

Análise do balanço hídrico da bacia hidrográfica do Riacho Cachoeira, Serra Talhada (Pernambuco)

Gabriel Antonio Silva Soares^{1*}, Camila Gardenea de Almeida Bandim², Nara Tôrres Silveira³, Juliana Patrícia Fernandes Guedes Barros⁴, Joélia Natália Bezerra da Silva⁵, Josiclêda Domiciano Galvêncio⁶

¹Mestrando em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Pernambuco, Brasil (*Autor correspondente: gabriel.antonios@ufpe.br).

²Mestranda em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Pernambuco, Brasil.

³Doutoranda em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Pernambuco, Brasil.

⁴Mestranda em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Pernambuco, Brasil.

⁵Doutora em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Pernambuco, Brasil.

⁶Professora Titular do Departamento de Geografia, Universidade Federal de Pernambuco, Brasil.

Histórico do Artigo: Submetido em: 21/11/2023 – Revisado em: 22/01/2024 – Aceito em: 28/03/2024

RESUMO

A gestão eficiente dos recursos hídricos superficiais em bacias hidrográficas é crucial para o desenvolvimento socioeconômico, especialmente em áreas propensas à escassez de água. A crescente demanda por água e os desafios associados à variabilidade climática intensificam a necessidade de abordagens integradas para o estudo de bacias hidrográficas. Diante desta problemática, o balanço hídrico se apresenta como ferramenta indispensável para a compreensão dos processos hídricos em uma bacia. O modelo hidrossedimentológico Soil and Water Assessment Tool (SWAT) destaca-se nesse contexto, permitindo análises abrangentes de cenários, incluindo mudanças climáticas. No caso da bacia do Riacho Cachoeira, localizada no semiárido pernambucano, a gestão integrada é essencial para a garantia da segurança hídrica. O Sistema de Unidades de Resposta Hidrológica para Pernambuco (SUPer) utiliza o SWAT, fornecendo uma plataforma online acessível para o estudo das bacias hidrográficas do estado. As simulações com o SUPer na bacia revelam um cenário preocupante, com apenas 13.4% do fluxo total correspondendo a fluxos superficiais, indicando déficit hídrico. A análise do balanço hídrico destaca altos índices de evapotranspiração e percolação, evidenciando a escassez de água. Apesar da média anual de precipitação considerável, a irregularidade nos índices pluviométricos e os altos níveis de evapotranspiração resultam em disponibilidade superficial limitada. Considerando o panorama apresentado, fica evidente a necessidade de estratégias adaptativas e sustentáveis para lidar com a escassez de água e promover o desenvolvimento sustentável, neste contexto, ferramentas como o SUPer são de extrema importância para a compreensão e gestão dos recursos hídricos.

Palavras-Chaves: Modelagem Hidrológica, Recursos Hídricos, Semiárido.

Analysis of the water balance of the Cachoeira Stream watershed, Pernambuco (Brazil)

ABSTRACT

The efficient management of surface water resources in watersheds is crucial for socio-economic development, especially in areas prone to water scarcity. The growing demand for water and the challenges associated with climate variability intensify the need for integrated approaches to study watersheds. In the face of this issue, the water balance emerges as an indispensable tool for understanding hydrological processes in a basin. The hydro-sedimentological model Soil and Water Assessment Tool (SWAT) stands out in this context, allowing comprehensive analyses of scenarios, including climate changes. In the case of the Riacho Cachoeira basin, located in the semi-arid region of Pernambuco, integrated management is essential to ensure water security. The Hydrological Response Units System for Pernambuco (SUPer) uses SWAT, providing an accessible online platform for the study of the state's river basins. Simulations with SUPer in the basin reveal a concerning scenario, with only 13.4% of the total flow corresponding to surface flows, indicating water deficit. The analysis of the water balance highlights high rates of evapotranspiration and percolation, indicating water scarcity. Despite a considerable annual average precipitation, the irregularity in rainfall indices and high evapotranspiration levels result in limited surface water availability. Considering the presented panorama, the need for adaptive and sustainable strategies to deal with water scarcity and promote sustainable development is evident. In this context, tools such as SUPer are of utmost importance for the understanding and management of water resources.

