



ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DO BALANÇO HÍDRICO CLIMATOLÓGICO NO ESTADO DE GOIÁS PARA O PLANEJAMENTO DA IRRIGAÇÃO

SPATIOTEMPORAL ANALYSIS OF THE CLIMATOLOGICAL WATER BALANCE IN THE STATE OF GOIÁS FOR IRRIGATION PLANNING

DOI: 10.5281/zenodo.22177083



Rauanny Bezerra Pereira¹

Marconi Batista Teixeira²

Wilker Alves Moraes³

Laenor Henrique Tenório Dantas Brandão⁴

Luiz Antonio Mota⁵

Frederico Antonio Loureiro Soares⁶

Isabella Leão Ribeiro⁷

Lucas Peres Angelini⁸

1 Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. E-mail: rauannypereira@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-6334-8009>.

2 Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. E-mail: marconi.teixeira@ifgoiano.edu.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0152-256X>.

3 Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. E-mail: wilker.morais@ifgoiano.edu.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2336-6518>.

4 Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. E-mail: laenor.henrique@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-4104-2760>.

5 Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. E-mail: drmota027@gmail.com. ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-2065-5717>.

6 Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. E-mail: frederico.soares@ifgoiano.edu.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4152-5087>.

7 Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. E-mail: isabella.leao@estudante.ifgoiano.edu.br. ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-5509-6465>.

8 Instituto Federal Goiano – Campus Rio Verde. E-mail: lucas.angelini@ifgoiano.edu.br. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8943-7281>.

Revista *OWL Journal*, Campina Grande - PB, v. 4 n. 8 (2026) - ISSN 2965-2634

A Revista *OWL Journal* está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição (CC BY)





RESUMO

A disponibilidade de água ao longo do ano constitui um dos principais fatores condicionantes do planejamento agrícola e do uso da irrigação, especialmente em regiões com acentuada sazonalidade das chuvas. Nesse contexto, o balanço hídrico climatológico permite identificar períodos de armazenamento, deficiência e excedente hídrico, contribuindo para a gestão dos recursos hídricos. Diante disso, objetivou-se analisar a variabilidade espaço-temporal do balanço hídrico climatológico no estado de Goiás, com ênfase na identificação dos períodos de armazenamento, deficiência e excedente hídrico, visando fornecer subsídios ao planejamento da irrigação. Para a análise espacial, foram utilizados dados mensais de precipitação pluvial e evapotranspiração de referência da base TerraClimate, referentes ao período de 2011 a 2020, processados no ambiente R com o pacote cropDemand, adotando-se capacidade de água disponível no solo de 100 mm. Também foi calculado o balanço hídrico climatológico médio mensal pelo método de Thornthwaite e Mather, utilizando dados de temperatura média do ar e precipitação pluvial e a planilha BHnorm v. 6.1. Os resultados evidenciaram elevada sazonalidade hídrica no estado, com armazenamento do solo próximo de 100% da capacidade de água disponível entre dezembro e março, redução progressiva a partir de abril e menores níveis entre julho e outubro. A precipitação anual média foi de 1.403,9 mm, enquanto a evapotranspiração potencial totalizou 1.666,0 mm. A deficiência hídrica acumulada foi de 688,0 mm, concentrada entre maio e outubro, com maior valor em agosto, de 174,0 mm, enquanto o excedente hídrico anual atingiu 425,9 mm, concentrando-se principalmente entre janeiro e abril, com menor ocorrência em dezembro. Novembro caracterizou-se como período de reposição da água no solo, antecedendo a recuperação completa do armazenamento em dezembro. Conclui-se que a acentuada sazonalidade das chuvas, associada à evapotranspiração potencial anual superior à precipitação, resulta em um período prolongado de restrição hídrica, evidenciando a importância da análise espaço-temporal do balanço hídrico para subsidiar o planejamento da irrigação e o uso mais eficiente dos recursos hídricos em Goiás.

Palavras-chave: Armazenamento de água no solo; Deficiência hídrica; Evapotranspiração potencial; Precipitação pluvial; Recursos hídricos.

ABSTRACT

Water availability throughout the year is one of the main factors influencing agricultural planning and irrigation use, particularly in regions with pronounced rainfall seasonality. In this context, the climatological water balance allows the identification of periods of soil water storage, water deficit, and water surplus, contributing to water resources management. Therefore, this study aimed to analyze the spatiotemporal variability of the climatological water balance in the state of Goiás, with emphasis on identifying periods of soil water storage, water deficit, and water surplus, in order to provide support for irrigation planning. For the spatial analysis, monthly precipitation and reference evapotranspiration data from the TerraClimate database were used for the period from 2011 to 2020 and processed in the R environment using the cropDemand package, assuming an available water capacity of 100 mm. The mean monthly climatological water balance was also calculated using the Thornthwaite and Mather method, based on mean air temperature and precipitation data and the BHnorm v. 6.1 spreadsheet. The results showed marked water seasonality across the state, with soil water storage close to 100% of the available water capacity from December to March, a progressive





reduction from April onward, and the lowest levels between July and October. Mean annual precipitation was 1,403.9 mm, whereas potential evapotranspiration totaled 1,666.0 mm. The accumulated water deficit was 688.0 mm, concentrated between May and October, with the highest value occurring in August, at 174.0 mm, while the annual water surplus reached 425.9 mm, occurring mainly between January and April, with a smaller occurrence in December. November was characterized as a period of soil water recharge, preceding the complete recovery of soil water storage in December. It is concluded that the pronounced rainfall seasonality, combined with annual potential evapotranspiration exceeding precipitation, results in a prolonged period of water restriction, highlighting the importance of spatiotemporal water balance analysis to support irrigation planning and more efficient use of water resources in Goiás.

Keywords: Potential evapotranspiration; Rainfall; Soil water storage; Water deficit; Water resources.

