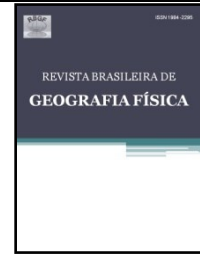




Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Estudo do balanço hídrico climatológico e cenários pluviométricos na bacia hidrográfica do Rio Manuel Alves, região sudeste do estado do Tocantins

Lucas da Silva Ribeiro¹, Luís Eduardo de Souza Robaina², Sandro Sidnei Vargas de Cristo³, Romario Trentin⁴

¹Doutorando pelo Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal de Santa Maria, bolsista CAPES. E-mail: lucassilvaribeiro12@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5677-5716>. ²Professor do Departamento de Geociências e do Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal de Santa Maria. E-mail: lesrobaina@yahoo.com.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2390-6417>.

³Professor do curso de Geografia e do Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal de Tocantins. E-mail: sidneicristo@mail.uft.edu.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4054-5761>. ⁴Professor do Departamento de Geociências e do Programa de Pós-graduação em Geografia da Universidade Federal de Santa Maria. E-mail: romario.trentin@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0615-2801>.

Artigo recebido em 14/10/2024 e aceito em 02/12/2025

RESUMO

A água é um dos recursos naturais de maior importância, sendo imprescindível para garantir a qualidade de vida e o desenvolvimento econômico e social da população, e sua dinâmica pode ser estudada a partir do balanço hídrico. Neste sentido, o objetivo deste trabalho é a aplicação do balanço hídrico climatológico normal com caracterização e análise de diferentes cenários pluviométricos extremos, a partir de dados de estação de campo e de reanálises na bacia hidrográfica do Rio Manuel na região sudeste do estado do Tocantins. A partir dos dados de precipitação e temperatura, foi realizado o balanço hídrico climatológico normal entre os anos de 2009 e 2019, considerando uma análise deste período e ainda os anos de precipitação extrema. Para isso, foi utilizada uma planilha específica, considerando uma capacidade de água disponível (CAD) de 100 mm, com base em pesquisas anteriores. O balanço hídrico permite analisar a deficiência e o excedente hídrico, a evapotranspiração e o armazenamento no solo mensalmente, fornecendo informações importantes sobre a dinâmica hídrica da região. Os resultados evidenciaram que a bacia hidrográfica do Rio Manuel Alves apresenta, de janeiro a abril, um excedente hídrico, enquanto de maio a novembro prevalece a deficiência hídrica, acentuada entre julho e setembro. Esses padrões confirmam a divisão do Cerrado em períodos chuvoso e seco, sendo que a deficiência hídrica tende a agravar-se com as mudanças climáticas. Portanto, o balanço hídrico climatológico é destacado como uma ferramenta importante na gestão dos recursos hídricos, oferecendo uma caracterização geral de um período específico.

Palavras-chaves: Cerrado, Mudanças climáticas, Disponibilidade hídrica, Excedente hídrico

Study of the Climatological Water Balance and Pluviometric Scenarios in the Hydrographic Basin of the Manuel Alves River, Southeastern Tocantins State.

ABSTRACT

Water is one of the most important natural resources. It is essential for guaranteeing quality of life and the economic and social development of the population, and its dynamics can be studied using the water balance. With this in mind, the aim of this work is to apply the normal climatological water balance to characterize and analyze different extreme rainfall scenarios, based on field station data and reanalyses in the Hydrographic Basin of the Manuel Alves River in the southeastern region of the state of Tocantins. Based on rainfall and temperature data, a normal climatological water balance was carried out between 2009 and 2019, considering an analysis of this period and also the years of extreme rainfall. To do this, a specific spreadsheet was used, considering an available water capacity (AWC) of 100 mm, based on previous research. The water balance makes it possible to analyze water deficiency and surplus, evapotranspiration and soil storage on a monthly basis, providing important information on the region's water dynamics. The results showed that the Manuel Alves River basin has a water surplus from January to April, while water deficiency prevails from May to November, which is accentuated between July and September. These patterns confirm the division of the Cerrado into rainy and dry periods, with water deficiency tending to worsen with climate change. Therefore, the climatological water balance is highlighted as an important tool in the management of water resources, offering a general characterization of a specific period.

Keywords: Cerrado, Climate change, Water availability, Water surplus

Introdução

A água é um dos recursos naturais de maior importância, sendo imprescindível para garantir a qualidade de vida e o desenvolvimento econômico e social da população (Andrade *et al.*, 2008). Conhecer a disponibilidade da água no solo para um futuro planejamento é a base para executar o seu uso racional (Santos; Hernandez; Rossetti, 2010).

Assim, a dinâmica da água pode ser estudada a partir do balanço hídrico, que consiste na contabilização dos componentes de entrada e saída, num volume de solo que englobe todo o sistema radicular da cultura durante um intervalo de tempo (Souza *et al.*, 2015).

O estudo dos ciclos da água e energia, por meio da estimativa do balanço hídrico, não apenas auxilia na compreensão da dinâmica das bacias hidrográficas diante das mudanças climáticas, mas também se revela como uma ferramenta crucial para avaliar o potencial hídrico de uma determinada região, ou seja, é fundamental para compreender a degradação e as diferentes formas de preservação dos recursos hídricos (Souza *et al.*, 2017; Moreira *et al.*, 2019).

A proposta de balanço hídrico climatológico baseia-se na dinâmica do armazenamento de água no solo (sem a necessidade de medidas diretas das condições do solo) e ainda pode ser realizado considerando apenas dados climáticos de precipitação e temperatura do ar (Souza e Gomes, 2008). Portanto, a metodologia permite estimar, para um determinado período, o Armazenamento da Água no Solo (ARM), a Evapotranspiração Real (ET_r), Evapotranspiração Potencial (ET_p), Deficiência hídrica (DEF), Excedente hídrico (EXC), Retirada (RET) e Reposição (REP).

O balanço hídrico climatológico de uma região é definido como contabilidade de entrada e saída de água do solo. Desse modo, é possível conhecer períodos anuais que sofrem com perdas hídricas, bem como apontar aqueles com excedente hídrico (Souza *et al.*, 2014). Para este tipo de análise, Thornthwaite e Mather (1955) desenvolveram o balanço hídrico para determinar o regime hídrico de um local.

A aplicação do balanço hídrico é uma possibilidade para analisar questões ambientais nas bacias hidrográficas. Assim, as significativas transformações no uso e cobertura da terra têm influenciado diretamente o equilíbrio hídrico e, por

consequência, a vazão dos cursos d'água (Trentin; Laurent; Robaina, 2023). Resultando-se em um aumento nas perdas de água por drenagem e em uma redução na evapotranspiração (Brito *et al.*, 2020).

As transformações do uso e cobertura da terra altera o escoamento superficial e afeta os processos hidrológicos e o consumo de água em toda a bacia hidrográfica, enquanto as mudanças climáticas modificam os padrões de precipitação e temperatura e, consequentemente, a evapotranspiração e o suprimento de água (Luz e Galvino, 2023).

As mudanças na disponibilidade de água podem comprometer a produtividade de algumas culturas, como soja e milho. Isso ocorre devido à intensificação dos eventos climáticos extremos e à consequente mudança na disponibilidade de água no solo, afetando desde a data de semeadura até o rendimento das lavouras (Campos *et al.*, 2024).

Neste sentido, destaca a importância de estudos de balanço hídrico climatológico no Cerrado brasileiro, como: Cassettari e Queiroz (2021) que estimaram o balanço hídrico climatológico e a classificação climática para a bacia hidrográfica do Rio Jauquara, afluente do Paraguai Superior, por meio da interpolação de dados históricos de precipitação e temperatura das estações meteorológicas mais próximas à área de estudo. Oliveira (2023) calculou o balanço hídrico para o município de Carbonita, em Minas Gerais, para compreender o comportamento do clima e suas tendências. Pereira *et al.* (2023) realizaram o balanço hídrico mensal dos anos de 2019 a 2020 do estado do Tocantins. Oliveira (2024) analisou a disponibilidade hídrica e a classificação climática para o município de Bom Despacho, em Minas Gerais. Campos *et al.* (2024) avaliaram a disponibilidade da água no solo em função da época de semeadura e textura do solo, para a produção de soja e milho cultivados em sucessão, considerando os cenários de mudanças climáticas no Cerrado.

Neste sentido, o balanço hídrico climatológico é fundamental para auxiliar nesses desafios, pois tem como principal instrumento a utilização de dados meteorológicos, importante para avaliação do potencial agroclimático de uma determinada área (Souza *et al.*, 2014). Através do balanço hídrico, é possível conhecer como as variações da disponibilidade hídrica e a temperatura podem interferir nos processos fisiológicos dos vegetais, afetando a sua produção,

como duração do ciclo das culturas e no alcance de maiores produtividades (Fenner *et al.*, 2014).

Mesmo com o rápido progresso científico e tecnológico, o homem é extremamente dependente do clima na agricultura, principalmente na variabilidade espaço/temporal da precipitação, que é uma das variáveis meteorológicas mais importantes para o bom desenvolvimento das culturas agrícolas (Saldanha *et al.*, 2015). Por exemplo, a simulação do balanço hídrico indicou a necessidade de irrigação em todas as datas de semeadura, com valores menores na maioria das regiões do estado do Rio Grande do Sul (Villa *et al.*, 2024).

Portanto, para o desenvolvimento dos estudos atmosféricos são necessários dados observacionais com boa qualidade e disponibilidade, apesar dessa importância, uma das grandes dificuldades para fazer estudos deste tipo ainda é a baixa quantidade e qualidade de informações de variáveis meteorológicas disponíveis (Micalichen e Dias, 2018).