Keywords: Hydrological Modeling, Semi-arid, Water Resources.

Soares, G., Bandim, C., Silveira, N., Barros, J., Silva, J., Galvêncio, J. (2024). Análise do balanço hídrico da bacia hidrográfica do Riacho Cachoeira, Serra Talhada, Pernambuco. *Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto*, v.5, n.2, p.18-30.



Direitos do Autor. A Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto utiliza a licença *Creative Commons* - CC BY 4.0.

1. Introdução

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 adoção de políticas públicas que tem como objetivo principal promover o acesso à água em quantidade e qualidade, nos dias de hoje, e para as gerações futuras.

Analisar as interações entre a disponibilidade de água e diversas variáveis sociais, econômicas e ambientais pode ajudar na antecipação dos efeitos da escassez hídrica, facilitando a formulação de decisões estratégicas em bacias hidrográficas, especialmente em áreas já caracterizadas por déficit hídrico (GALVÊNCIO, 2017). 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.

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. Rhoden *et al.* (2016) apontam o balanço hídrico como uma ferramenta essencial para a identificação de períodos de estresse e déficit hídrico, além de subsidiar o desenvolvimento de projetos mitigadores e preventivos de problemáticas ou desastres naturais vigentes, ou que possam futuramente acontecer nas áreas das bacias.

Luz e Galvêncio (2022) reforçam que em regiões em que há ausência de dados e informações sobre os recursos hídricos são escassas, a adoção de modelos hidrológicos possibilita a quantificação e a compreensão da dinâmica de uma bacia hidrográfica. As autoras destacam ainda 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.

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). O SWAT é um modelo matemático de livre acesso (Srinivasan e Arnold, 1994) que 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. O modelo pode ser utilizado em diferentes escalas, das menores bacias às maiores, apresentando resultados satisfatórios em ambos os casos (Reungsang *et al.*, 2005)

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 naturais de uma bacia hidrográfica (Neitsch *et al.*, 2005).

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 grandes bacias hidrográficas delimitadas para o estado, com o objetivo de desenvolver bancos de dados personalizáveis e de qualidade, que pudesse subsidiar pesquisas e ações para a gestão dos recursos hídricos em Pernambuco. Este projeto foi intitulado Sistema de Unidades de Resposta Hidrológica para Pernambuco (SUPer) (Viana *et al.*, 2020).

O sistema foi criado com o objetivo de melhorar a acessibilidade do modelo SWAT, oferecendo uma plataforma online na qual os usuários podem acessar resultados que simulam os efeitos de várias práticas de manejo em culturas, solos, cobertura vegetal, usos da terra e diferentes cenários de mudanças climáticas na

quantidade e na qualidade da água e na produção de sedimentos em bacias hidrográficas localizadas em Pernambuco (Viana *et al.*, 2020). O SUPER fornece em sua interface interativa resultados 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 (Galvínio, 2021).

Alguns estudos têm demonstrado a aplicabilidade do SUPER em várias áreas, como as pesquisas de Viana *et al.*, (2018) e Farias *et al.*, (2020) que desenvolveram as calibrações iniciais dos modelos hidrológicos para as bacias hidrográficas e reservatórios do Estado. Galvínio (2021) avaliou através do SUPER, o impacto do aumento do CO₂ atmosférico nas precipitações da bacia do Rio Mundaú. Já Freire-Silva (2022) analisou os dados de evapotranspiração para reservatório de Serra Talhada, semiárido pernambucano. Enquanto Santos *et al.* (2023) analisaram índices de vegetação associados a modelagem hidrológica para detecção da comunidade fitoplanctônica. Uma investigação sobre a disponibilidade hídrica foi desenvolvida por Luz e Galvínio (2022), com análises do balanço hídrico para o reservatório Milagres. Tibúrcio *et al.* (2023) avaliaram a disponibilidade hídrica na bacia hidrográfica do Riacho Amolar e os impactos das mudanças climáticas no balanço hídrico da região. No que tange estudos sobre a qualidade dos corpos hídricos, Silveira *et al.* (2022a; 2022b; 2023a; 2023b) analisaram a qualidade da água utilizando dados modelados de nitrogênio total, fósforo total e oxigênio dissolvido para o reservatório Nilo Coelho e bacia hidrográfica do Moxotó.