1. INTRODUÇÃO GERAL

A irrigação constitui uma importante estratégia para garantir maior estabilidade da produção agrícola em regiões sujeitas à irregularidade ou à insuficiência das chuvas. No Brasil, sua expansão ocorreu de forma mais expressiva a partir das décadas de 1970 e 1980, contribuindo para o aumento da produção agrícola e para a redução dos efeitos provocados pela variabilidade da precipitação. Em regiões caracterizadas por períodos prolongados de escassez hídrica, a irrigação assume papel fundamental para a manutenção das atividades agrícolas (ANA, 2017).

Além de contribuir para a estabilidade da produção, a agricultura irrigada apresenta importância diante da necessidade crescente de produção de alimentos e do uso eficiente dos recursos naturais. Embora a produção mundial de alimentos tenha aumentado ao longo das últimas décadas, aproximadamente 750 milhões de pessoas ainda estiveram expostas a níveis de insegurança alimentar, evidenciando a necessidade de estratégias capazes de ampliar e estabilizar a produção agrícola de maneira sustentável (UNESCO, 2021). No Brasil, a agricultura irrigada apresenta participação relevante na produção agropecuária, demonstrando a importância do planejamento adequado do uso da água nesse setor (ANA, 2021).

Nesse contexto, o conhecimento da disponibilidade hídrica ao longo do tempo constitui uma ferramenta importante para o planejamento agrícola e para a gestão dos recursos hídricos. O balanço hídrico climatológico permite avaliar as relações entre as entradas e





saídas de água no sistema solo-atmosfera, considerando variáveis como precipitação pluvial, evapotranspiração e capacidade de armazenamento de água no solo. A partir dessas informações, é possível identificar períodos de maior disponibilidade, deficiência e excedente hídrico, fornecendo subsídios para o planejamento e o gerenciamento dos recursos hídricos (SANTOS, HERNANDEZ E ROSSETTI (2010).

As informações obtidas por meio do balanço hídrico climatológico também podem auxiliar no planejamento da irrigação, principalmente pela identificação dos períodos em que a disponibilidade natural de água no solo se torna insuficiente para atender à demanda atmosférica. Entretanto, o manejo da irrigação deve considerar, além das condições climáticas, as características do solo, das culturas e do sistema de produção, de modo a promover maior eficiência no uso da água (SILVA *et al.*, 2017). Dessa forma, a utilização conjunta de informações climáticas e hídricas constitui importante suporte à tomada de decisão e ao planejamento das atividades agrícolas.

Entre os métodos utilizados para estimativa do balanço hídrico climatológico, destaca-se o método de Thornthwaite e Mather, amplamente empregado em estudos relacionados à caracterização da disponibilidade hídrica, especialmente em regiões com limitações de dados meteorológicos (AQUINO, OLIVEIRA, 2013). O método considera a precipitação pluvial (P), a evapotranspiração potencial (ETP) e a capacidade de água disponível no solo (CAD), possibilitando estimar componentes como o armazenamento de água no solo (ARM), a evapotranspiração real (ETR), a deficiência hídrica (DEF) e o excedente hídrico (EXC) (THORNTHWAITE; MATHER, 1955). Por apresentar relativa simplicidade de aplicação e requerer um conjunto reduzido de variáveis meteorológicas, constitui uma ferramenta amplamente utilizada em estudos de caracterização e planejamento hídrico.

A irrigação, quando adequadamente planejada, pode reduzir os efeitos da irregularidade das chuvas e contribuir para maior estabilidade da produção agrícola. Nesse sentido, a avaliação temporal e espacial das condições hídricas permite identificar períodos e regiões com diferentes níveis de armazenamento e deficiência de água no solo, auxiliando na





definição de estratégias de planejamento da irrigação e no uso mais eficiente dos recursos hídricos (ALLEN *et al.*, 1998).

No estado de Goiás, a ocorrência de períodos distintos de maior e menor disponibilidade de água ao longo do ano torna relevante a compreensão da dinâmica hídrica em escala temporal e espacial. A análise integrada da precipitação, evapotranspiração e armazenamento de água no solo pode fornecer informações importantes para caracterizar os períodos de maior restrição hídrica e subsidiar o planejamento regional da irrigação. Diante disso, objetivou-se analisar a variabilidade espaço-temporal do balanço hídrico climatológico no estado de Goiás, com ênfase na identificação dos períodos de armazenamento, deficiência e excedente hídrico, visando fornecer subsídios ao planejamento da irrigação.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Área de Estudo

O estudo foi realizado no estado de Goiás, localizado na Região Centro-Oeste do Brasil. O estado possui área territorial de aproximadamente 340.242,859 km² e é constituído por 246 municípios (IBGE, 2025a). Sua localização no Brasil Central e sua extensão territorial resultam em variações espaciais nas condições climáticas, especialmente quanto à distribuição da precipitação e da temperatura do ar.

O clima de Goiás apresenta marcada sazonalidade ao longo do ano. Segundo a classificação climática de Köppen-Geiger, são identificados no estado os tipos climáticos Am, Aw, Cwa e Cwb, com predomínio do clima tropical com estação seca no inverno (Aw) em grande parte do território (CARDOSO; MARCUZZO; BARROS, 2014). Essa característica determina a ocorrência de duas estações bem definidas, uma predominantemente chuvosa e outra seca, influenciando diretamente a disponibilidade de água no solo e o desenvolvimento das atividades agropecuárias. A precipitação apresenta forte concentração sazonal, com o período mais úmido ocorrendo principalmente entre outubro e abril e redução acentuada das chuvas entre maio e setembro. Estudos de caracterização climática do estado indicam





precipitação média anual em torno de 1.500 mm, embora ocorram variações espaciais entre as diferentes regiões de Goiás. Dezembro e janeiro estão entre os meses de maiores acumulados médios de precipitação, enquanto julho se destaca como um dos meses mais secos (CARDOSO; MARCUZZO; BARROS, 2014).

A sazonalidade pluviométrica possui particular importância para a atividade agrícola goiana, uma vez que períodos prolongados de baixa precipitação podem reduzir o armazenamento de água no solo e aumentar a ocorrência de deficiência hídrica. Dessa forma, a distribuição temporal das chuvas, associada às variações de temperatura e evapotranspiração, exerce influência direta sobre a disponibilidade hídrica para as culturas e sobre a necessidade de irrigação em diferentes períodos do ano.

