



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Balanco Sazonal de Água no Solo para a Cultura do Feijão Preto (*Phaseolus vulgaris* L.) no Semiárido Pernambucano

Edmaíris Rodrigues Araújo¹, Natália Lima de Espíndola², Isabel Lopes de Medeiros³, Daniele Alves de Sá⁴, Sarah Jane Alexandre Medeiros⁵, Márcio Henrique Leal Lopes⁶, José Romualdo de Sousa Lima⁷

¹Engenheira Agrônoma, Mestranda em Produção Agrícola, Universidade Federal do Agreste de Pernambuco, Av. Bom Pastor, s/n, CEP 55292-278, Garanhuns, Pernambuco. (82) 99964-6198. edmairis.03@gmail.com (Autor Correspondente). ²Engenheira Agrônoma, Mestranda em Produção Agrícola, Universidade Federal do Agreste de Pernambuco, agronataliaespindola@outlook.com. ³Engenheira Agrônoma, Mestranda em Produção Agrícola, Universidade Federal do Agreste de Pernambuco, isabelmedeiros1998@hotmail.com. ⁴Engenheira Agrônoma, Mestrando em Produção Agrícola, Universidade Federal do Agreste de Pernambuco, danielea951@gmail.com. ⁵Engenheira Agrônoma, Mestranda em Produção Agrícola, Universidade Federal do Agreste de Pernambuco, sarahjanemedeiros@gmail.com. ⁶Engenheiro Agrônomo, Mestranda em Produção Agrícola, Universidade Federal do Agreste de Pernambuco, mhll9785@gmail.com. ⁷Dr. em Tecnologias Energéticas e Nucleares, Professor Associado IV, Universidade Federal do Agreste de Pernambuco, romualdo.lima@ufape.edu.br.

Artigo recebido em 11/06/2024 e aceito em 17/02 /2025

RESUMO

O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), sendo um alimento apreciado em todas as regiões, principalmente na região Nordeste, na qual, com o devido manejo e uso racional dos recursos hídricos disponíveis, o plantio pode ser realizado durante todo o ano com boa produtividade, a exemplo do Agreste Pernambucano. Assim, objetivou-se com este trabalho utilizar o Balanço Hídrico Sequencial através do modelo de Thornthwaite & Mather (1955) modificado, como estratégia para obter decisões assertivas acerca do manejo hídrico do feijão preto, em diferentes épocas de cultivo, no município de São João, Pernambuco. Para a realização do trabalho, a cultivar de feijão preto BRS Valente foi avaliada nos regimes sequeiro e irrigado, em quatro épocas de cultivo, correspondendo a: inverno-primavera; primavera-verão; verão-outono; e outono-inverno. Os dados meteorológicos foram obtidos de uma estação automatizada pertencente ao grupo de pesquisa Dinâmica da Água, Energia e CO₂ em Ecossistemas e Agroecossistemas (DAECO), localizada próxima a propriedade. A evapotranspiração da cultura foi determinada pelo método do coeficiente da cultura único (Kc), a evapotranspiração de referência (ET_o) pelo modelo de Penman-Monteith e o balanço de água no solo pelo modelo de Thornthwaite e Mather. Na região semiárida de Pernambuco a demanda hídrica da cultura do feijão comum é de 373, 419, 369 e 273 mm para cultivos de inverno-primavera, primavera-verão, verão-outono e outono-inverno, respectivamente, em que somente a precipitação pluvial não é suficiente para suprir esta demanda de forma satisfatória, sendo necessário a utilização de irrigação suplementar ou plena.

Palavras-chave: Época de cultivo; Balanço hídrico; Armazenamento.