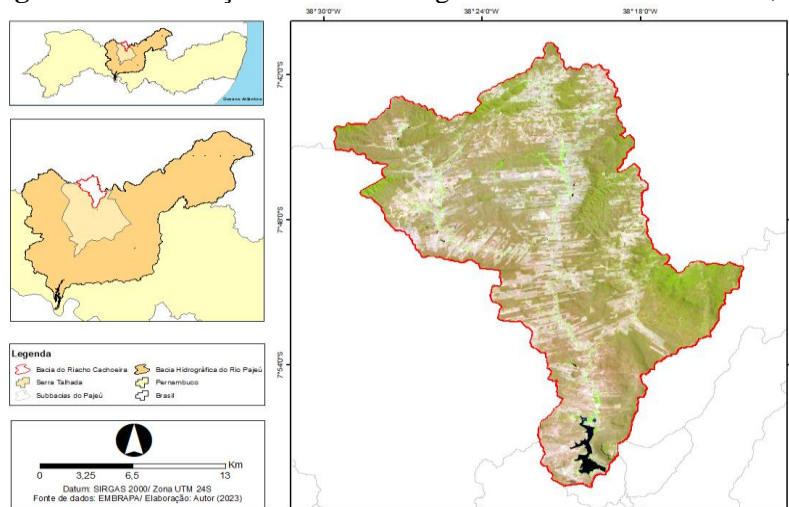
Diante deste contexto, o presente estudo objetiva compreender a dinâmica hidroclimática da bacia hidrográfica do Riacho Cachoeira, localizada no semiárido pernambucano, através do balanço hídrico superficial, analisando seus índices de forma integrada utilizando o Sistema de Unidades de Resposta Hidrológica para Pernambuco (SUPER).

2. Material e Métodos

2.1 Caracterização da área de estudo

A bacia hidrográfica 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, com 393.75 km² (Figura 1). O clima da região é do tipo BSh, segundo a classificação climática de Köppen, com índices pluviométricos entre 250 mm a 750 mm anuais e temperatura média de 27°C (EMBRAPA, 2023).

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



Fonte: Os autores (2023)

Os solos identificados na área da bacia hidrográfica do Riacho Cachoeira são os Luvisolos Crômicos, Neossolos Litólicos, Argissolos Vermelho-Amarelos e Cambissolos Háplicos. Há predomínio da Caatinga

associadas às áreas com interferências humanas, dentre as quais o desenvolvimento de atividades agropecuárias e de pastagem. Ferreira *et al.* (2010) destacam como principais atividades a agricultura de sequeiro, o cultivo de palma e pasto, a criação de caprinos e atividades pesqueiras.

2.2 Processos realizados com o SUPer

Para acessar a modelagem SWAT foi utilizado o SUPer, disponível em: <https://super.hawqs.tamu.edu/>, que 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.

Na aba de criação de projetos, o usuário pode 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, a 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; 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 (Tibúrcio *et al.*, 2023). As etapas empregadas na modelagem da bacia estão apresentadas na figura 2, que ilustra a sequência de procedimentos e os possíveis resultados a serem obtidos através da plataforma.