A agropecuária apresenta expressiva participação na ocupação e na dinâmica econômica do território goiano. Entre as principais culturas agrícolas produzidas no estado destacam-se a soja, o milho e a cana-de-açúcar, evidenciando a importância da produção de grãos e de outras culturas de elevada relevância econômica para Goiás (IBGE, 2025b). Nesse contexto, a disponibilidade de água constitui um fator determinante para a manutenção da produtividade agrícola, tornando a caracterização espacial e temporal das condições hídricas uma ferramenta relevante para subsidiar o planejamento da irrigação no estado.

2.2. Mapeamento do armazenamento hídrico do solo

Para a análise espacial do armazenamento hídrico do solo, foi utilizado o pacote *cropDemand*, desenvolvido para o ambiente R, com base no método de balanço hídrico de Thornthwaite e Mather (1955). O processamento foi realizado no ambiente R (R CORE TEAM, 2025), utilizando o RStudio como ambiente integrado de desenvolvimento (POSIT TEAM, 2025), considerando o estado de Goiás como área de interesse. O procedimento metodológico adotado seguiu o roteiro disponibilizado por Filgueiras *et al.* (2021) para utilização do pacote *cropDemand*.





Foram utilizados dados espaciais mensais de evapotranspiração de referência (ET_o) e precipitação pluvial (P) provenientes da base de dados TerraClimate. Os dados foram obtidos por meio da função *download_terraclimate*, disponível no pacote *cropDemand*, considerando o período de 2011 a 2020 e o limite territorial do estado de Goiás. A base TerraClimate disponibiliza informações climáticas espacializadas em escala mensal e é amplamente utilizada em estudos relacionados à variabilidade climática e ao balanço hídrico (ABATZOGLOU *et al.*, 2018).

Após a aquisição dos dados, os rasters de evapotranspiração de referência e precipitação pluvial foram submetidos ao procedimento de calibração disponibilizado pelo pacote *cropDemand*. Para essa etapa, foram utilizadas as funções *eto_calibration* e *ppt_calibration*, cujos coeficientes foram obtidos a partir da calibração dos dados TerraClimate com registros das estações meteorológicas automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), considerando o período de 2000 a 2017. O procedimento utiliza coeficientes de inclinação e intercepto específicos para a evapotranspiração e para a precipitação, visando ajustar os dados às condições observadas no território brasileiro.

Posteriormente, foram obtidas as médias mensais de evapotranspiração de referência e precipitação pluvial para o período analisado por meio da função *monthly_stack*. Essas informações foram utilizadas como dados de entrada na função *waterDemand*, responsável pelo cálculo dos componentes do balanço hídrico.

Para o cálculo, adotou-se uma capacidade de água disponível no solo (CAD) de 100 mm. A função *waterDemand* estimou os seguintes componentes: armazenamento de água no solo (ARM), alteração do armazenamento (ALT), evapotranspiração real (ETR), deficiência hídrica (DEF), excedente hídrico (EXC), reposição de água no solo (REP), retirada de água do solo (RET) e o percentual de armazenamento em relação à capacidade de água disponível (AWC_{arm}). A partir dos resultados obtidos, foram elaborados mapas mensais do percentual de armazenamento hídrico do solo em relação à CAD adotada de 100 mm. Esses mapas permitiram avaliar a variabilidade espaço-temporal das condições de armazenamento de água no solo no estado de Goiás ao longo do ano médio referente ao período de 2011 a 2020.





2.3 Cálculo do balanço hídrico climatológico médio mensal

2.3.1 Dados meteorológicos

Para a determinação do balanço hídrico climatológico médio mensal do estado de Goiás, foram utilizados dados de temperatura média do ar (T) e precipitação pluvial (P) referentes ao período de janeiro de 2011 a dezembro de 2020, obtidos a partir do banco de dados meteorológicos do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2023). Os registros foram organizados e utilizados para obtenção dos valores médios mensais representativos do período analisado.

A partir da série histórica, foram determinados, para cada mês do ano, os valores médios de temperatura do ar (°C) e os valores médios mensais de precipitação pluvial (mm). Dessa forma, foi constituída uma série climatológica média mensal composta por doze valores de temperatura e precipitação, correspondentes aos meses de janeiro a dezembro, utilizada posteriormente no cálculo do balanço hídrico climatológico.

2.3.2 Cálculo do balanço hídrico climatológico

O balanço hídrico climatológico médio mensal foi determinado pelo método de Thornthwaite e Mather (1955), utilizando-se a planilha eletrônica BHnorm v. 6.1, desenvolvida por Rolim e Sentelhas com base na metodologia descrita por Rolim, Sentelhas e Barbieri (1998). Como dados de entrada foram utilizados os valores médios mensais de temperatura do ar e precipitação pluvial e a capacidade de água disponível no solo (CAD), fixada em 100 mm.

A evapotranspiração potencial (ETP) foi estimada pelo método de Thornthwaite (1948), inicialmente para um mês padrão de 30 dias e fotoperíodo de 12 horas, conforme a Equação 1:

$$ETP = 16 * \left(\frac{T}{I} \right)^a \quad \text{Eq. 1}$$



Em que: **ETP** é a evapotranspiração potencial não corrigida (mm mês⁻¹); **T** é a temperatura média mensal do ar (°C); **I** é o índice anual de calor; **a** é o coeficiente empírico obtido em função do índice anual de calor (**I**); e **16** é uma constante empírica da equação. (THORNTHWAITE, 1948; PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002).

O índice anual de calor (**I**) foi obtido pelo somatório dos índices mensais de calor, conforme a Equação 2:

$$I = \sum_{t=1}^{12} \left(\frac{t}{5} \right)^{1,514} \quad \text{Eq. 2}$$

Onde: **I** representa o índice de calor anual; **t** corresponde à temperatura média mensal do ar (°C); o expoente 1,514 é um coeficiente empírico proposto por Thornthwaite (1948); e o somatório ($\sum_{t=1}^{12}$) é calculado para os doze meses do ano.