Desse modo, os dados globais de reanálises são informações alternativas que podem contribuir para estudos de balanço hídrico climatológico, pois, são produtos de séries de dados meteorológicos obtidos através da assimilação e reanálise de dados observados em superfície (estações), aviões, navios, imagens de satélite, imagens de radar e radiossondagens em todo o planeta (Pinto *et al.*, 2009; Micalichen e Dias, 2018). Os dados de temperatura de reanálises

apresentam um potencial para serem utilizados como fonte alternativa em locais com ausência de estações ou de séries longas de dados meteorológicos (Villa *et al.*, 2024).

O estudo sobre o balanço hídrico climatológico em uma determinada área de estudo pode ser uma ferramenta de suma importância para auxiliar no uso da água e na conservação dos mananciais e cursos hídricos, podendo destacar as potencialidades e as suas fragilidades hídricas anual e mensalmente.

Neste sentido, o objetivo deste estudo é a aplicação do balanço hídrico climatológico normal com caracterização e análise de diferentes cenários pluviométricos extremos, a partir de dados de estação de campo e de reanálises na bacia hidrográfica do Rio Manuel Alves na região sudeste do estado do Tocantins.

Material e Métodos

Área de Estudo

A bacia hidrográfica do Rio Manuel Alves (Figura 1) Ocupa uma área de aproximadamente 14.900 km², distribuídas pelos municípios de Almas, Chapada da Natividade, Conceição do Tocantins, Dianópolis, Natividade, Pindorama do Tocantins, Porto Alegre do Tocantins, Rio da Conceição, Santa Rosa do Tocantins, São Valério e Taipas do Tocantins.

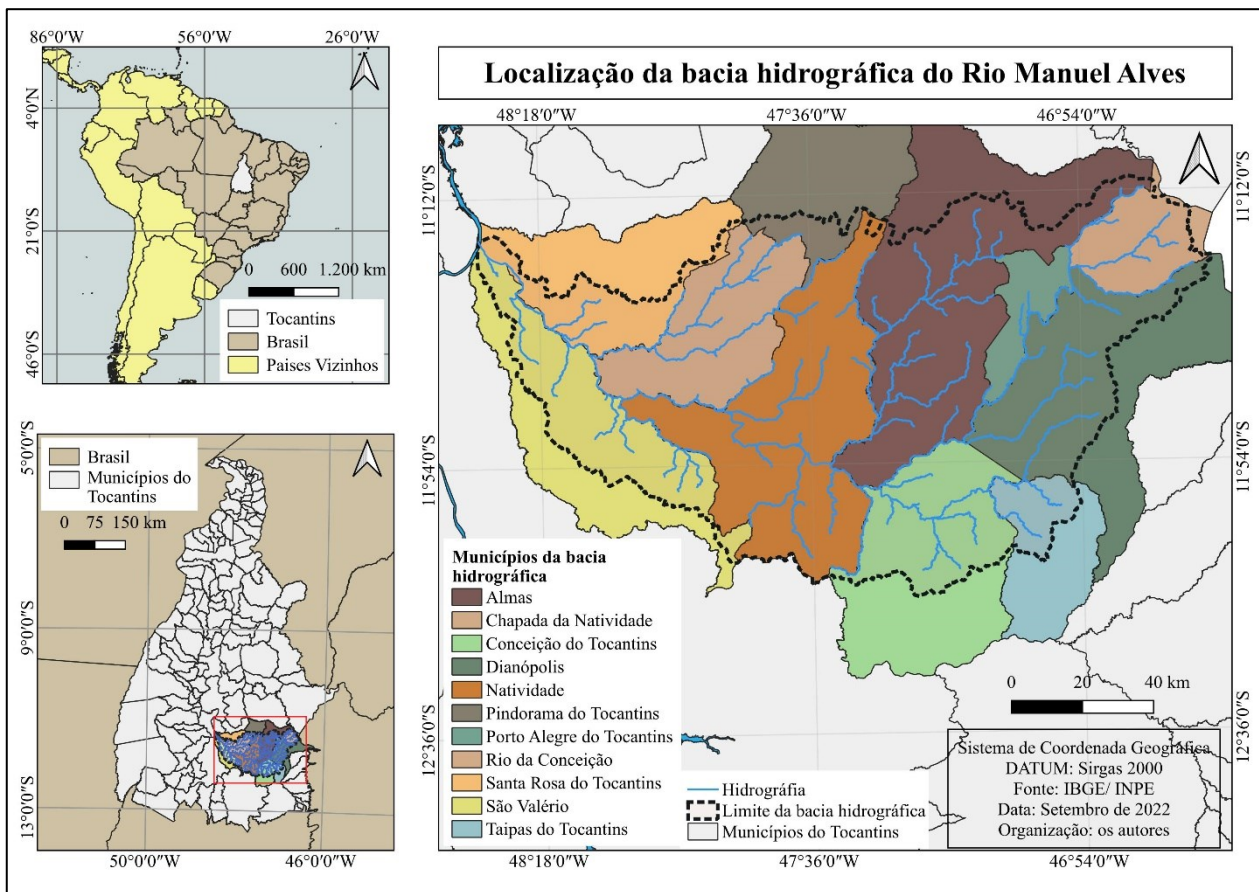


Figura 1 –Localização da Bacia hidrográfica do Rio Manuel Alves. Autores (2022).

A bacia hidrográfica em estudo, apresenta uma característica relevante do ponto de vista da conservação ambiental, pois tem pequenas áreas no seu alto curso na Unidade de Conservação da Natureza de Proteção Integral, a Estação Ecológica Serra Geral do Tocantins, que abriga algumas nascentes importantes para área de estudo.

A área de estudo pertence ao bioma Cerrado, que vem sofrendo uma intensificação das transformações ambientais com a expansão das atividades agrícola e pecuarista, com destaque para a região do MATOPIBA que abrange o sul do Maranhão, todo o estado do Tocantins, o sul do Piauí e a região oeste da Bahia (Ribeiro *et al.*, 2022).

Material e Métodos

Na primeira etapa deste estudo, procurou-se o levantamento bibliográfico sobre a temática em questão e também dos dados climáticos. Com o apoio de Sistema de Informação Geográfica (SIG), foi possível sistematizar espacializar algumas informações importantes para o trabalho.

Portanto, foi realizada uma avaliação da qualidade dos dados disponíveis nas estações

pluviométricas, com base no banco de dados da Agência Nacional de Águas (ANA, 2024), foram selecionadas seis estações com dados entre os anos de 2009 a 2019.

Os dados de temperatura foram obtidos a partir de estações meteorológicas localizadas em Porto Nacional, Peixe e Taguatinga, conforme informações disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2024). Embora essas estações apresentem uma série histórica de 1961 a 2021, elas não estão localizadas dentro da área de estudo. Portanto, utilizou-se os dados de globais de reanálises disponíveis na plataforma W3S-Water, no período de 2009 a 2019.

Com a aquisição dos dados de temperatura, tanto de reanálise quanto de estações convencionais (Figura 2), foi possível realizar uma análise comparativa entre esses dados (Figura 3). Os dados globais de reanálises acompanham de forma consistente os dados medidos pelas estações convencionais, o que valida sua utilização para a análise de temperatura na bacia hidrográfica do Rio Manuel Alves.

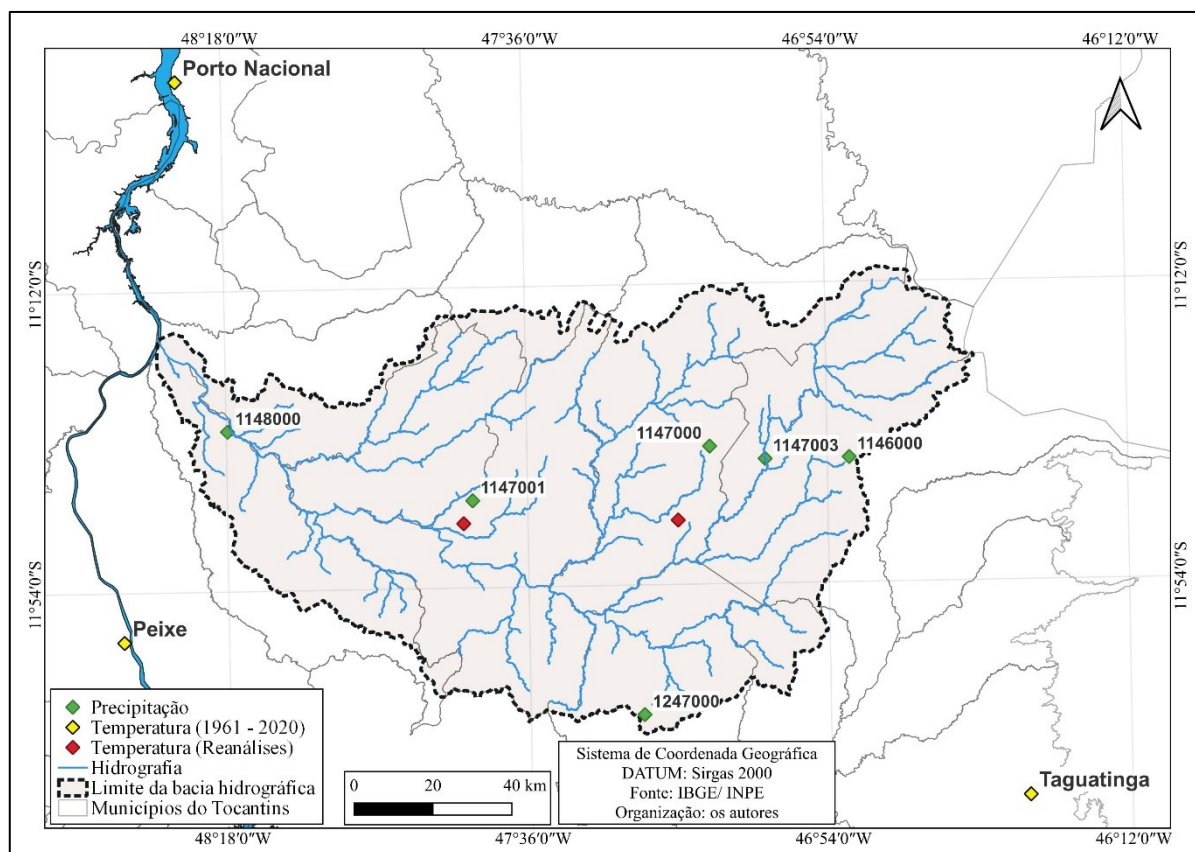


Figura 2 – Espacialização das Estações climatológicas na bacia hidrográfica do Rio Manuel Alves. Autores (2024).

