattern of trends in streamflow and water availability in a changing climate**. *Nature*, v. 438, p. 347-350, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/nature04312>. Acesso em: 10 jul. 2024.

MIRANDA, M. R. B. **Análise da vulnerabilidade a inundações no médio curso do rio Tapacurá, cidade de Vitória de Santo Antão - PE**. 2015. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.

MIRANDA, R. Q. et al. **Reliability of MODIS evapotranspiration products for heterogeneous dry forest: a study case of Caatinga**. *Advances in Meteorology*, v. 2017, n. 1, p. 9314801, 2017.

NOBRE, C. A. **Mudanças climáticas e impactos ambientais na região Nordeste do Brasil**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14., 2014, Rio de Janeiro. *Anais* [...]. Rio de Janeiro: SBMET, 2014. p. 1-12.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (IPCC). **Mudança do Clima 2023: Relatório Síntese**. 2023. Disponível em: [https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-do-ipcc/arquivos/pdf/copy\\_of\\_IPCC\\_Longer\\_Report\\_2023\\_Portugues.pdf](https://www.gov.br/mcti/pt-br/acompanhe-o-mcti/sirene/publicacoes/relatorios-do-ipcc/arquivos/pdf/copy_of_IPCC_Longer_Report_2023_Portugues.pdf). Acesso em: 12 dez. 2024.

PIRES, J. S. R.; SANTOS, J. E.; DEL PRETTE, M. E. **A utilização do conceito de bacia hidrográfica para a conservação dos recursos naturais**. In: SCHIAVETTI, A.; CAMARGO, A. F. M. (Orgs.). **Conceitos de bacias hidrográficas: teorias e aplicações**. Ilhéus: Editus, 2002. Disponível em: [https://www.uesc.br/editora/livrosdigitais2015/conceitos\\_de\\_bacias.pdf](https://www.uesc.br/editora/livrosdigitais2015/conceitos_de_bacias.pdf). Acesso em: 12 mar. 2025.

POBLETE, D. et al. **Optimization of Hydrologic Response Units (HRUs) Using Gridded Meteorological Data and Spatially Varying Parameters**. *Water*, v. 12, n.

12, p. 3558, 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.3390/w12123558>. Acesso em: 10 jul. 2024.

SANTOS, J. Y. G. et al. **Land cover and climate change effects on streamflow and sediment yield: a case study of tapacurá river basin, brazil.** *Proceedings of the International Association of Hydrological Sciences*, v. 371, p. 189-193, 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.5194/piahs-371-189-2015>. Acesso em: 10 jul. 2024.

SILVA, R. M.; SANTOS, C. A. G.; SILVA, A. M. **Predicting soil erosion and sediment yield in the Tapacurá catchment, Brazil.** *Journal of Urban and Environmental Engineering*, v. 8, n. 1, p. 75-82, 2014. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.4090/juee.2014.v8n1.075082>. Acesso em: 10 jul. 2024.

TIBURCIO, I. M. et al. **Balanço Hídrico e Mudanças Climáticas no Semiárido Pernambucano: aplicabilidade do Sistema de Unidades de Respostas Hidrológicas para Pernambuco (SUPER).** *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 16, n. 3, p. 1657-1670, 2023.

TONELLO, K. C. et al. **Morfometria da Bacia Hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães – MG.** *Revista Árvore*, Viçosa, v. 30, n. 5, p. 849-857, 2006.

TRENBERTH, K. E. et al. **The changing character of precipitation.** *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 84, n. 9, p. 1205-1217, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1175/BAMS-84-9-1205>. Acesso em: 10 jul. 2024.

## GLOSSÁRIO

### 1. Bacia do Tapacurá

Área de estudo desta pesquisa, localizada no estado de Pernambuco, com aproximadamente 471,33 km<sup>2</sup>. Importante para abastecimento hídrico regional e vulnerável às mudanças climáticas.

### 2. Balanço Hídrico

Relação entre entrada (precipitação) e saída (evapotranspiração, escoamento) de água na bacia. O SUPer simulou componentes como fluxo de base e percolação.

### 3. Evapotranspiração Potencial (ETP)

Quantidade máxima de água que poderia ser evaporada/transpirada na bacia sob condições ideais. Aumentou de 1.691,2 mm para 1.715,1 mm no cenário com mudanças climáticas.

### 4. Fluxo de Base

Componente do escoamento proveniente do lençol freático. Representou 64,7% do fluxo total no cenário sem alterações climáticas, reduzindo para 62,3% no cenário futuro.

### 5. HRU (Hydrological Response Units)

Unidades de Resposta Hidrológica usadas no SUPer. Áreas com características homogêneas de solo, cobertura e topografia que respondem similarmente a entradas climáticas.

### 6. Modelo SUPer

Sistema de Unidades de Respostas Hidrológicas para Pernambuco, baseado no SWAT. Utilizado para simular cenários de mudanças climáticas e balanço hídrico na bacia.

### 7. Percolação

Água que infiltra no solo e recarrega os aquíferos. Correspondia a 10,2% da precipitação total na bacia, segundo resultados do modelo.

### 8. Precipitação Média Anual

Valor médio de chuvas na bacia: Cenário atual: 1.501,09 mm

Cenário +1,5°C: 1.801,43 mm (+20%)

#### 9. Recarga Profunda

Água que atinge os aquíferos mais profundos. Representou apenas 0,5% da precipitação, indicando baixa infiltração em camadas subsuperficiais.

#### 10. SWAT (Soil and Water Assessment Tool)

Modelo hidrológico que originou o SUPer. Usado para analisar efeitos do uso do solo e mudanças climáticas em bacias hidrográficas.

#### 11. Zona de Convergência Intertropical (ZCIT)

Sistema atmosférico citado como responsável por parte das chuvas na bacia, especialmente entre março e julho.

#### 12. "Tipping Points"

Pontos de inflexão climática mencionados na fundamentação teórica, como risco de savanização da Amazônia, que podem afetar o regime de chuvas no Nordeste.