O coeficiente (**a**), utilizado na estimativa da evapotranspiração potencial, foi determinado em função do índice anual de calor pela Equação 3:

$$a = 6,75 \times 10^{-7} \times I^3 - 7,71 \times 10^{-5} \times I^{-2} + 1,792 \times 10^{-2} \times I + 0,49239 \quad \text{Eq. 3}$$

Onde: **I** = índice de calor anual de Thornthwaite; e **a** = expoente utilizado no cálculo da evapotranspiração potencial.

Como a evapotranspiração potencial obtida pela Equação 1 corresponde às condições padronizadas de 30 dias e 12 horas de fotoperíodo, os valores foram corrigidos em função da duração média do dia e do número de dias de cada mês. O fator de correção foi determinado pela Equação 4:

$$COR = \left(\frac{N}{12} \right) \times \left(\frac{NDP}{30} \right) \quad \text{Eq. 4}$$

Onde: **COR** representa o fator de correção aplicado à evapotranspiração potencial mensal; **N** corresponde ao número médio de horas de luz do dia (fotoperíodo) do mês, em horas; e **NDP** é o número de dias do mês considerado. Esse fator ajusta a evapotranspiração potencial padrão às condições de duração do dia e do período analisado, conforme proposto por Thornthwaite (1948).





3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Mapeamento do armazenamento hídrico do solo

A distribuição espaço-temporal do armazenamento hídrico do solo no estado de Goiás apresentou elevada sazonalidade ao longo do ano médio correspondente ao período de 2011 a 2020 (Figura 3). Nos meses de janeiro, fevereiro e março, o armazenamento permaneceu próximo de 100% da capacidade de água disponível (CAD) adotada, indicando condições de elevada disponibilidade hídrica no solo em praticamente todo o território estadual.

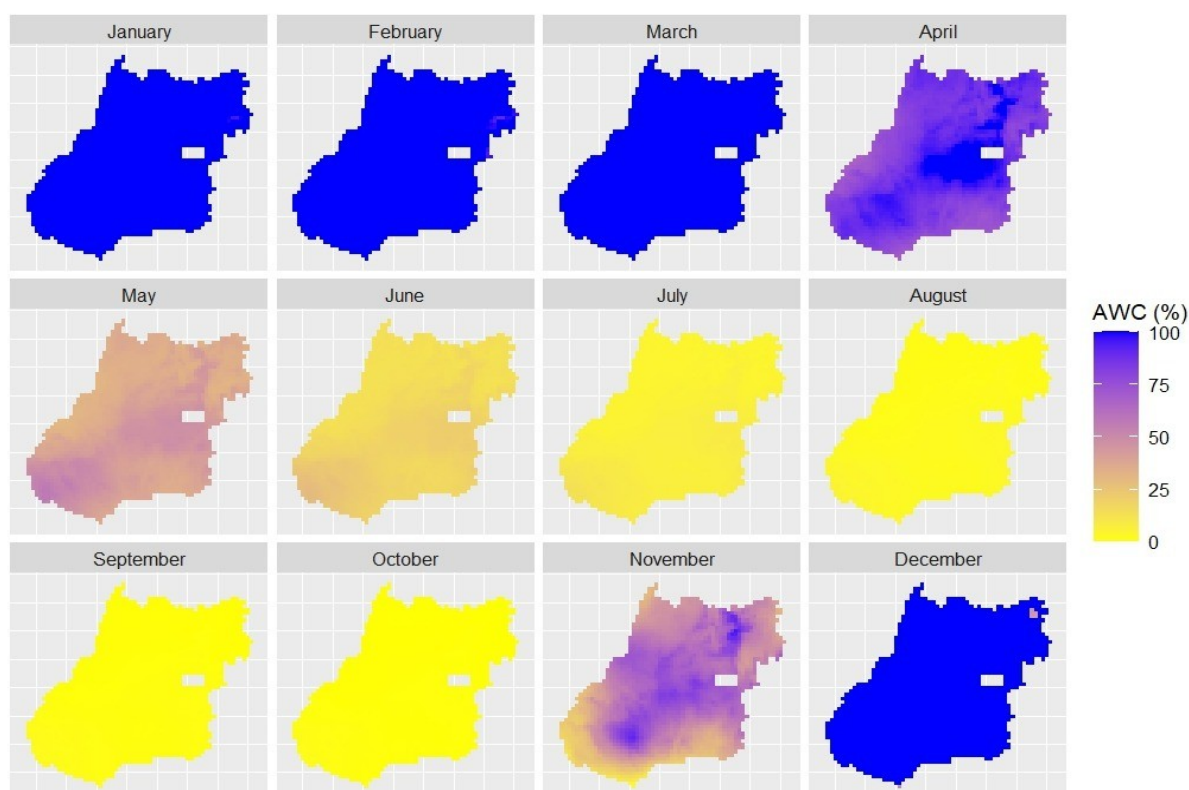


Figura 3. Distribuição espacial do percentual médio mensal de armazenamento hídrico do solo em relação à capacidade de água disponível (CAD) no estado de Goiás, no período de 2011 a 2020.



A partir de abril, observou-se o início da redução do armazenamento hídrico, embora ainda predominassem valores elevados em grande parte do estado. Nesse mês, ocorreu maior variabilidade espacial, com áreas apresentando aproximadamente 50 a 100% da CAD. Em maio, a redução tornou-se mais acentuada, predominando valores entre aproximadamente 25 e 50%, evidenciando o avanço do processo de retirada de água armazenada no solo em resposta à redução sazonal das precipitações e à continuidade da demanda atmosférica.