Figura 2 – processos aplicados no SUPer para obtenção de resultados



Fonte: Os autores (2023)

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: Os autores (2023)

3. Resultados e Discussão

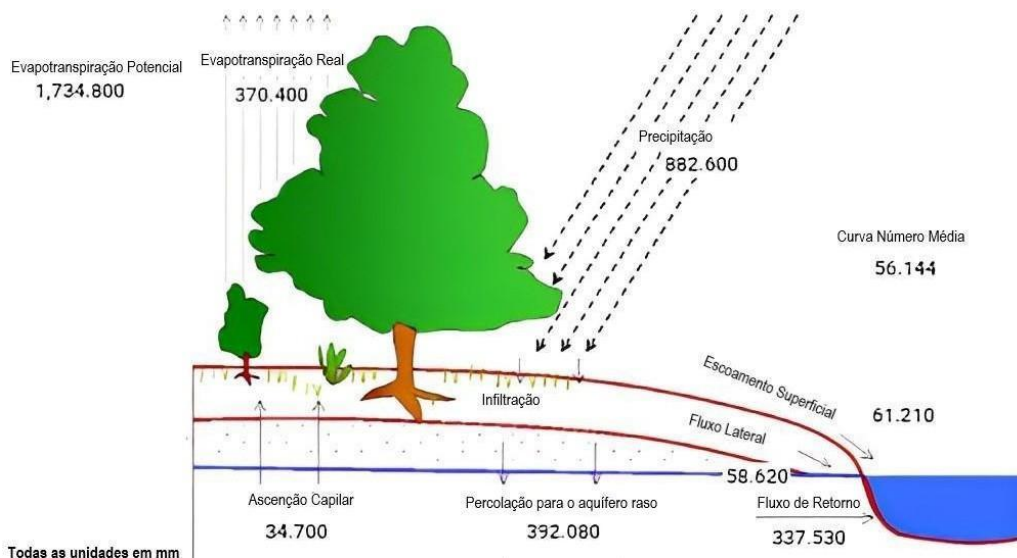
A água se apresenta como o principal recurso para o desenvolvimento das atividades humanas, sendo utilizada de diversas formas, tais como o abastecimento das populações, em atividades agrícolas, e na produção de energia (Abbaspour *et al.*, 2015). Para uma gestão eficaz das bacias hidrográficas, se faz necessário compreender de forma sistêmica como os processos atuantes determinam simultaneamente a sua dinâmica hidrológica, uma vez que 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.

Para a bacia hidrográfica do Riacho Cachoeira foram delimitadas 14 Unidades de Resposta Hidrológicas (URHs), que a partir da integração entre os dados de entrada calibrados para os anos entre 1961 e 2021, representaram as características hidroclimáticas da bacia. As URHs são unidades espaciais que representam áreas homogêneas dentro de uma bacia hidrográfica, sendo caracterizada pela combinação das características de solo, uso do solo e cobertura vegetal, e topografia (Trentin, Robaina e Laurent, 2021). A área é majoritariamente dominada por atividades agrícolas e de pastagem, com 58,9% da área representada pela classe CRWO (Agricultura e Caatinga) e 41,1% pela classe SPAS (Pastagem). Isso indica que a economia da região é predominantemente dependente da agropecuária, e que o uso da terra é focado na produção de alimentos e na criação de animais. Além disso, a presença da Caatinga na classe CRWO, indica que a região possui áreas com vegetação nativa da região semiárida, que podem ser importantes para a biodiversidade, para a proteção do solo e dos recursos hídricos (Viana *et al.*, 2020)

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. A representação gráfica do balanço hídrico superficial da bacia hidrográfica do Riacho Cachoeira está apresentada na figura 3.

Figura 3. Representação gráfica do balanço hídrico superficial da bacia do Riacho Cachoeira, PE



Fonte: Os autores (2023)

Luz e Galvínio (2022) ao analisarem o balanço hídrico médio anual da bacia do Riacho Milagres observaram 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. Enquanto Tibúrcio *et al.* (2023), em estudo desenvolvido na bacia hidrográfica do Riacho do Amolar, identificaram 34% para evapotranspiração, 57% para percolação e 9,3% para o fluxo superficial.