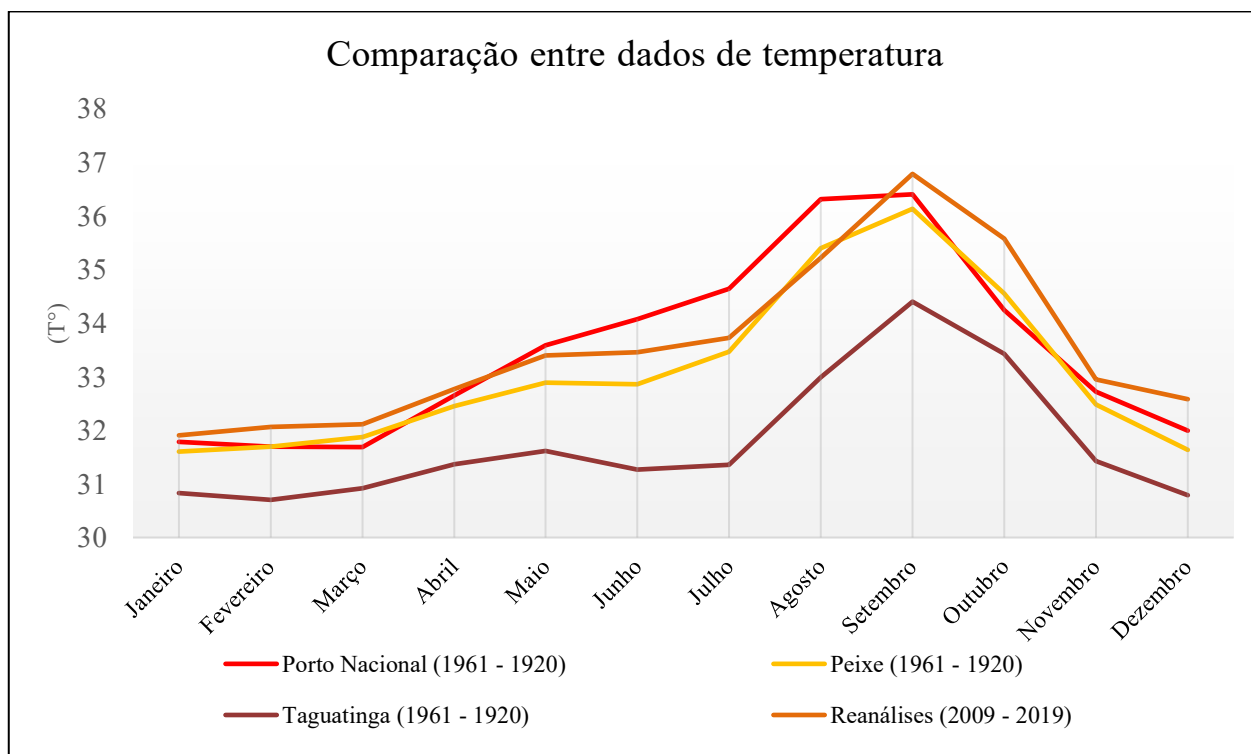


Figura 3 – Comparação da temperatura de reanálises com a estação convencional. Autores (2024).

A definição do período de análise para esta pesquisa partiu da determinação dos dados de precipitação (Figura 4). A média entre essas estações revelou dois cenários pluviométricos extremos, pois identificou que o ano de 2009 foi considerado o mais chuvoso e 2019, o ano de baixa precipitação.

Nesse sentido, foram selecionadas apenas duas estações pluviométricas: 1147001 (Natividade) e 1147003 (Porto Alegre), cada uma

foi alimentada com os dados de temperatura globais de reanálises pelo ponto mais próximo. Assim, foram realizados três cenários de balanço hídrico climatológico normal para a bacia hidrográfica do Rio Manuel Alves: um cenário considerando a média entre período de 2009 a 2019; outro cenário considerando um ano chuvoso (2009); e um cenário com o ano de pouca chuva (2019), para as estações selecionadas.

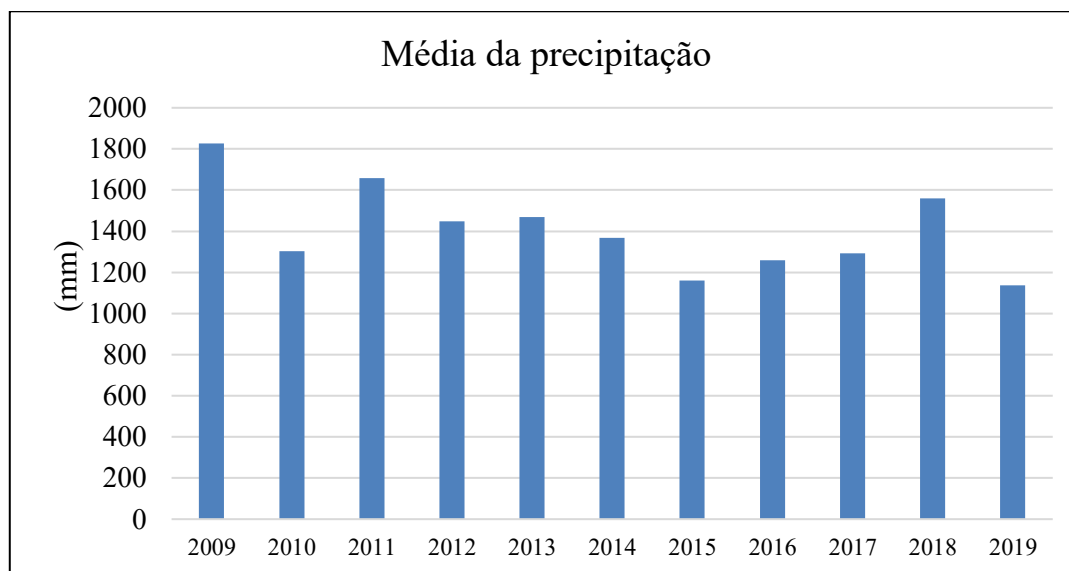


Figura 4: Precipitação na bacia hidrográfica do Rio Manuel Alves. (Autores 2024).

No balanço hídrico climatológico normal, utiliza-se a inserção de dados de precipitação total mensal e a média máxima da temperatura mensal. Para o período de 2009 a 2019, realizou-se o cálculo da média da precipitação mensal para obter uma caracterização sobre a área de estudo nesse período de 11 anos de informações climáticas para a estação de Natividade e Porto Alegre.

Para a elaboração do balanço hídrico climatológico normal, utilizou-se a planilha eletrônica de Rolim, Sentelhas, Barbieri (1998), que pode ser obtida através do site da Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo (ESALQ-USP).

Nesta planilha eletrônica é preciso a entrada de dados de precipitação e temperatura mensal, definir a latitude da área de interesse e ainda estabelecer o armazenamento máximo no solo, a capacidade de água disponível (CAD).

Definiu-se o valor da CAD com 100 mm para esse estudo, baseado em outras pesquisas de balanço hídrico climatológico aplicadas em áreas de Cerrado (Batalha; Aragaki; Mantovani, 1997;

Carvalho *et al.*, 2011; Souza *et al.*, 2013; Jesus *et al.*, 2017; Oliveira e Oliveira, 2018; Cassettari e Queiroz, 2021; Oliveira 2023).

Após a inserção destas informações, é possível analisar-se o balanço hídrico climatológico normal, através da Deficiência e Excedente Hídrico mensal, Evapotranspiração Real e Potencial, Armazenamento no solo, Retirada e Reposição hídrica, todas as informações são medidas em período mensal, pois, os dados de inserção (Precipitação e Temperatura) foram em escala mensal, para cada estação.

Resultados

A bacia hidrográfica do Rio Manuel Alves possui um grande potencial hídrico, evidenciado por diversas atividades humanas associadas aos seus sistemas hidrográficos (Figura 5). Já no seu alto curso é possível observar uma demanda de irrigação para atividades de silviculturas, desenvolvidas em áreas dos Patamares do Chapadão Ocidental Baiano (Foto A). Ainda na mesma unidade geomorfológica, encontram-se

loais que potencializam atividades turísticas, como a Lagoa da Serra (Foto B) e locais com cachoeira (Foto C). No médio curso, o rio atravessa a Depressão do Alto Tocantins, destacando áreas planas (Foto D), onde as principais atividades estão relacionadas à pecuária e à agricultura.

De modo geral, a bacia hidrográfica um importante afluente a margem direita do Rio

Tocantins, na região sudeste do estado, e o principal destaque está no projeto de irrigação Manuel Alves com diferentes culturas como banana, abacaxi, mandioca e entre outros, localizado entre Dianópolis e Porto Alegre.