Entre junho e outubro foram observados os menores percentuais de armazenamento hídrico do período analisado. Em junho, grande parte do território já apresentava valores inferiores a 25% da CAD, com redução progressiva nos meses subsequentes. Entre julho e outubro, o armazenamento permaneceu próximo de 0% em grande parte do estado, caracterizando o período de maior restrição da disponibilidade de água armazenada no solo. Esse comportamento está associado à estação seca característica de Goiás, durante a qual a redução das precipitações limita a reposição da água retirada do solo pela evapotranspiração.

Resultados semelhantes foram observados por Parreira *et al.* (2019) ao estudar o balanço hídrico climatológico para o município de Rio Verde, Goiás. Os autores identificaram um período de deficiência hídrica entre maio e outubro, evidenciando a influência da sazonalidade pluviométrica sobre a disponibilidade hídrica no sudoeste goiano. Embora o estudo tenha sido realizado em escala municipal e em período distinto, o comportamento encontrado é compatível com a redução do armazenamento observada no presente estudo durante os meses correspondentes à estação seca.

Em novembro, verificou-se o início da recuperação do armazenamento hídrico, porém com expressiva variabilidade espacial. As regiões norte, nordeste e parte da região central apresentaram recuperação mais acentuada, enquanto áreas das regiões sudoeste e sul ainda permaneceram com menores percentuais de armazenamento. Esse padrão demonstra que o retorno das chuvas não resulta imediatamente na recomposição integral da água armazenada no solo, uma vez que parte da precipitação é inicialmente destinada à reposição do armazenamento previamente reduzido durante a estação seca.





Em dezembro, o armazenamento atingiu valores próximos de 100% da CAD em praticamente todo o estado, indicando a recomposição do reservatório hídrico do solo após o estabelecimento do período chuvoso. Dessa forma, os resultados evidenciam uma dinâmica anual bem definida, caracterizada por elevados níveis de armazenamento entre dezembro e março, redução progressiva entre abril e junho, valores mínimos entre julho e outubro e recuperação a partir de novembro.

A redução prolongada do armazenamento de água no solo pode representar importante fator de limitação ao desenvolvimento vegetal, especialmente quando coincide com períodos de elevada demanda hídrica das culturas. A deficiência de água reduz a turgescência celular, promove o fechamento estomático e pode limitar a atividade fotossintética, comprometendo o crescimento e a produtividade das plantas (TAIZ *et al.*, 2017). Nesse sentido, a identificação espacial e temporal dos períodos de menor armazenamento hídrico constitui informação relevante para o planejamento da irrigação no estado de Goiás, principalmente entre maio e outubro, quando ocorre redução acentuada da disponibilidade de água armazenada no solo.

3.2 Balanço hídrico climatológico

O balanço hídrico climatológico médio mensal do estado de Goiás, referente ao período de 2011 a 2020, evidenciou expressiva sazonalidade na disponibilidade de água ao longo do ano (Quadro 1 e Figuras 4, 5 e 6). A temperatura média mensal do período foi de aproximadamente 27,0 °C, com menor valor observado em março, de 24,53 °C, e maior valor em setembro, de 30,57 °C. A precipitação média mensal foi de aproximadamente 117 mm, correspondendo a um total anual médio de 1.403,9 mm, enquanto a evapotranspiração potencial totalizou 1.666,0 mm.



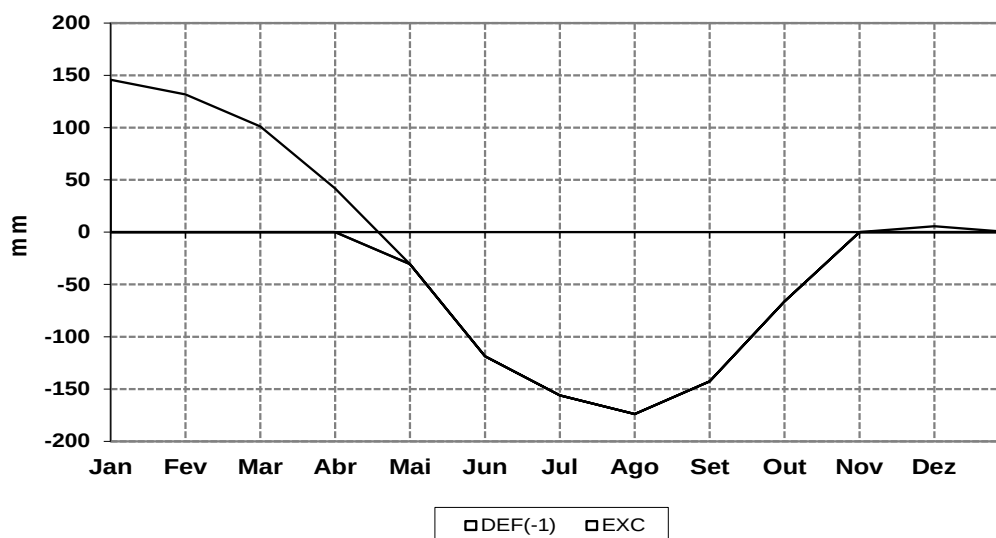


Quadro 1. Balanço hídrico climatológico médio mensal do estado de Goiás no período de 2011 a 2020.

Meses	T	P	ETP	P-ETP	NEG_AC	ARM	ALT	ETR	DEF	EXC
	°C	mm	mm	mm		mm	mm	mm	mm	mm
Jan	25,43	252,54	106,82	145,7	0,0	100,0	0,0	106,8	0,0	145,7
Fev	25,23	227,30	95,60	131,7	0,0	100,0	0,0	95,6	0,0	131,7
Mar	24,53	199,14	97,97	101,2	0,0	100,0	0,0	98,0	0,0	101,2
Abr	26,79	182,82	141,11	41,7	0,0	100,0	0,0	141,1	0,0	41,7
Mai	25,84	40,16	130,03	-89,9	-89,9	40,7	-59,3	99,4	30,6	0,0
Jun	27,32	4,92	155,11	-150,2	-240,1	9,1	-31,6	36,6	118,5	0,0
Jul	27,59	0,20	163,50	-163,3	-403,4	1,8	-7,3	7,5	156,0	0,0
Ago	29,38	0,28	175,75	-175,5	-578,8	0,3	-1,5	1,7	174,0	0,0
Set	30,57	29,32	172,18	-142,9	-721,7	0,1	-0,2	29,6	142,6	0,0
Out	28,98	94,04	160,28	-66,2	-787,9	0,0	0,0	94,1	66,2	0,0
Nov	26,80	156,80	132,04	24,8	-139,4	24,8	24,8	132,0	0,0	0,0
Dez	27,12	216,38	135,61	80,8	0,0	100,0	75,2	135,6	0,0	5,6
Totais	325,6	1403,9	1666	-262,1	-	-	0	978	688	425,9
Médias	27	117	139	-	-	-	-	82	57	35

Fonte: Elaborada pelos autores.