Os baixos índices pluviométricos irregulares, associados aos elevados níveis de evapotranspiração, observados na bacia do riacho dos Milagres (Luz e Galvínio, 2022), na bacia do riacho Amolar (Tibúrcio *et al.*, 2023) e na 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 pelos autores com os resultados aqui apresentados, dá-se principalmente pela localização das áreas de estudo, situadas na região semiárida do estado de Pernambuco, viabilizando comparações gerais. As médias estimadas para o balanço hídrico da bacia do riacho Cachoeira estão apresentadas na tabela 2:

Tabela 2 – 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

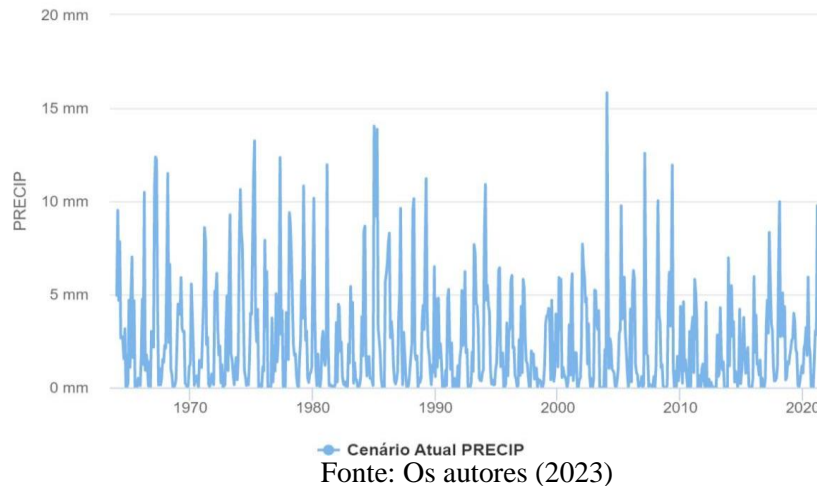
Fonte: Os autores (2023)

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 Galvêncio (2021) para a bacia do Pontal, uma média anual de 497.200 mm, por Luz e Galvêncio (2022) para a bacia do Riacho Milagres, uma média anual de 638.500 mm e por Tibúrcio *et al.* (2023) para a bacia do Riacho Amolar, com média anual de 691.500 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 de dezembro de 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, 2023). A figura 4 apresenta o gráfico de médias diárias para a precipitação na bacia do Riacho Cachoeira.

Figura 4 - Gráfico das médias diárias históricas de precipitação da bacia do Riacho Cachoeira, PE
Bacia do Riacho Cachoeira - Médias diárias



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.

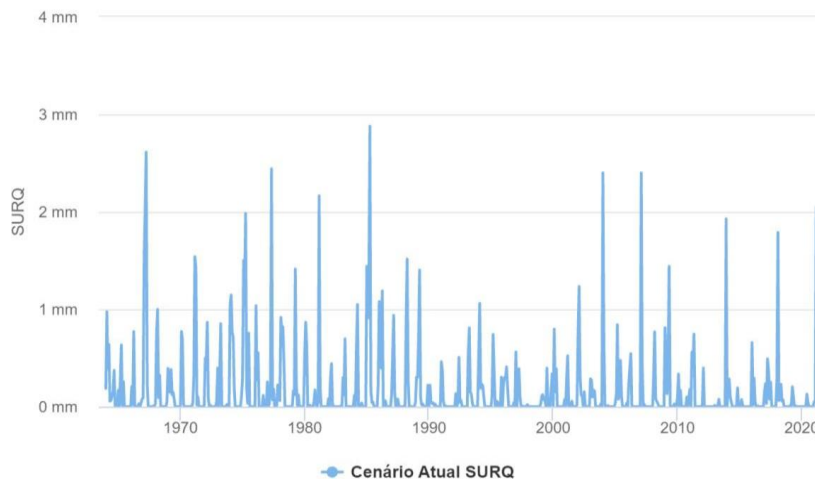
O regime de chuvas impacta diretamente sobre o escoamento superficial, pois como apontam Miranda *et al.* (2017) em seu estudo sobre o balanço hídrico da bacia hidrográfica do Rio Pontal, para ocorrência do escoamento superficial na área da Caatinga é preciso que o volume de pluviosidade média mensal 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 para a bacia localizada entre o agreste e o litoral pernambucano, para uma precipitação média de 1.164.00 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, 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 figura 5 apresenta as médias diárias do escoamento superficial na bacia.