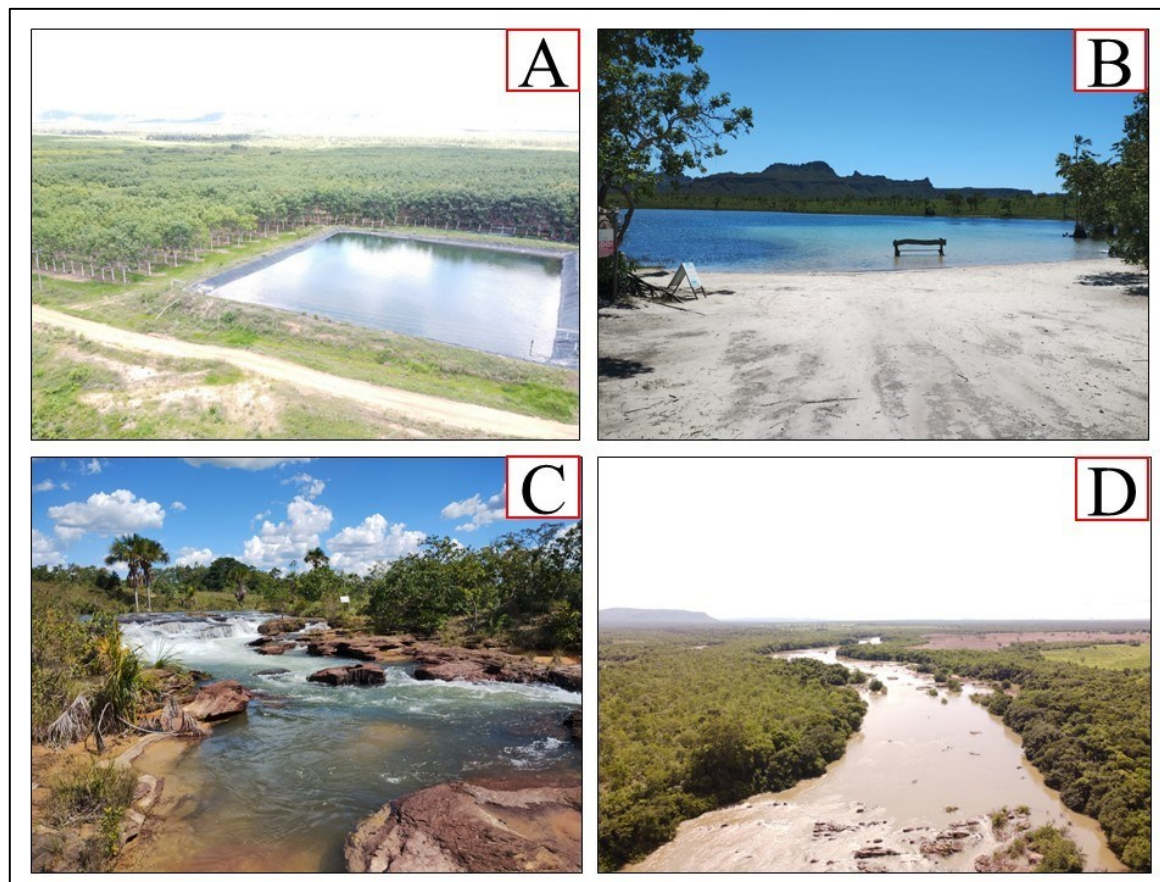


Figura 5: Característica hídrica da bacia hidrográfica do Rio Manuel Alves. Autores (2024).

Analisando os dados de temperatura e precipitação na bacia hidrográfica do Rio Manuel Alves (Figura 6), foi possível observar o

comportamento hídrico para a média anual dos 11 anos (2009 a 2019), para um cenário chuvoso (2009) e um cenário de pouca chuva (2019).

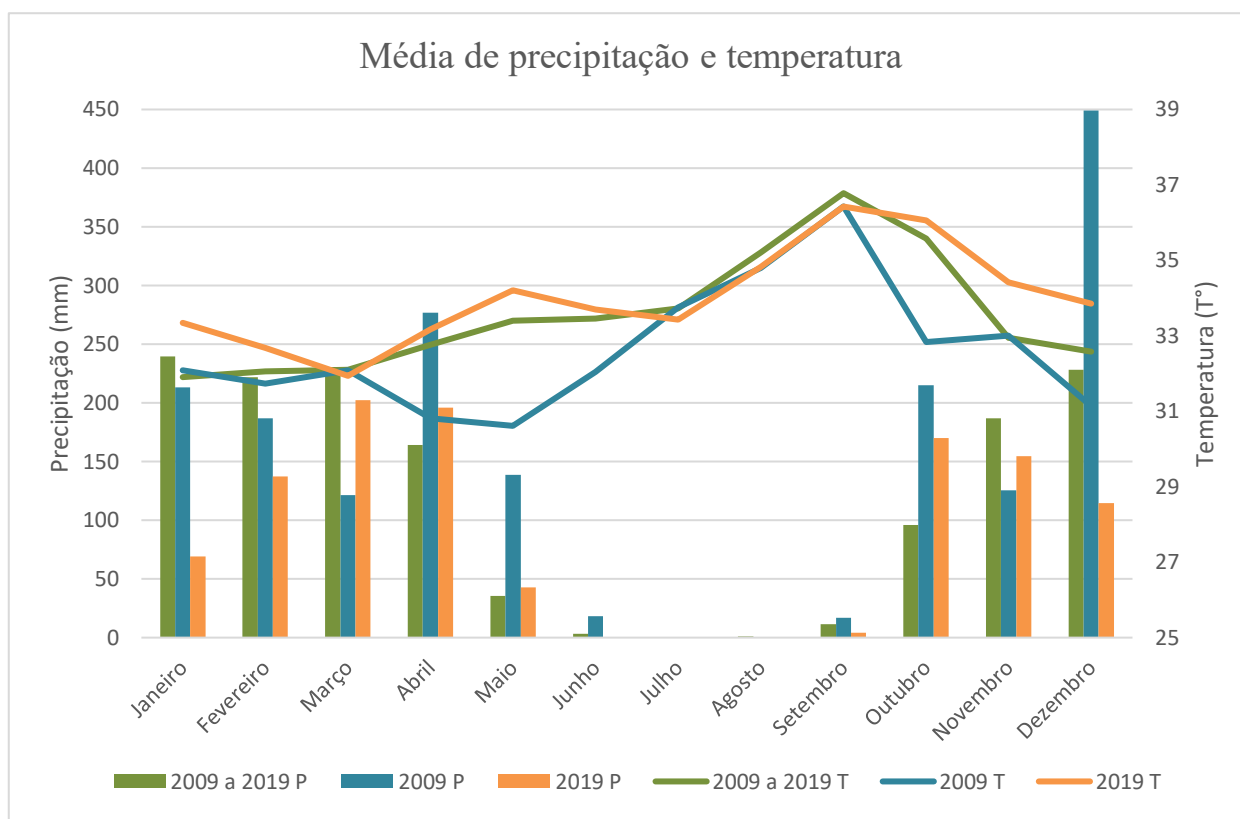


Figura 6: Precipitação e temperatura na bacia hidrográfica do Rio Manuel Alves. Autores (2024).

Ao comparar a média dos 11 anos, a precipitação anual nas estações de Natividade e Porto Alegre foi de 1.418,4 mm. Os meses mais chuvosos foram janeiro, fevereiro, março e dezembro, apresentando médias entre 200 e 250 mm.

No cenário do ano chuvoso, a precipitação alcançou 1.762,8 mm, e o maior destaque foi para dezembro, com um significativo valor de precipitação, superior a 400 mm. Já no cenário do ano de pouca chuva, a baixa precipitação teve uma média de 1.056,2 mm e os maiores valores de chuva no acumulado mensal se aproximaram dos 200 mm nos meses de março e abril.

A temperatura máxima na área estudada tem uma média de 33°. Assim, setembro foi o mês mais quente, chegando a 36°. A temperatura mais baixa foi no mês de maio, coincidindo com o ano chuvoso, onde foi registrada uma média de 30°. No geral, a temperatura média mensal na área de estudo apresenta uma variação de 30° a 36°.

Balanço Hídrico Climatológico entre os anos 2009 a 2019

Através da análise do balanço hídrico climatológico, do período de 2009 a 2019 (Figura 7), foi possível realizar uma caracterização geral sobre o comportamento anual da bacia hidrográfica do Rio Manuel Alves, onde os meses de janeiro a abril estão relacionados a um período de excedente hídrico, enquanto os meses de maio a novembro apresentam deficiência hídrica, que se acentua significativamente entre os meses de julho, agosto e setembro. O mês de dezembro é considerado como a transição entre a deficiência e excedente hídrico, a depender do volume de chuva.

Essas informações corroboram com Texeira *et al.* (2023) que apresentam o bioma Cerrado com duas estações climáticas bem definidas: chuvoso, de dezembro a abril, e seco, de julho a outubro. Os meses de maio, setembro e outubro são considerados meses de transição entre a estação seca e a chuvosa (Campos e Chaves, 2020).

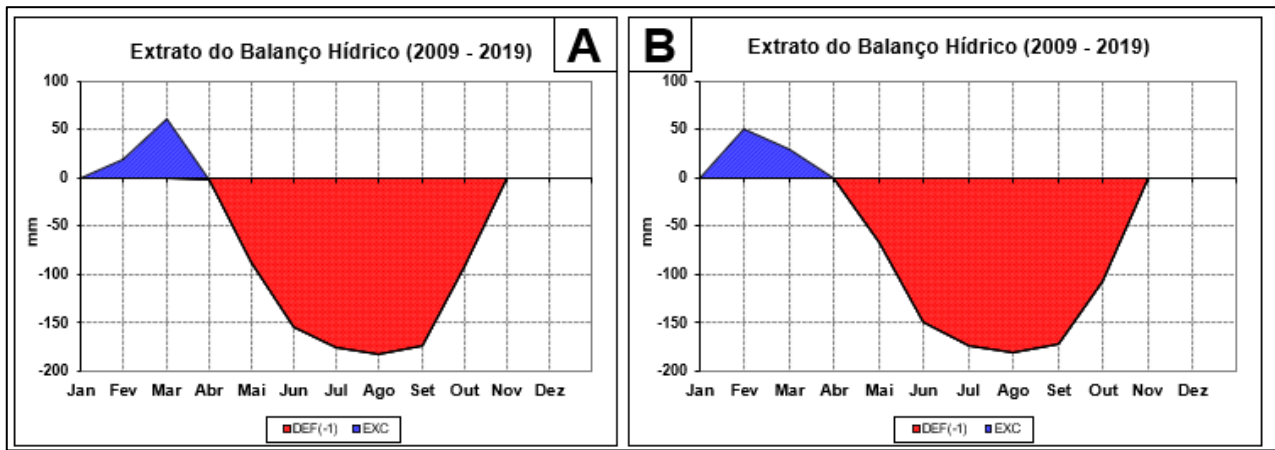


Figura 7 – Extrato do Balanço Hídrico de Natividade (A) e Porto Alegre (B). Autores (2024).