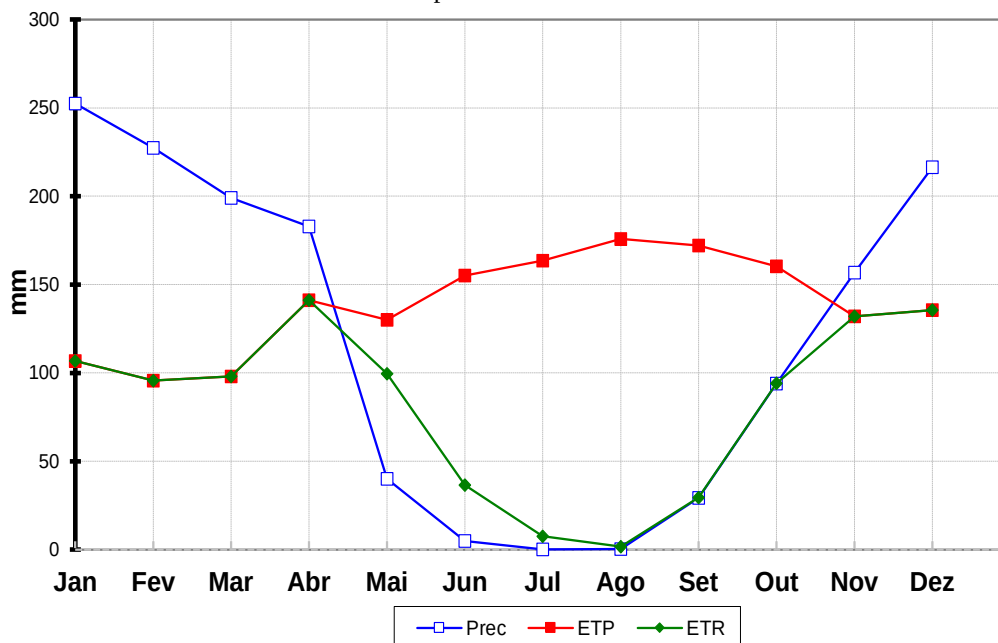
Figura 4. Extrato do balanço hídrico climatológico médio mensal do estado de Goiás no período de 2011 a 2020.



Legenda: Onde DEF = Déficit hídrico e EXC = Excedente Hídrico. **Fonte:** Elaborada pelos autores.



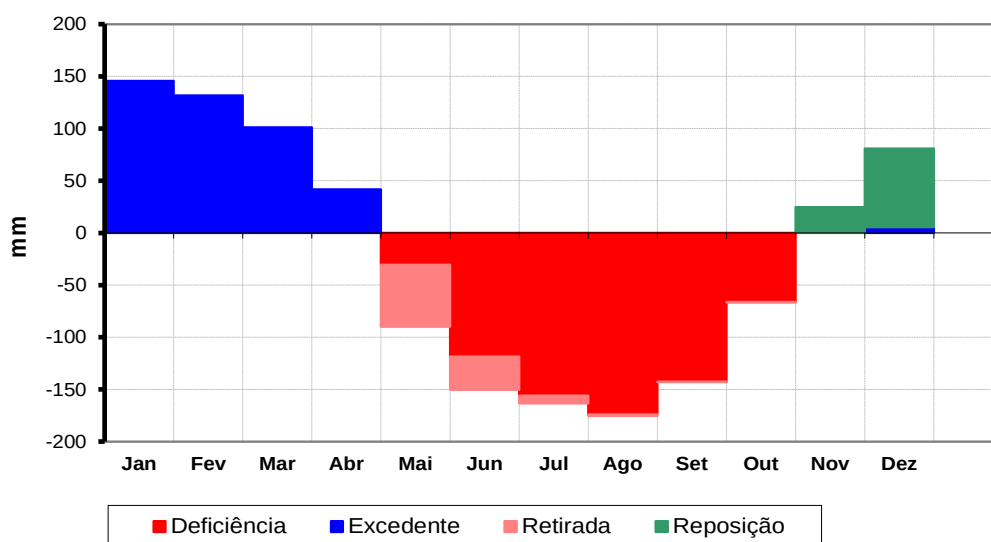
Figura 5. Variação mensal da precipitação, evapotranspiração potencial e evapotranspiração real no estado de Goiás no período de 2011 a 2020.



Legenda: Onde Prec - precipitação; ETP – evapotranspiração potencial; ETR - evapotranspiração real.

Fonte: Elaborada pelos autores.

Figura 6. Deficiência, excedente, retirada e reposição hídrica média mensal no estado de Goiás no período de 2011 a 2020.



Fonte: Elaborada pelos autores.



A distribuição da precipitação apresentou forte concentração entre novembro e abril. Os maiores valores médios mensais foram observados em janeiro (252,54 mm), fevereiro (227,30 mm), dezembro (216,38 mm), março (199,14 mm) e abril (182,82 mm). Em contrapartida, os menores volumes ocorreram entre junho e agosto, atingindo apenas 4,92 mm em junho, 0,20 mm em julho e 0,28 mm em agosto. Esse comportamento evidencia a marcada sazonalidade pluviométrica característica da região Centro-Oeste, na qual a distribuição anual das chuvas está associada à dinâmica da circulação atmosférica regional e a fatores geográficos que condicionam sua variabilidade espacial e temporal (SOUZA *et al.*, 2013).