Figura 5 - Gráfico das médias diárias históricas de escoamento superficial da bacia do Riacho Cachoeira, PE
Bacia do Riacho Cachoeira - Médias diárias



Fonte: Os autores (2023)

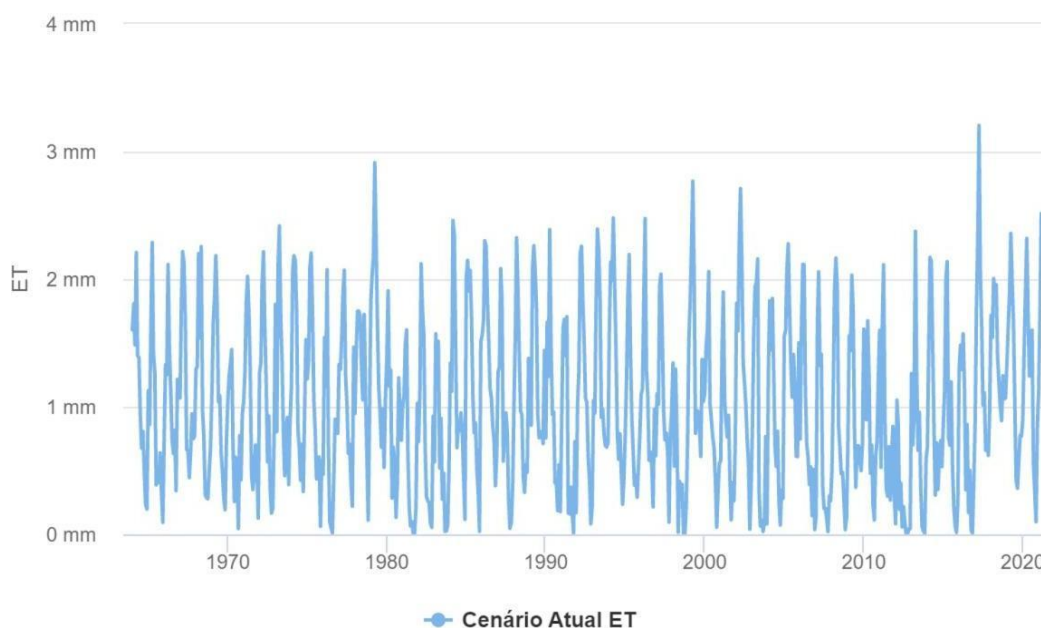
A partir da observação do gráfico representativo do escoamento superficial médio diário para a bacia, é possível inferir que a mesma apresenta padrões irregulares, havendo períodos do ano onde ocorre expressivamente, e outros períodos em que sua ocorrência é nula. Luz e Galvínio (2022) e Tibúrcio *et al.* (2023) 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.

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 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 e das temperaturas elevadas, há um alarmante déficit hídrico. A figura 6 apresenta o gráfico de médias diárias de evapotranspiração registradas para a bacia.

Figura 6 - Gráfico das médias diárias históricas de evapotranspiração real da bacia do Riacho Cachoeira, PE
Bacia do Riacho Cachoeira - Médias diárias



Fonte: Os autores (2023)

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; os meses de março e abril apresentam perdas 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.

4. Conclusão

O modelo hidrológico SWAT, utilizado para a compreensão da dinâmica hídrica da bacia, se mostrou extremamente eficiente na representação da área, onde 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.

Diante do cenário exposto, torna-se claro que é crucial implementar estratégias adaptativas e sustentáveis para enfrentar a escassez de água e fomentar o desenvolvimento sustentável na área de estudo, e nesse contexto, ferramentas como o SUPer desempenham um papel de extrema importância para a compreensão e gestão dos recursos hídricos.

5. Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoa do Nível Superior (CAPES), pela concessão das bolsas de mestrado e doutorado aos quatro primeiros autores. À Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e ao Laboratório de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento (SERGEO), por disponibilizar toda a estrutura técnica e organizacional necessária para o desenvolvimento da pesquisa.