Seasonal Soil Water Balance for the Black Bean Crop (*Phaseolus vulgaris* L.) in the Semi-arid Region of Pernambuco, Brazil

ABSTRACT

Brazil is one of the world's largest producers of beans (*Phaseolus vulgaris* L.), being a food appreciated in all regions, mainly in the Northeast region, where, with proper management and rational use of available water resources, planting can be carried out throughout the year with good productivity, as exemplified in the Agreste Pernambucano. Thus, the objective of this study was to use the Sequential Water Balance through the Thornthwaite & Mather (1955) modified model as a strategy to obtain assertive decisions regarding the water management of black beans, at different planting times, in the municipality of São João, Pernambuco. For the accomplishment of the work, the black bean cultivar BRS Valente was evaluated under rainfed and irrigated regimes, at four planting times, corresponding to: winter-spring; spring-summer; summer-autumn; and autumn-winter. Meteorological data were obtained from an automated station belonging to the Water, Energy and CO₂ Dynamics in Ecosystems and Agroecosystems (DAECO) research group, located near the property. Crop evapotranspiration was determined by the single crop coefficient method (Kc), reference

evapotranspiration (ET_o) by the Penman-Monteith model, and soil water balance by the Thornthwaite and Mather model. In the semi-arid region of Pernambuco, the water demand for common bean cultivation is 373, 419, 369, and 273 mm for winter-spring, spring-summer, summer-autumn, and autumn-winter crops, respectively, where only rainfall is not sufficient to meet this demand satisfactorily, requiring the use of supplementary or full irrigation.

Key words: Growing season; Water balance; Storage.

Introdução

A extensão territorial do Brasil permite o cultivo de inúmeras culturas e, graças a utilização de métodos que viabilizam a irrigação e plena utilização da água, o plantio pode ser realizado durante todo o ano com bons resultados de produtividade (Franco *et al.*, 2019; Silva, Neves, 2020). Nesse ínterim, a cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), se destaca como uma das mais relevantes, inclusive em área plantada, como também, por compor a dieta de boa parte dos brasileiros (Duarte *et al.*, 2021; Stefanovicz, Stroparo, 2023). Segundo dados do Banco de Estatísticas Agrícolas da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura, FAOSTAT (2023), o Brasil é um dos maiores produtores de feijão a nível mundial, com expectativas de 3,12 milhões de toneladas para a safra de 2023/24, com um aumento de 15% em relação à safra passada e, dentre as cultivares, o feijão-comum preto, que é o segundo mais consumido no país, possui como perspectiva uma colheita de 558,3 mil toneladas (Conab, 2023) e tais incrementos só foram possíveis graças ao uso de técnicas que garantem o seu pleno desenvolvimento, mantendo os índices produtivos (Mompremier *et al.*, 2021; Santos *et al.*, 2022; Teshome *et al.*, 2023).

Na região Nordeste o feijão é amplamente cultivado. Segundo a Federação dos Trabalhadores Rurais Agricultores e Agricultoras Familiares do Estado de Pernambuco (FETAPE, 2022) 70% do cultivo de feijão no estado está na Região do Agreste, destacando-se o município de São João onde são cultivadas algumas espécies, dentre elas o feijão-comum preto.

A cultura do feijão não possui grande sensibilidade ao fotoperíodo, no entanto, é essencial ter atenção com relação às variáveis climáticas, além da umidade e temperatura (Silva *et al.*, 2020; Sousa *et al.*, 2023), no qual esta última, no que se refere a época de plantio, situa-se em torno de 10 a 35 °C, com a faixa de 18 a 24 °C sendo considerada ótima (Obzut *et al.*, 2023). Com relação aos dados pluviométricos, o déficit hídrico, à título de comparação, quando não solucionado corretamente, induz inúmeros estresses abióticos, os quais tornam a produtividade limitada em

virtude da necessidade de água constante nas fases mais críticas da cultura, e neste sentido, o fornecimento do aporte hídrico, essencialmente por meio da irrigação, em caráter total ou suplementar, torna-se uma excelente estratégia para amenizar os impactos causados pelo estresse hídrico e frequentes oscilações climáticas na produção do feijoeiro (Oliveira *et al.*, 2020; Oliveira *et al.*, 2022).