Em um cenário de mudanças climáticas, a estação chuvosa tende a contribuir para o aumento significativo do excedente hídrico no solo, enquanto a estação seca vai apresentar um aumento na intensidade da deficiência hídrica (Jesus, 2017).

Essa caracterização, é fundamental para analisar as condições hídricas da bacia hidrográfica do Rio Manuel Alves, pois a maioria do ano (oito meses) de abril a novembro está relacionado a deficiência hídrica e com os eventos climáticos cada vez mais extremo, essa situação poderá se

agravar em diferentes níveis de intensidades, conforme a característica do volume de precipitação e também da temperatura.

A aplicação do balanço hídrico climatológico na área de estudo, entre os anos de 2009 a 2019, permitiu compreender as características hídricas mensal ao longo do ano, possibilitando analisar o comportamento de variáveis como a Evapotranspiração Real e Potencial deficiência, excedente, reposição e retirada (Figura 8).

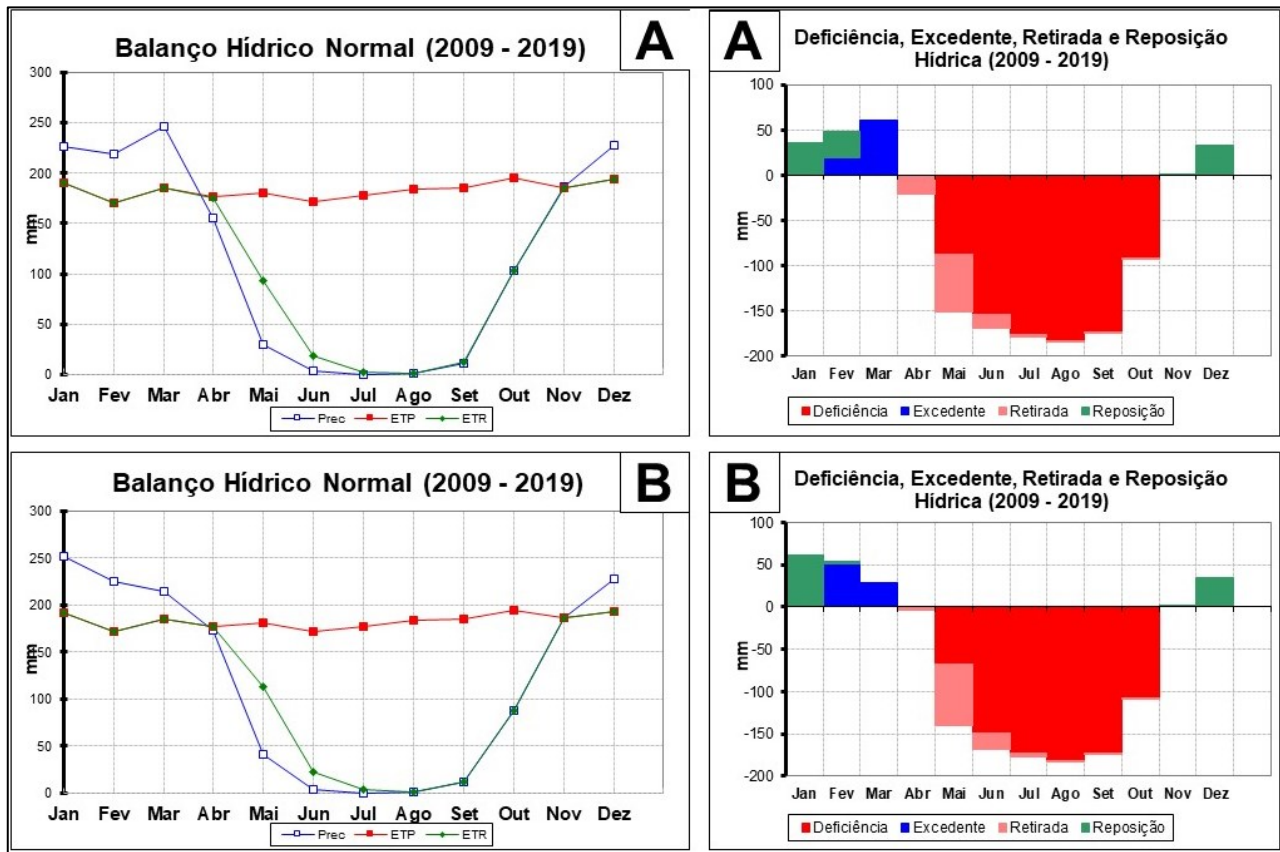


Figura 8 - Balanço hídrico climatológico Natividade (A) e Porto alegre (B). Autores (2024)

Os meses com maiores precipitações são os meses de janeiro a abril, com baixa precipitação registrada em maio pelo fato de ser um mês de transição. Entre os meses de junho a setembro, é o período de estiagem e, a partir de outubro, inicia-se novamente o período de chuva.

A evapotranspiração real (ET_r) constitui-se na perda de água de uma superfície natural, em qualquer condição de umidade e de cobertura vegetal (Camargo e Camargo, 2000).

Com base no gráfico, é possível destacar que os maiores valores de ET_r acontecem entre os meses de janeiro a abril e de novembro a dezembro. Essa variação é condicionada pelo período de chuva durante o ano na área de estudo. A baixa evapotranspiração real ocorre entre os meses de maio a outubro, sendo que julho e agosto são os mais extremos, condicionada pela falta de chuva.

A evapotranspiração potencial (ET_p) representa a chuva necessária para atender às carências de água da vegetação (Camargo e Camargo, 2000). Portanto, observa-se que a evapotranspiração potencial apresenta uma variação entre 170 a 194 mm, sendo mais acentuada no mês de outubro, devido ao fim do longo período de estiagem na área de estudo, pois um fator que condiciona os altos valores de ET_p é a falta de precipitação. Ainda, o balanço hídrico estimou que a evapotranspiração potencial no período de 2009 a 2019, apresentou uma média de aproximadamente a 180 mm mensais.

Quando a evapotranspiração potencial é superior à precipitação pluviométrica e à ET_r,

resulta-se no déficit hídrico no solo, havendo a necessidade de irrigação para evitar redução no crescimento e produtividade das culturas (Oliveira e Oliveira, 2018; Matos *et al.*, 2020).

Os meses de abril a outubro se caracterizam pela deficiência e redução dos recursos hídricos, principalmente em julho, agosto e setembro, como extremos. Apenas 5 meses do ano estão relacionados à reposição, com destaque para fevereiro e março, onde possibilita a ocorrência do excedente.

Balanço Hídrico Climatológico em cenário chuvoso

De modo geral, a análise do período de 2009 a 2019 permitiu caracterizar, a partir do balanço hídrico, a diferença climática mensal enfrentada pela bacia hidrográfica. Essa condição pode ser afetada conforme a ocorrência de cenários extremos, como o ano chuvoso (2009) e o ano de pouca chuva (2019).

O ano de 2009 na bacia hidrográfica do Rio Manuel Alves é caracterizado pelo alto valor de precipitação anual. Nos meses chuvosos, choveu mais do que 100 mm por mês. Em dezembro, choveu mais do que 400 mm, o que fez o ano ser o mais chuvoso. Essas informações podem ser conferidas nos dados das duas estações pluviométricas de Natividade e Porto Alegre (Figura 9).