6. Referências

ABBASPOUR, K. C. *et al.* (2015). A continental-scale hydrology and water quality model for Europe: Calibration and uncertainty of a high-resolution large-scale SWAT model. **Journal of Hydrology**, 524, 733-752. DOI: 10.1016/j.jhydrol.2015.03.027.

ALENCAR, D.; SILVA, C. L. D.; OLIVEIRA, C. A. D. S. (2006). Influência da precipitação no escoamento superficial em uma microbacia hidrográfica do Distrito Federal. **Engenharia Agrícola**, 26, 103-112.

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. (2023). **Sistema de Acompanhamento de Reservatórios - Reservatórios do Nordeste**. Disponível em: https://dadosabertos.ana.gov.br/datasets/7d53f4b435ed4fdfaf11d493c644ce70_1/explore?location=0.000000%2C0.000000%2C0.00&showTable=true.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (2023). **Clima**. Disponível em: <https://www.cnpf.embrapa.br/pesquisa/efb/clima.htm>.

FARIAS, C. W. L. de A. *et al.* (2020). Calibrações Parciais do Modelo Swat como Suporte ao Sistema de Unidades de Resposta Hidrológica para Pernambuco (SUPer): Bacias do Rio Mundaú e do Rio Goiana. In: **Anais do XV Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste**. Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=6985>.

FERREIRA, C. W. S. *et al.* (2010). 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. Disponível em: <https://docplayer.com.br/20915885-Characterizacao-morfometrica-da-bacia-hidrografica-do-acude-cachoeira-ii-no-municipio-de-serra-talhada-pe-brasil.html>.

FRANÇA, L. M. de A. (2017). **Impacto das ações antrópicas e do clima no uso e ocupação do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Pajeú**. (Dissertação de Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente). Universidade Federal de Pernambuco, Recife. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/26802>.

- FREIRE-SILVA, J. *et al.* (2022). Análise dos produtos de evapotranspiração automáticos GEE-SEBAL e do Sistema de Unidades de Resposta Hidrológica para Pernambuco (SUPER) para regiões hídricas de Serra Talhada no estado de Pernambuco. **Geografia Ensino & Pesquisa**, 26(1), 1-20. Universidade Federal de Santa Maria. DOI: 10.5902/2236499468044.
- GALVÍNIO, J. D. (2017). Relation of leaf water content with real evapotranspiration and biomass in Caatinga biome, using remote sensing data. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 10(5), 1545-1551. DOI: 10.26848/rbgf.v10.5.p1545-1551.
- GALVÍNIO, J. D. (2021). Impacto do aumento de CO₂ nas Precipitações do estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 14(3), 1828-1839. DOI: 10.26848/rbgf.v14.3.p1828-1839.
- GALVÍNIO, J. D.; LUZ, G. G. (2021). Desenvolvimento de Modelo que Estima o Impacto do CO₂ Atmosférico nas Precipitações do Estado de Pernambuco, utilizando o ARIMA. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 14(4), 1840-1851. DOI: 10.26848/rbgf.v14.4.p1840-1851.
- JARDIM, A. M. da R. F. *et al.* (2019). Estudos climáticos do número de dias de precipitação pluvial para o município de Serra Talhada-PE. **Revista Engenharia na Agricultura**, 27(4), 330-337. DOI: 10.13083/reveng.v27i4.875.
- LUZ, G. G.; GALVÍNIO, J. D. (2021). Balanço hídrico superficial da bacia hidrográfica do riacho Milagres-PE, utilizando o SUPER. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 15(2), 1094-1107. DOI: 10.26848/rbgf.v15.2.p1094-1107.
- MARENGO, J. A. *et al.* (2016). A seca de 2012-15 no semiárido do Nordeste do Brasil no contexto histórico. **Revista Climanálise**, 3(1), 49-54.
- MARENGO, J. A. *et al.* (2011). Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. Recursos hídricos em regiões áridas e semiáridas, 1, 385-422.
- MIRANDA, R. Q de. (2017). **Avaliação integrada da variação espacial e temporal do balanço hídrico na Caatinga**. (Tese de Doutorado em Desenvolvimento e Meio Ambiente). Universidade Federal de Pernambuco, Recife. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/25188>.
- NEITSCH, S. L. *et al.* (2005). Soil and water assessment tool: Theoretical documentation, version 2005. Agricultural Research Service and Texas AgriLife Research. Texas. Disponível em: swat.tamu.edu/media/99193/swat2009-theory-portuguese.pdf.
- REUNGSANG, P. *et al.* (2005). Calibration and Validation of SWAT for the Upper Maquoketa River Watershed. **CARD Working Papers**, 372. Disponível em: <https://www.card.iastate.edu/products/publications/synopsis/?p=762>.
- RHODEN, A. C. *et al.* (2016). A importância da água e da gestão dos recursos hídricos. **Revista de Ciências Agroveterinárias e Alimentos**, n. 1, 2016.
- SANTOS, T. O. *et al.* (2023). Detecção de fitoplâncton através do Índice de Área Foliar (IAF) e drone em um reservatório do semiárido. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, 8(3), 204-211. DOI: 10.24221/jeap.8.3.2023.5876.204-211.