Tendo em vista que a disponibilidade de água é considerada um fator limitante à produção do feijoeiro (Campos, Santos, Nacarath, 2021), o estudo de componentes do balanço hídrico é importante para a determinação da necessidade, periodicidade e, principalmente, quantidade de água a ser fornecida à cultura (Brito *et al.*, 2020; Villa *et al.*, 2022), e essa é considerada uma eficiente estratégia quando se busca a redução da quantidade adicional deste recurso na agricultura, sendo capaz de proporcionar um maior aproveitamento e menor desperdício (Gutierrez, Neves, 2021; Souza *et al.*, 2023). A obtenção de dados do regime hídrico do feijoeiro permitirá a determinação da evapotranspiração real e máxima da cultura, garantindo seu ápice de produtividade pela diminuição de exposição a riscos climáticos (Moreira, Stone, Baiava, 2021; Pereira, Beker, Schmoeller, 2024).

Não obstante, haja vista a grande mutabilidade dos elementos meteorológicas e das variáveis que constituem o balanço hídrico no decorrer das estações do ano, analisar seus componentes é essencial para o desenvolvimento agrícola equilibrado, com incrementos na produção e menores impactos ambientais (Pereira *et al.*, 2023). Isto posto, esse trabalho tem por hipótese que a análise do balanço hídrico sazonal forneça informações essenciais acerca da necessidade hídrica e manutenção do cultivo do feijão preto durante todo o ano, auxiliando na tomada de decisão de época de plantio e manejo de irrigação plena ou suplementar para a cultura.

Em vista disso, objetivou-se com o presente trabalho aplicar o Balanço Hídrico Sequencial pelo modelo de Thornthwaite & Mather (1955) modificado, como ferramenta para tomada de decisão no manejo hídrico na cultura do feijão

preto (*P. vulgaris* L.) em diferentes épocas de cultivo no Semiárido de Pernambuco.

Material e métodos

No presente trabalho foram consideradas as características edafoclimáticas de uma propriedade rural localizada no município de São João - PE (08°50'24,9" S, 36°22'49,8" O, 685 m de altitude), na microrregião do Agreste Meridional, na elaboração do Balanço Hídrico Sequencial

(BSH) para a cultura do feijão preto (*P. vulgaris* L.). De acordo com o sistema de classificação de Köppen, o clima nesta região é As' (Álvares *et al.*, 2013), com as maiores precipitações ocorrendo entre abril e agosto, e média anual de 798,69 mm (dados de 1999-2022 obtidos na Agência Pernambucana de Águas e Clima - APAC, 2023). O solo da área é caracterizado como Neossolo Regolítico distrófico de textura franco arenosa. Outras características físicas do solo da área são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Densidade do solo (Ds), porosidade total (PT), capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e água disponível (AD), sob diferentes profundidades na área experimental em São João, PE, Brasil.

Profundidade cm	Características Físicas do Solo				
	Ds (g cm ⁻³)	PT ----- (cm ³ cm ⁻³) -----	CC	PMP	AD
0-10	1,84	0,306	0,074	0,035	0,039
10-20	1,83	0,308	0,055	0,024	0,031
0-20	1,84	0,307	0,065	0,030	0,035

Fonte: Autores (2024).

Foi utilizado como referência a cultivar de feijão preto BRS Valente, caracterizada pela sua qualidade do grão, ampla adaptação, produtividade porte ereto e resistência ao acamamento durante todo o seu ciclo que possui duração média de 95 dias (Albrecht, Carvalho, 2004). A cultura foi avaliada sob dois regimes hídricos de cultivo: sequeiro e irrigado; e quatro épocas de cultivo: inverno-primavera (agosto a novembro de 2022), primavera-verão (novembro de 2022 a fevereiro de 2023), verão-outono (fevereiro a maio de 2023) e outono-inverno (maio a agosto de 2023), com passo de tempo diário para as simulações.

Para realizar a estimativa do balanço hídrico foram utilizados dados dos elementos climáticos temperatura (T, °C) e umidade relativa do ar (UR, %), velocidade do vento (u, m s⁻¹), precipitação pluvial (P, mm) e radiação solar global (R_g, W m⁻²). Esses dados foram adquiridos a partir de uma estação meteorológica automatizada com sensores Campbell Scientific (Anemômetro e biruta modelo Young 03002, piranômetro modelo CS300, higrômetro modelo CS215 e pluviômetro modelo CS 700) pertencente ao grupo de pesquisa Dinâmica da Água, Energia e CO₂ em Ecossistemas e Agroecossistemas (DAECO),

localizada nas coordenadas 8°50'25,02"S, 36°22'50"O. Os dados consistem em médias a cada 30 min e leituras a cada 1 minuto, armazenadas em *Datalogger* modelo CR200.