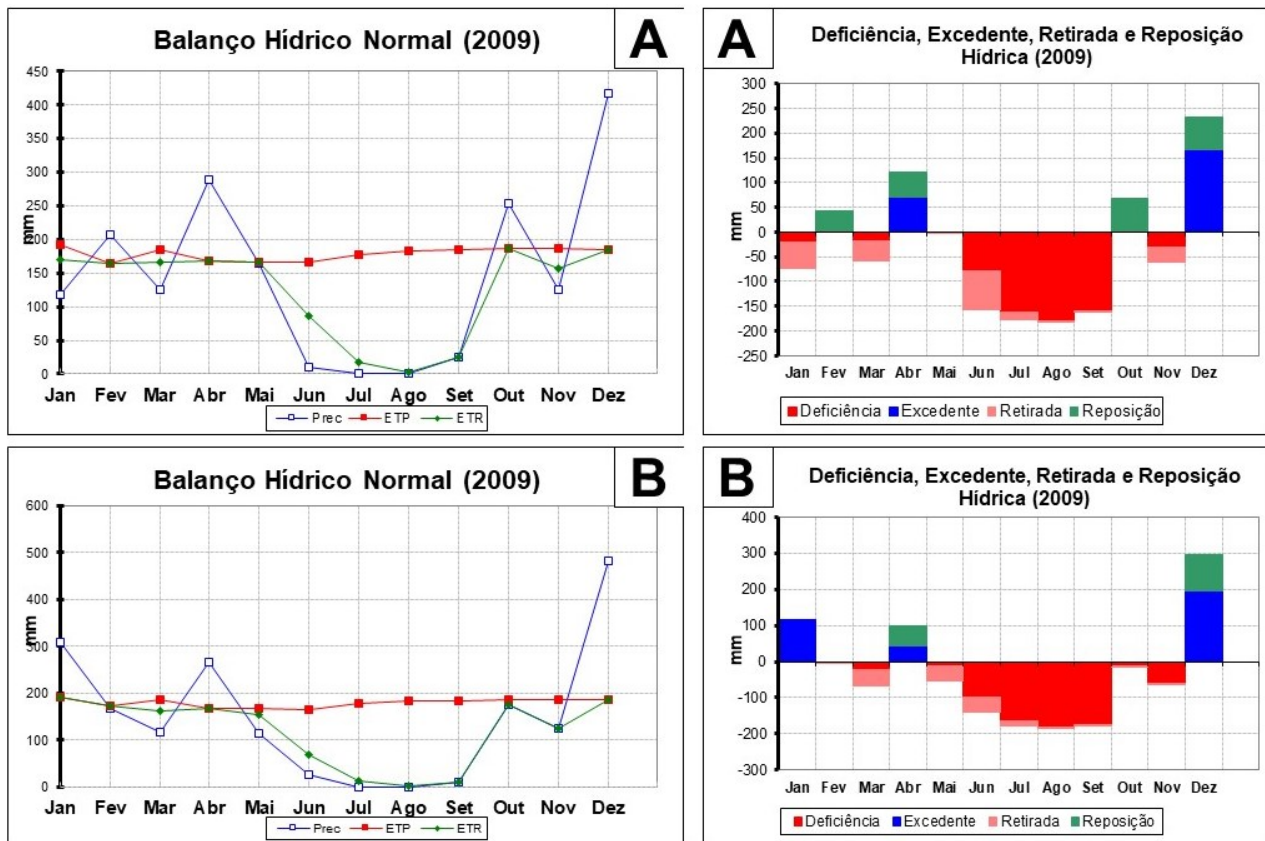


Figura 9 – Balanço hídrico climatológico de 2009, Natividade (A) e Porto Alegre (B). Autores (2024)

A evapotranspiração real em um ano considerado chuvoso na área de estudo apresentou valores de 150 a 200 mm nos meses de janeiro a maio e de outubro a dezembro. No período de estiagem, a evapotranspiração real baixa devido à falta de chuva e pode chegar a um registro de 3 mm, como identificado nos gráficos.

A evapotranspiração potencial, em uma comparação geral, é possível observar uma variação entre as de 160 a 200 mm ao longo do ano. Nos meses em que a precipitação foi superior a 150 mm, condicionou-se que a evapotranspiração real alcançou a evapotranspiração potencial, com destaque para os meses de abril, outubro e dezembro em ambas as estações pluviométricas.

Apesar de 2009 ser um ano chuvoso, é possível destacar que foi um período com muitas variações entre os meses e com pequenas divergências nas estações pluviométricas. Quando analisamos o gráfico de deficiência, excedente, retirada e reposição hídrica, observa-se que apenas os meses de abril e dezembro apresentaram excedente hídrico na estação de Natividade, enquanto na estação de Porto Alegre acrescenta-se o mês de janeiro, atrelado ao alto volume de precipitação registrado no acumulado mensal.

O período de retirada e deficiência hídrica foi apresentado em oito meses, variando entre as estações. Na estação de Natividade, os meses de janeiro, março e novembro e, também, no período de maio a setembro tiveram retirada e deficiência, enquanto a estação de Porto Alegre marcou o mês de março e o período de maio a novembro. Essas informações mostram que, apesar de ser considerado um ano chuvoso, existem alguns meses do período normal de chuva que tiveram precipitação baixa, e consequentemente contribuíram para tal irregularidade no ano.

Balanço Hídrico Climatológico em um cenário de pouca chuva

O ano de 2019 é marcado pela baixa precipitação no acumulado anual (Figura 10). Esse balanço hídrico climatológico na bacia hidrográfica do Rio Manuel Alves é caracterizado por chuvas que variam nos meses chuvosos de 30 a 250 mm, e apenas os meses de março e abril, como os mais chuvosos, havendo ainda uma diferença entre as estações pluviométricas de Natividade e Porto Alegre.

Na estação de Natividade, a evapotranspiração real, no ano de 2019, apresentou

variações importantes, condicionadas pela própria característica das precipitações, onde os maiores valores foram nos meses de outubro a novembro, com aproximadamente 191 mm.

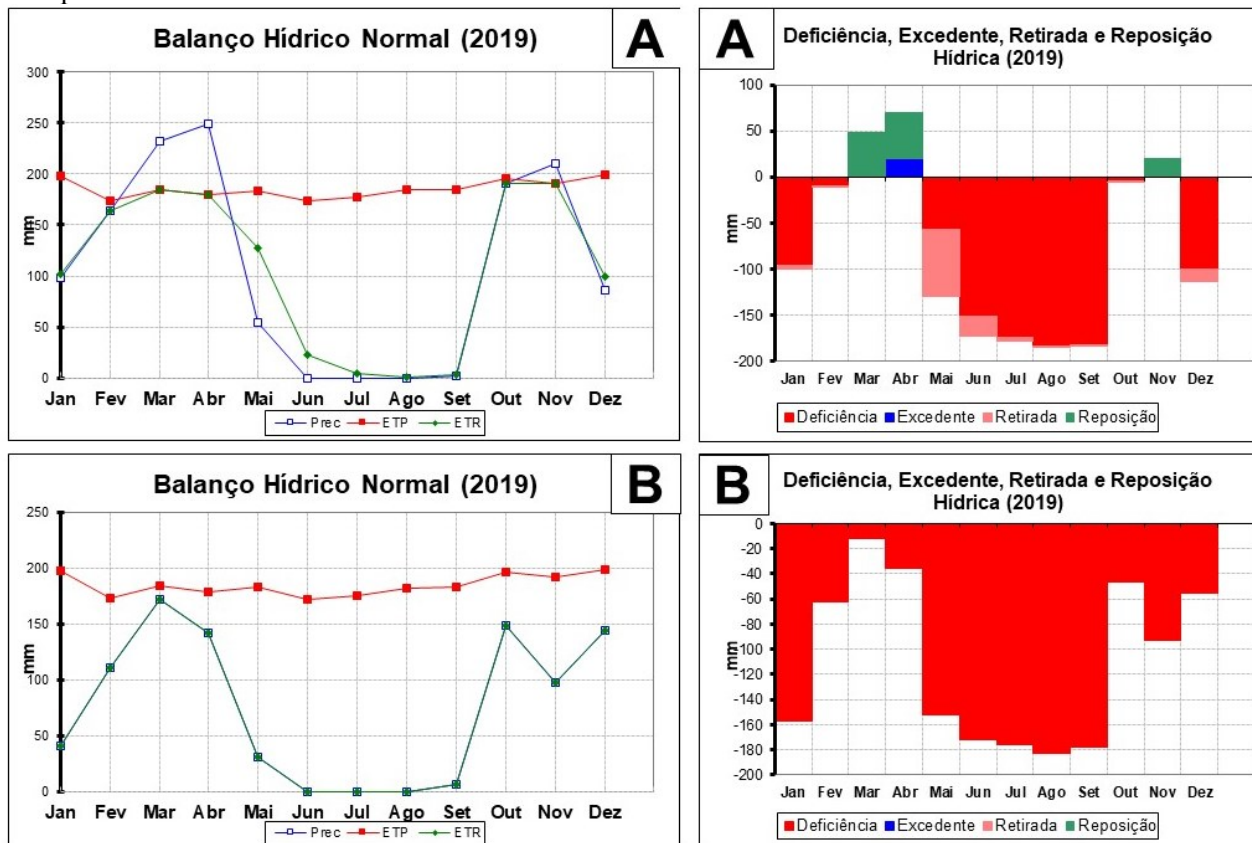


Figura 10 – Balanço hídrico climatológico em 2019, Natividade (A) e Porto Alegre (B). Autores (2024)

Destacam-se ainda os meses de janeiro e dezembro com baixa ETr de aproximadamente a 100 mm. A evapotranspiração potencial apresentou uma variação de 173 a 199 mm, sendo mais extrema em janeiro e dezembro, onde a precipitação nestes meses foi considerada baixa.

Na estação de Porto Alegre, a evapotranspiração real acompanhou os valores de precipitação, não ultrapassando os 130 mm. Essa situação, neste posto pluviométrico, indicou para um balanço hídrico com apenas retirada e deficiência hídrica, pois a precipitação não foi superior à evapotranspiração real.

Ainda sobre a deficiência, excedente, retirada e reposição, apenas a estação de Natividade apresentou reposição em março, abril e novembro, e com um pequeno excedente hídrico no mês de abril.

Discussão

Analisar o balanço hídrico climatológico na bacia hidrográfica do Rio Manuel Alves, a partir de uma série de 11 anos (2009 a 2019), com destaque para os cenários pluviométricos extremos, possibilitou observações importantes sobre a característica e o comportamento hídrico da área de estudo.

De modo geral, o balanço hídrico climatológico com análise dos cenários pluviométricos extremos identificou que mesmo em condição de um ano chuvoso a quantidade de meses com deficiência hídrica são praticamente a mesma, tendo apenas variação entre os valores de precipitação em comparação com a média mensal. Desse modo, o déficit hídrico teve um destaque importante em todos os cenários, principalmente no ano de 2019. Souza *et al.* (2014) consideram a deficiência hídrica como o resultado (negativo) do balanço hídrico no qual o total de água que entra no sistema via precipitação é menor que a quantidade total de água perdida pela evaporação e pela

transpiração por meio das plantas. Este período pode ser caracterizado pelo uso dos sistemas de irrigação, ou pelo menos no aumento desse sistema (Santos; Hernandez; Rossetti, 2010).

Ao considerar o cenário de pouca chuva, a deficiência hídrica se aproxima dos 180 mm, enquanto no cenário chuvoso esse valor foi de 160 mm, ou seja, uma redução de aproximadamente 12%, indicando que esse período (julho-setembro) é o mais sensível em termos de temperatura e deficiência hídrica.