SILVEIRA, N. T. *et al.* (2022a). Avaliação da qualidade da água do reservatório Nilo Coelho, Terra Nova, Pernambuco, Brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, 15(6), 2866-2877. DOI: 10.26848/rbgf.v15.6.p2866-2877.

SILVEIRA, N. T. *et al.* (2022b). Qualidade da Água e Modelagem Hidrológica: aplicabilidade do Sistema de Unidades de Respostas Hidrológicas para Pernambuco (SUPER). **Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto**, 3(3), 30-40. DOI: 10.5281/zenodo.7510916.

SILVEIRA, N. T. (2023a). **Impactos das mudanças climáticas na qualidade da água da Bacia hidrográfica do Terra Nova, Pernambuco.** (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de Pernambuco. Disponível em: <https://repositorio.ufpe.br/handle/123456789/50938>.

SILVEIRA, N. T. *et al.* (2023b). Temporal Analysis of Water Quality for the Nilo Coelho Reservoir, Terra Nova, Pernambuco, Brazil. **Water**, 15(16), 2899. DOI: 10.3390/w15162899.

SOARES, G. A. S.; GALVÍNICO, J. D. (2020). 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**, 13(7), 3659-3674. DOI: 10.26848/rbgf.v13.07.p3659-3674.

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

TIBÚRCIO, I. M. *et al.* (2023). Balanço Hídrico e Mudanças Climáticas no Semiárido Pernambucano: aplicabilidade do Sistema de Unidades de Respostas Hidrológicas para Pernambuco (SUPER). **Revista Brasileira de Geografia Física**, 16(3), 1657-1670. DOI: 10.26848/rbgf.v16.3.p1657-1670.

TOMASELLA, J.; ROSSATO, L. (2005). Balanço hídrico. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São Paulo. Disponível em: https://www.researchgate.net/profile/Javier-Tomasella/publication/41560239_Balanco_hidrico/links/00b49519caef96e7e1000000/Balanco-hidrico.pdf.

TONELLO, K. C. (2005). **Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães, MG.** (Dissertação de Mestrado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/9559/1/texto%20completo.pdf>.

TRENTIN, R., ROBAINA, L. E. DE S., & LAURENT, F. (2021). DEFINIÇÃO DAS UNIDADES DE RESPOSTA HIDROLÓGICA NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO SANTA MARIA- RS. **Caminhos De Geografia**, 22(84), 269–284. <https://doi.org/10.14393/RCG228457131>

VIANA, J. F. D. S. *et al.* (2020). Calibrações Parciais do Modelo Swat como Suporte ao Sistema de Unidades de Resposta Hidrológica para Pernambuco (SUPER): Bacia do Rio Pajeú. In: **Anais do XV Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste**. Disponível em: <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=6842>.