A determinação da evapotranspiração da cultura (ET_c, mm) (Equação 1) foi feita pelo método do coeficiente da cultura único (K_c) e a evapotranspiração real (ET_r, mm) pela Equação 2, proposta por Bernardo (1995). Para estimação da evapotranspiração de referência (ET_o, mm) foi utilizado o modelo de Penman-Monteith (Equação 3), parametrizado no Boletim FAO 56 (Allen *et al.*, 1998).

$$ET_c = ET_o \times K_c \quad (1)$$

Em que: ET_o é a evapotranspiração de referência (mm); K_c é o coeficiente da cultura único.

$$ET_r = ET_o \times K_c \times K_s \quad (2)$$

Em que: K_s é o coeficiente que depende da umidade do solo.

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - G) + \left(\gamma \frac{900}{T + 273} \right) u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + [\gamma (1 + 0,34 u_2)]} \quad (3)$$

Em que: Δ é a inclinação da curva da pressão de vapor d'água saturado versus temperatura do ar ($\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$); R_n é o Saldo de radiação estimado ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); G é o fluxo de calor no solo ($\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$); γ é o Coeficiente psicrométrico; T é a temperatura média do ar; u_2 é a velocidade média do vento a 2 m de altura (m s^{-1}); e_s é a pressão de saturação do vapor d'água do ar (kPa); “e” corresponde a pressão do vapor d'água do ar (kPa).

Os valores de Δ , e_s e e_a foram obtidos através das Equações 4, 5 e 6, respectivamente:

$$\Delta = \frac{4098.e_s}{(T+237,3)^2} \quad (4)$$

$$e_s = 0,6108.e^{\left(\frac{17,27.T}{T+237,3}\right)} \quad (5)$$

$$e_a = \frac{UR.e_s}{100} \quad (6)$$

Em que: UR é a umidade relativa do ar (%).

Para estimar a ET_c pelo método do K_c , o desenvolvimento da cultura foi dividido em quatro estádios fenológicos de desenvolvimento (inicial, crescimento, intermediário e final). O comprimento médio de cada fase, bem como o procedimento para o cálculo da ET_c pelo K_c único e de interpolação para ajustar o ciclo a cultivar, constam no boletim. Foi realizado o ajuste e a interpolação dos valores tabelados dos coeficientes da cultura do feijão presentes no boletim FAO 56, utilizando a abordagem indicada no próprio boletim (Equação 7) (Allen *et al.*, 1998). Para tanto, os dados edáficos da área experimental escolhida, bem como os dados climáticos reais do período de avaliação foram considerados. No caso da simulação com irrigação, foi considerada, ainda, a frequência e a magnitude da irrigação para o K_c da fase inicial.

$$K_{c_{\text{ajustado}}} = K_{c_{\text{tab}}} + [0,04(u_2 - 2) - 0,004(UR_{\text{min}} - 45)] \left(\frac{h}{3}\right)^{0,3} \quad (7)$$

Em que: $K_{c_{\text{tab}}}$ é o valor de K_c tabelado para cultura no Boletim FAO 56; u_2 é a velocidade média do vento a 2 m de altura (m s^{-1}); UR_{min} é o valor médio da umidade relativa diária mínima durante o estágio intermediário e final (%); e h a altura da planta média durante o estágio intermediário e final (m).

Para o balanço de água no solo foi empregado o modelo desenvolvido por Thornthwaite e Mather (1955) para balanço sequencial, todavia, considerando a capacidade de água disponível no solo (CAD , mm) variável, em função da profundidade efetiva do sistema radicular da cultura (Z_{ri} , m) durante seu desenvolvimento (Lyra *et al.*, 2010) (Equação 8).

$$CAD_i = 1000(\theta_{CC} - \theta_{PMP})Z_{ri} \quad (8)$$

Em que: θ_{CC} e θ_{PMP} ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) são as umidades volumétricas do solo na capacidade de campo e no ponto de murcha permanente, respectivamente, e o termo subscrito “i” representa o dia “i”.