Entre janeiro e abril, a precipitação foi superior à evapotranspiração potencial, resultando em valores positivos de $P - ETP$ e manutenção do armazenamento de água no solo em 100 mm. Nesse período, não foi registrada deficiência hídrica, enquanto o excedente atingiu 145,7 mm em janeiro, 131,7 mm em fevereiro, 101,2 mm em março e 41,7 mm em abril. Esses resultados demonstram que, após a manutenção do armazenamento do solo em sua capacidade máxima, a precipitação excedente passou a constituir excedente hídrico.

A partir de maio ocorreu inversão dessa condição. A precipitação caiu para 40,16 mm, enquanto a evapotranspiração potencial atingiu 130,03 mm, resultando em $P - ETP$ de -89,9 mm. Consequentemente, o armazenamento de água no solo diminuiu de 100,0 para 40,7 mm e foi registrada deficiência hídrica de 30,6 mm. A redução do armazenamento prosseguiu nos meses seguintes, atingindo 9,1 mm em junho, 1,8 mm em julho, 0,3 mm em agosto e apenas 0,1 mm em setembro.

A deficiência hídrica tornou-se mais acentuada durante o período seco, passando de 30,6 mm em maio para 118,5 mm em junho, 156,0 mm em julho e atingindo o máximo de 174,0 mm em agosto. Em setembro, a deficiência permaneceu elevada, com 142,6 mm, e em outubro ainda foram registrados 66,2 mm. Dessa forma, o período de deficiência hídrica estendeu-se de maio a outubro, totalizando 688,0 mm no ano médio analisado.

Esse comportamento é compatível com o observado em outros estudos conduzidos em regiões de clima sazonal do Cerrado. Souza *et al.* (2013), ao analisarem o balanço hídrico climatológico em Mato Grosso, verificaram concentração das chuvas nos meses de primavera





e verão e ocorrência de deficiência hídrica durante a estação seca. Os autores destacam que o balanço hídrico constitui ferramenta importante para caracterizar os períodos de disponibilidade e restrição de água e subsidiar o planejamento agroclimático.

Em novembro ocorreu uma alteração expressiva no balanço hídrico. A precipitação aumentou para 156,80 mm, superando a evapotranspiração potencial de 132,04 mm, resultando em $P - ETP$ positivo de 24,8 mm. Entretanto, não foi registrado excedente hídrico nesse mês, uma vez que a água disponível foi utilizada para iniciar a reposição do armazenamento do solo, que passou de 0,0 mm em outubro para 24,8 mm em novembro. Em dezembro, com precipitação de 216,38 mm e evapotranspiração potencial de 135,61 mm, ocorreu reposição de 75,2 mm, permitindo que o armazenamento retornasse a 100 mm e resultando em excedente hídrico de 5,6 mm.

A dinâmica observada é evidenciada na Figura 6, que demonstra a sequência de retirada de água do solo a partir do início da estação seca, intensificação da deficiência hídrica nos meses subsequentes, reposição com o retorno das chuvas em novembro e dezembro e formação de excedente após o restabelecimento do armazenamento. Passos, Zambrzycki e Pereira (2017), utilizando o método de Thornthwaite e Mather e CAD de 100 mm, também demonstraram que a ocorrência de deficiência ou excedente hídrico depende da relação entre precipitação, evapotranspiração potencial e armazenamento de água no solo, destacando a aplicação do balanço hídrico no planejamento agrícola.

Ao longo do ano médio, a evapotranspiração real totalizou 978,0 mm, valor consideravelmente inferior à evapotranspiração potencial de 1.666,0 mm. Essa diferença está associada à limitação da disponibilidade de água durante a estação seca, quando a ETR foi reduzida em razão do esgotamento progressivo do armazenamento de água no solo, uma vez que a evapotranspiração real é condicionada pela disponibilidade hídrica do sistema solo-planta-atmosfera (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002). Entre julho e setembro, por exemplo, a ETP apresentou valores de 163,50, 175,75 e 172,18 mm, respectivamente, enquanto a ETR foi de apenas 7,5, 1,7 e 29,6 mm. Esse contraste evidencia a elevada restrição hídrica observada durante esse período.





O excedente hídrico anual foi de 425,9 mm, concentrado principalmente entre janeiro e abril, com pequena ocorrência em dezembro, enquanto a deficiência hídrica anual atingiu 688,0 mm e se concentrou entre maio e outubro. Além disso, a evapotranspiração potencial anual superou a precipitação em aproximadamente 262,1 mm, demonstrando que, apesar dos elevados volumes de chuva registrados durante a estação chuvosa, a elevada demanda atmosférica e a forte sazonalidade pluviométrica resultaram em um período prolongado de deficiência hídrica ao longo do ano.

Os resultados evidenciam, portanto, que o período compreendido entre maio e outubro apresenta maior restrição hídrica no estado de Goiás, com maior intensidade entre junho e setembro e valor máximo de deficiência em agosto. Essas informações podem subsidiar o planejamento agrícola e da irrigação, especialmente na identificação dos períodos em que a precipitação é insuficiente para atender à demanda atmosférica e manter o armazenamento de água no solo.

4. CONCLUSÃO

A análise espaço-temporal do balanço hídrico climatológico no estado de Goiás evidenciou elevada sazonalidade na disponibilidade de água ao longo do ano. Os maiores níveis de armazenamento hídrico ocorreram entre dezembro e março, enquanto a redução progressiva do armazenamento foi observada a partir de abril, com condições mais restritivas entre junho e outubro e maior intensidade no período de julho a setembro.

O balanço hídrico médio mensal indicou deficiência hídrica acumulada de 688,0 mm, concentrada entre maio e outubro, com valor máximo em agosto, de 174,0 mm. O excedente hídrico anual atingiu 425,9 mm, concentrando-se principalmente entre janeiro e abril, com pequena ocorrência em dezembro. Novembro caracterizou-se pelo início da reposição da água no solo, enquanto a recuperação completa do armazenamento ocorreu em dezembro.