As informações referentes à temperatura apontam que os meses de julho, agosto e setembro são os mais quentes do ano e apresentam deficiência hídrica elevada em todos os cenários. Essa informação corrobora com a discussão apresentada por Rocha e Nascimento (2021) em que os meses de agosto, setembro e outubro apresentam incidência de queimadas no Cerrado. Segundo Bernardinho e Ribeiro (2023), áreas susceptíveis a queimadas ocasionam maior exposição do solo a processos erosivos e, consequentemente, um maior aporte de sedimentos aos rios, que se tornam mais largos e rasos, perdendo vazão e volume de água. Ou seja, influencia na dinâmica natural das bacias hidrográficas.

Vieira *et al.*, (2024) trabalhando com índices de precipitação e temperatura do ar no município de Campo Verde, também observaram que o déficit hídrico ocorre nos meses de junho, julho, agosto e setembro, dessa forma há a necessidade de suplementação de água para o cultivo das culturas e hidratação de animais da pecuária.

A irrigação é uma atividade que já acontece e a intensificação da deficiência hídrica poderá comprometer a qualidade e quantidade de água disponível. Oliveira e Assunção (2013) verificaram que a maior demanda pelo uso da água na bacia hidrográfica do Córrego Lajeado é na agricultura irrigada. Essa prática influencia em conflitos como aumento da área irrigada, ou uso indiscriminado na quantidade irrigada.

Na bacia hidrográfica do Rio Manuel Alves, devido ao seu potencial hídrico, a irrigação e uso dos recursos hídricos é uma prática que acontece com frequência. Em um estudo técnico realizado pelo Instituto Natureza do Tocantins (NATURATINS, 2024), essa bacia tem 544 usuários de recursos hídricos regularizados. Destes, 53% são outorgados e 47% são considerados insignificantes. Em uma análise sobre

a vazão média captada por meses, o órgão ambientalista identificou que, entre os meses de maio a setembro, os valores de captação variam entre 3.673,58 m³/mês a 3.909,55 m³/mês. 80% dessas captações são superficiais e 20% subterrâneas.

Essas captações reforçam a importância hídrica da bacia, que em períodos de estiagem prolongada e intensa pode suprir o abastecimento para algumas atividades. Pereira *et al.* (2023) apontam que os meses de janeiro a abril apresentam menores riscos de abastecimento de água no estado, devido à capacidade de disponibilidade hídrica.

A disponibilidade hídrica tem uma contribuição direta com o excedente hídrico. Segundo Souza *et al.* (2014), esta variável representa o resultado (positivo) do balanço hídrico, no qual o total de água que entra no sistema via precipitação é maior que a quantidade total de água perdida pela evaporação e pela transpiração das plantas.

Silva Neto *et al.* (2020) destacam na sua pesquisa que os meses com maiores índices de precipitação para a bacia hidrográfica do Rio Manuel Alves são os mesmos para todo o Estado, entre dezembro e março, cuja lâmina acumulada atingiu mais de 1.005 mm.

No cenário do ano chuvoso da bacia hidrográfica do Rio Manuel Alves, a média de precipitação anual nas duas estações pluviométricas alcançou aproximadamente 1.762,8mm. No mês de dezembro, foi registrada aproximadamente uma média de 450mm, esse acumulado representa 25% da chuva no ano de 2019, ocasionando um significativo excedente hídrico superior a 160mm.

O excedente hídrico pode gerar o excesso de água no solo “encharcado”, contribuindo na redução do crescimento e desenvolvimento das raízes (Santos; Hernandez; Rossetti, 2010). Ainda, pode influenciar no potencial erosivo das chuvas, que na área de estudo alcançou 68,4% do total anual, indicando que entre dezembro e março, concentra-se o período crítico de impacto erosivo das chuvas (Silva Neto *et al.*, 2020).

Neste sentido, potencializa o excedente hídrico que acontece na estação chuvosa quando é suprida a necessidade de água na agricultura. Com base nos dados da média anual de 11 anos, os meses que mais favorecem a essa condição são fevereiro e março. Ao analisar os cenários extremos, essa condição pode variar, onde no ano chuvoso pode

ocorrer em janeiro, abril e dezembro e no ano de pouca chuva essa condição é muito afetada. Entretanto, devido à irregularidade das chuvas, existem alguns períodos de estiagem denominados de veranicos, que podem causar alguns transtornos aos diferentes tipos de produção (Lima e Costa, 2022). Esses veranicos podem contribuir para a deficiência hídrica em meses que normalmente deveriam apresentar um excedente hídrico, como os meses de janeiro e março na estação de natividade, no ano de 2009.

Neste sentido, destaca-se que as mudanças climáticas e a intensificação dos eventos extremos, tanto chuvoso quanto de pouca chuva, podem ocorrer com mais frequência e proporcionar diferentes prejuízos socioeconômicos. Pois, as alterações climáticas modificam os padrões de temperatura e precipitação, impactando os processos hidrológicos e, por consequência, interferindo no desenvolvimento da sociedade e na manutenção dos ecossistemas (Galvêncio, 2019). Pois, a gestão de uma bacia hidrográfica compreende o entendimento de suas características e padrões, que podem ser obtidos através do balanço hídrico (Soares, *et al.*, 2024).

Conclusão

O balanço hídrico climatológico, com a inserção de dados de estações pluviométricas e com dados de reanálises, é uma ferramenta importante na gestão dos recursos hídricos, oferecendo uma caracterização geral de um período específico.

Destaca-se que o balanço hídrico climatológico, observado na bacia hidrográfica do Rio Manuel Alves, identificou que os cenários pluviométricos extremos influenciam a disponibilidade hídrica da água no solo ou o próprio excedente, afetando a qualidade hídrica local.

De modo geral, os resultados obtidos podem ser usados na tomada de decisão, por parte de gestores ambientais e planejadores em geral, para uma melhor gestão de bacias hidrográficas.

Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001 e ao Conselho

Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

Referências

- ANA, Agência Nacional de Águas. 2024. Hidroweb: Sistema de Informações Hidrológicas. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/>. Acesso em: 02 jul. 2024
- Andrade, N. L. R.; Xavier, F. V.; alves, É. C. R. F.; Silveira, A.; Oliveira, C. U. R. 2008. Caracterização morfométrica e pluviométrica da bacia do Rio Manso–MT. *Geosciences*, v. 27(2), p. 237-248.
- Batalha, M. A.; Aragaki, S.; Mantovani, W. Variações fenológicas das espécies do cerrado em Emas - Pirassununga, SP. 1997. *Acta Botanica Brasilica*, v. 11, p. 61-78. <https://doi.org/10.1590/S0102-33061997000100007>
- Bernardino, T. E. S.; Ribeiro, H. J. 2023. Análise multitemporal do uso e cobertura do solo, lâmina d'água e frequência de fogo da região hidrográfica do Tocantins-Araguaia. *Revista Eletrônica de Engenharia Civil*, v. 19, n 03, p. 252-267. <https://doi.org/10.5216/reec.v19i1.75082>
- Brito, T. R. C.; Lima, J. R. S.; Oliveira, C. L.; Souza, R. M. S.; Antonino, A. C. D.; Medeiros, E. V.; Souza, E. S.; Alves, E. M. 2020. Mudanças no Uso da Terra e Efeito nos Componentes do Balanço Hídrico no Agreste Pernambucano. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 13, n. 02, p. 870-886. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.2.p870-886>
- Camargo, A. P.; Camargo, M. B. P. 2000. Uma revisão analítica da evapotranspiração potencial. *Bragantia*, v. 59, p. 125-137. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052000000200002>
- Campos, G. M.; Santos, G. O.; Alievi, L. A.; Cantão, V. C. G. 2024. Mudanças climáticas e seus efeitos sobre a água no solo no cultivo de soja e milho em sucessão no cerrado. *Observatório de la economía Latinoamericana*, v. 22 (5), e4833. <https://doi.org/10.55905/oelv22n5-152>
- Campos, J. O.; Chaves, H. M. L. 2020. Tendências e Variabilidades nas Séries Históricas de Precipitação Mensal e Anual no Bioma Cerrado no Período 1977-2010. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 35, n. 1, p. 157-169. <https://doi.org/10.1590/0102-7786351019>