Os resultados demonstram que a evapotranspiração potencial anual, de 1.666,0 mm, superou a precipitação anual média, de 1.403,9 mm, e que a forte sazonalidade das chuvas





favoreceu a ocorrência de um período prolongado de restrição hídrica no estado. Dessa forma, a identificação espacial e temporal dos períodos de menor armazenamento e maior deficiência hídrica fornece subsídios importantes para o planejamento da irrigação e para o uso mais eficiente dos recursos hídricos em Goiás.

Esse resultado demonstra que a análise apenas dos totais anuais de precipitação é insuficiente para caracterizar a disponibilidade de água às atividades agrícolas, sendo necessária a consideração de sua distribuição temporal e das relações entre precipitação, evapotranspiração e armazenamento de água no solo (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABATZOGLOU, J. T.; DOBROWSKI, S. Z.; PARKS, S. A.; HEGEWISCH, K. C. TerraClimate, a high-resolution global dataset of monthly climate and climatic water balance from 1958-2015. *Scientific Data*, v. 5, art. 170191, 2018. DOI: 10.1038/sdata.2017.191.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). *Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada*. Brasília, DF: ANA, 2017. Disponível em: <https://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/AtlasIrigacao-UsodaAguaAgriculturaIrigada.pdf>. Acesso em: 19 jul. 2026.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). *Atlas irrigação: uso da água na agricultura irrigada*. 2. ed. Brasília, DF: ANA, 2021. 66 p. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/centrais-de-conteudos/publicacoes/atlas-irrigacao-2021>. Acesso em: 19 jul. 2026.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. *Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1998. 300 p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, n. 56).

AQUINO, C. M. S.; OLIVEIRA, J. G. B. Emprego do método de Thornthwaite e Mather (1955) para cálculo do balanço hídrico climatológico do núcleo de degradação de São Raimundo Nonato, Piauí. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 6, n. 1, p. 79–90, 2013.





CARDOSO, M. R. D.; MARCUZZO, F. F. N.; BARROS, J. R. Classificação climática de Köppen-Geiger para o estado de Goiás e o Distrito Federal. *Acta Geográfica*, Boa Vista, v. 8, n. 16, p. 40–55, jan./mar. 2014.

FILGUEIRAS, R.; VENANCIO, L. P.; ALEMAN, C. C.; CUNHA, F. F. da. *Tutorial for cropDemand (R package): advanced form*. RPubS, 2021. Disponível em: https://rpubs.com/FilgueirasR/cropDemand_advanced. Acesso em: 10 dez. 2023.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Goiás: cidades e estados*. Rio de Janeiro: IBGE, 2025a.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Produção Agrícola Municipal 2024*. Rio de Janeiro: IBGE, 2025b.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). *Banco de dados meteorológicos*. Brasília, DF: INMET, 2023. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>. Acesso em: 10 dez. 2023.

PARREIRA, A. G. B.; MARASCA, I.; SOLINO, A. J. S.; SANTOS, G. O. Balanço hídrico climatológico para o município de Rio Verde, Goiás. *Científica Multidisciplinary Journal*, Rio Verde, v. 6, n. 1, p. 26–33, 2019. DOI: 10.29247/2358-260X.2019v6i1.p26-33.

PASSOS, M. L. V.; ZAMBRZYCKI, G. C.; PEREIRA, R. S. Balanço hídrico climatológico e classificação climática para o município de Balsas-MA. *Scientia Agraria*, Curitiba, v. 18, n. 1, p. 83–89, 2017.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. *Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas*. Guaíba: Agropecuária, 2002.

R CORE TEAM. *R: a language and environment for statistical computing*. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2025. Disponível em: <https://www.r-project.org/>. Acesso em: 10 jul. 2026.

ROLIM, G. S.; SENTELHAS, P. C.; BARBIERI, V. Planilhas no ambiente EXCEL™ para os cálculos de balanços hídricos: normal, sequencial, de cultura e de produtividade real e potencial. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 6, n. 1, p. 133–137, 1998.





RSTUDIO TEAM. *RStudio: Integrated Development Environment for R*. Boston: Posit Software, PBC, 2025. Disponível em: <https://posit.co/download/rstudio-desktop/>. Acesso em: 10 jul. 2026.

SANTOS, G. O.; HERNANDEZ, F. B. T.; ROSSETTI, J. C. Balanço hídrico como ferramenta ao planejamento agropecuário para a região de Marinópolis, noroeste do estado de São Paulo. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*, Fortaleza, v. 4, n. 3, p. 142–149, 2010.

SILVA, J. R. I.; SOUZA, R. M. S.; SANTOS, W. A.; ALMEIDA, A. Q.; SOUZA, E. S.; ANTONINO, A. C. D. Aplicação do método de Budyko para modelagem do balanço hídrico no semiárido brasileiro. *Scientia Plena*, v. 13, n. 10, 2017. DOI:10.14808/sci.plena.2017.109908.

SOUZA, A. P.; MOTA, L. L.; ZAMADEI, T.; MARTIM, C. C.; ALMEIDA, F. T.; PAULINO, J. Classificação climática e balanço hídrico climatológico no estado de Mato Grosso. *Nativa*, Sinop, v. 1, n. 1, p. 34–43, 2013. DOI: 10.14583/2318-7670.v01n01a07.

TAIZ, L.; ZEIGER, E.; MØLLER, I. M.; MURPHY, A. *Fisiologia e desenvolvimento vegetal*. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2017.

THORNTHWAITE, C. W. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, v. 38, n. 1, p. 55–94, 1948.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. *The water balance*. Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology, Laboratory of Climatology, 1955. 104 p. (Publications in Climatology, v. 8, n. 1).

UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATION (UNESCO). *The United Nations World Water Development Report 2021: valuing water*. Paris: UNESCO, 2021. Disponível em: https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000375751_por. Acesso em: 19 jul. 2026.

Recebido em: 28/07/2026

Aprovado em: 13/08/2026

Publicado em: 30/08/2026