- Carvalho, H. P.; Dourado Neto, D.; Teodoro, R. E. F.; Melo, B. 2011. Balanço hídrico climatológico, armazenamento efetivo da água no solo e transpiração na cultura de café. *Revista de Biociências*, v. 27, p. 221-229.
- Cassettari, G. A.; Queiroz, T. M. 2021. Balanço hídrico e classificação climática na bacia do Rio Jauquara, região de transição entre o Cerrado e Amazônia Brasileira. *Revista Brasileira De Climatologia*, 26. <https://doi.org/10.5380/abclima.v26i0.59513>
- ESALQ-USP. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz da Universidade de São Paulo Disponível em: https://www.esalq.usp.br/departamentos/leb/aulas/lce630_ANTIGA_SENTELHAS/. Acesso em: 27 de agosto de 2024.
- Fenner, W.; Moreira, P. S. P.; Ferreira, F. S.; Dallacort, R.; Queiroz, T. M.; Bento, T. S. 2014. Análise do balanço hídrico mensal para regiões de transição de cerrado-floresta e pantanal, estado de Mato Grosso. *Acta Iguazu*, v. 3, n. 1, p.72–85. <https://doi.org/10.48075/actaiguaz.v3i1.9649>
- Galvêncio, J. D. 2019. Estimativa da temperatura da superfície com imagens obtidas com drones. *Journal of Hyperspectral Remote Sensing*, 9, 397-406. <https://doi.org/10.29150/jhrs.v9.6.p397-406>
- INMET, Instituto Nacional de Meteorologia 2024. *Dados meteorológicos*. Disponível em: <https://www.inmet.gov.br/portal/>. Acesso em: 02 jul. 2024.
- Jesus, T. C. L.; Senna, M. C. A.; Cataldi, M.; Paiva, C. M.; Franz, B. 2017. Impacto do aumento da concentração atmosférica de CO2 no balanço hídrico climatológico do cerrado. *Revista Brasileira De Climatologia*, v. 21, <https://doi.org/10.5380/abclima.v21i0.46432>
- Lima, V. A. M.; Costa, R. 2022. CLIMA E Agricultura: um estudo das chuvas e a produção de soja em Capinópolis-MG. *Revista de Geografia*, v. 12, n. 2, p. 239-259. <https://doi.org/10.34019/2236-837X.2022.v12.39207>
- Luz, G. G.; Galvêncio, J. D. 2023. Dinâmica do Uso do Solo, Balanço hídrico e NDVI no município de Floresta Pernambuco, Brasil. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.16, n.05 p. 2898-2909. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v16.5.p2898-2909>
- Matos, R. M.; Silva, P. F.; Medeiros, R. M.; Santos, B. D. B.; Barros, A. S.; Dantas Neto, J.; Saboya, L. M. F. 2020. Balanço hídrico climatológico normal e sequencial para o município de Barbalha - CE. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v.13, n.3, 973-982. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.3.p973-982>
- Micalichen, M. L. M. M.; Dias, N. L. C. 2018. Análise comparativa da velocidade do vento e da temperatura do ar, entre dados gerados por reanálises meteorológicas e dados observacionais na região de Minas Gerais. *Ciência e Natura*, v.40, Edição Especial: X Workshop Brasileiro de Micrometeorologia, 20-25. <https://doi.org/10.5902/2179460X30467>
- Moreira, A. A.; Ruhoff, A. L.; Roberti, D. R.; Souza, V. A.; Rocha, H. R.; Paiva, R. C. D. 2019. Assesment of terrestrial water balance using remote sensing data in South America. *Journal of Hydrology*, v. 575, p.131 – 147. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.05.021>
- NATURATINS, Instituto Natureza do Tocantins. 2024. Perfil dos usuários de recursos hídricos do estado do Tocantins. (estudo técnico), p.35. disponível em: <https://www.to.gov.br/naturatins/estudo-do-perfil-de-usuarios-de-agua/5d54tubd6vtl>. Acesso em: 14 de outubro de 2024.
- Oliveira, J. A. M. 2023. Estimativa do balanço hídrico climatológico e classificação climática para o município de Carbonita-MG. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 16, p. 755-764. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v16.2.p755-764>
- Oliveira, J. A. M. 2024. Estimativa do balanço hídrico climatológico e classificação climática para Bom Despacho - MG. *Journal of Environmental Analysis and Progress*, v. 9, n. 2, p. 079-087. <https://doi.org/10.24221/jeap.9.2.2024.5430.079-087>
- Oliveira, D. A.; Assunção, W. L. 2013. O uso da água e do solo da bacia hidrográfica do Córrego Lajeado, Araguari - MG. *Caminhos de Geografia*, v. 14, n. 46 jun. p. 204-219. <https://doi.org/10.14393/RCG144619584>
- Oliveira, J. A. M.; Oliveira, C. M. M. 2018. balanço hídrico climatológico e classificação climática para o município de Arinos - MG. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, v. 12, nº. 6, p. 3021 – 3027. <https://doi.org/10.7127/rbai.v12n600901>

- Pereira, R. B.; Morais, W. A.; Teixeira, M. B.; Soares, F. A. L.; Costa, B. E. L.; Angelini, L. P. 2023. balanço hídrico climatológico do estado do Tocantins como subsídio para irrigação em assentamentos do Incra. IRRIGA, v. 28, n. 3, p. 574-579.
<https://doi.org/10.15809/irriga.2023v28n3p574-579>
- Pinto, L. I. C.; Costa, M. H.; Lima, F. Z. D.; Diniz, L. M. F.; Sedyama, G. C.; Pruski, F. F. 2009. Comparação de produtos de precipitação para a América do Sul. Revista Brasileira de Meteorologia, 24, 461-472,
<https://doi.org/10.1590/S0102-77862009000400008>
- Ribeiro, L. S.; Robaina, L. E. S.; Cristo, S. S. V.; Silva, M. L. B. 2022. As transformações de uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do Ribeirão Lajeado e a sobreposição de Unidades de Conservação da Natureza – Tocantins – Brasil. Revista Interface, n. 23, jun. p. 40 – 57.
- Rocha, I. S.; Nascimento, D. T. F. 2021. Distribuição espaço-temporal das queimadas no bioma Cerrado (1999/2018) e sua ocorrência conforme os diferentes tipos de cobertura e uso do solo. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 14, n. 03, p. 1220-1235.
<https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.3.p1220-1235>
- Rolim, G. S.; Sentelhas, P. C.; Barbieri, V. 1998. Planilhas no ambiente Excel para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de culturas e produtividade real e potencial. Revista Brasileira de Agrometeorologia. v.6, n.1, p.133-137.
- Saldanha, C. B.; Radin, B.; Cardoso, M. A. G.; Rippel, M. L.; Fonseca, L. L. D.; Rodriguez, F. 2015. Comparação dos dados de precipitação gerados pelo GPCP vs observados para o estado do Rio Grande do Sul. Revista Brasileira de Meteorologia, 30, 415-422.
<https://doi.org/10.1590/0102-778620140139>
- Santos, G. O.; Hernandez, F. B. T.; Rossetti, J. C. 2010. Balanço hídrico como ferramenta ao planejamento agropecuário para a região de Marinópolis, noroeste do estado de São Paulo. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada, v. 4, nº. 3, p.142-149.
<https://doi.org/10.7127/rbai.v4n300010>
- Silva Neto, V. L.; Batista, E. D.; Leal Junior, W. B.; Fabris, Z. V.; Rodrigues, P. J. A. W. 2020. Distribuição espacial da erosividade das chuvas na bacia do Rio Manuel alves da Natividade, Tocantins. Sociedade e Natureza, v.32, p.161-175.
<https://doi.org/10.14393/SN-v32-2020-46182>
- Soares, G. A. S.; Bandim, C. G. A.; Silveira, N. T.; Barros, J. P. F. G.; Silva, J. N. B.; Galvêncio, J. D. 2024. Análise do balanço hídrico da bacia hidrográfica do Riacho Cachoeira, Serra Talhada (Pernambuco). Revista Brasileira de Sensoriamento Remoto, v.5, n.2. 018-030.
- Souza, A. P.; Mota, L. L.; Zamadei, T.; Martim, C. C.; Almeida, F. T.; Paulino, J. 2013. Classificação climática e balanço hídrico climatológico no estado de Mato Grosso. Nativa, 1, 34-43.
<https://doi.org/10.14583/2318-7670.v01n01a07>
- Souza, J. L. M.; Gomes, S. 2008. Limites na utilização de um modelo de balanço hídrico decendial em função da capacidade de água disponível no solo. Acta Scientiarum. Agronomy, Maringá, v. 30, n. 2, p. 153-163.
<https://doi.org/10.4025/actasciagron.v30i2.1721>
- Souza, J. L. M.; Jerszurki, D.; Schafer, R.; Gurski, B. C.; Schafer, H. 2017. Balanço hídrico climatológico: precipitação e evapotranspiração de referência estimados com metodologia alternativa. Revista Brasileira de Climatologia, v. 20, p. 284 - 298.
<https://doi.org/10.5380/abclima.v20i0.45385>
- Souza, R. M. S.; Souza, E. S.; Antonino, A. C. D.; Lima, J. R. S. 2015. Balanço hídrico em área de pastagem no semiárido pernambucano. Revista Brasileira Engenharia Agrícola Ambiental, v. 19, n. 5, p.449-455.
<https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v19n5p449-455>
- Souza, S. O.; Correia, W. S. C.; Fileti, R. B.; Vale, C. C. 2014. Balanço hídrico da bacia hidrográfica do Rio Caravelas (BA) como subsídio ao planejamento agrícola. Revista Brasileira de Geografia Física, 7 (1), 83-92.
<https://doi.org/10.5935/1984-2295.20140003>
- Teixeira, M. B.; Soares, F. A. L.; Morais, W. A.; Pereira, R. B.; Costa, B. E. L.; Oliveira, G. A. 2023. Climatological water balance and management of water resources in the cerrado biome as a subsidy for irrigation in incra settlements. IRRIGA, Botucatu, v. 28, n. 3, p. 545-553, julho-setembro.
<https://doi.org/10.15809/irriga.2023v28n3p545-553>

- Thornthwaite, C. W.; Mather, J. R. 1955. The Water Balance. Laboratory of Climatology, Centerton: New Jersey, United States. 104p.
- Trentin, R; Laurent, F; Robaina, L. E. S. 2023. O impacto do uso da terra sobre o balanço hídrico na bacia hidrográfica do rio Santa Maria - oeste do Rio Grande do Sul - Brasil. Para Onde!?, v. 17, n. 1. <https://doi.org/10.22456/1982-0003.129906>
- Vieira, R. N.; Novais, J. W. Z.; Pereira, O. A.; Dalmagro, H. J. 2024. Análise da Variabilidade Climática na Cidade de Campo Verde, Mato Grosso. Uniciencias, v.28, n.1. <https://doi.org/10.17921/1415-5141.2024v28n1p02-05>
- Villa, B.; Petry, M. T.; Martins, J. D.; Melo, G. L.; Tokura, L. K.; Moura, M. B.; Tonetto, F.; Gonçalves, A. F. 2024. Balanço hídrico do solo e a necessidade de irrigação do milho em diferentes regiões do Rio Grande do Sul. Revista Brasileira de Climatologia, v. 34, n. 20, p. 405-431. <https://doi.org/10.55761/abclima.v34i20.17653>
- W3S-Water. Plataforma de Monitoramento de Recursos Hídricos. 2024. Disponível em: <https://www.w3s-water.com>. Acesso em: 02 jul. 2024