Foram adotados os valores de θ_{CC} ($0,129 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$) e θ_{PMP} ($0,059 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$), determinados pelo método do câmaras de Richards com placas porosas de cerâmica descrito no manual de métodos de análise de solo ($0,1 \text{ atm}$ para CC e 15 atm para PMP) (Teixeira, Behing, 2017).

Em cada dia “i” a profundidade do sistema radicular, durante a fase de crescimento, foi interpolada em função da variação entre as profundidades máxima e mínima, de acordo com a equação 9.

$$Z_{ri} = Z_{ri-1} + [(Z_{rx} - Z_{rn})/L_{\text{cresc}}] \quad (9)$$

Em que: Z_{ri-1} é a profundidade da raiz no dia anterior (m); Z_m e Z_{rx} são, respectivamente, as profundidades mínima ($0,1 \text{ m}$) e máxima ($0,3 \text{ m}$) do sistema radicular; L_{cresc} é a duração da fase de crescimento (dias). Nas fases intermediária e final a profundidade da zona radicular será considerada constante e igual a Z_{rx} .

O balanço de água no solo de Thornthwaite e Mather (1955) foi calculado utilizando a equação 10.

$$ALT_i = (ARM_i - ARM_{i-1}) = (P_i + I_i) - ETR_i - EXC_i \quad (10)$$

Em que: ALT (mm) é a alteração no armazenamento da água do solo (ARM, mm); P (mm) é a precipitação pluvial; I (mm) é a irrigação; ETR (mm) é a evapotranspiração real da cultura e EXC (mm) é o excedente hídrico.

Também foi estimado o déficit hídrico (DEF, mm), conforme a equação 11.

$$DEF_i = ET_{ci} + ETR_i \quad (11)$$

Para o início das simulações foi considerado o $ARM = CAD$, para ambos os regimes. No caso da simulação usada para tomada de decisão da irrigação, a lâmina foi aplicada apenas quando $ARM_i < AFD_i$, sendo contabilizada como $I_i = CAD - ARM_{i-1}$ (Lyra *et al.*, 2010), ou seja, irrigação plena, no qual AFD ($p = CAD$) é a água facilmente disponível e p (0,5) é o fator de disponibilidade de água no solo. A AFD é o intervalo de umidade existente entre o ponto de umidade crítica (UC) e a capacidade de campo (limite da CAD). A determinação do ARM foi feita de acordo com as equações 12 e 13, para o qual $NEG.ACUCU$ (mm) é o negativo acumulado.

Quando $(P_i + I_i) - ETR_i < 0$, o $EXC_i = 0$ e a ETR_i foi determinada pela equação 10, caso contrário ETR_i , por definição, é igual a ETC_i e EXC_i será obtido pela Equação 10.

$$ARM_i = \begin{cases} CAD_i e \left(\frac{NEG.ACUCU_i}{CAD_i} \right); & \text{para } (P_i + I_i) - ETR_i < 0 \\ ARM_{i-1} + (P_i + I_i - ETR_i); & \text{para } (P_i + I_i) - ETR_i \geq 0 \end{cases} \quad (12)$$

$$NEG.ACUCU_i = \begin{cases} NEG.ACUCU_{i-1} - (P_i + I_i - ETR_i); & \text{para } (P_i + I_i) - ETR_i < 0 \\ CAD_i \ln \left(\frac{ARM_i}{CAD_i} \right); & \text{para } (P_i + I_i) - ETR_i \geq 0 \end{cases} \quad (13)$$

Os dados foram processados no Microsoft Office Excel e a plotagem das figuras apresentadas nos resultados foi gerada utilizando o programa Origin 6.0.

Resultados e discussão

O período mais seco, com 57 dias sem ocorrência de chuva, corresponde à Época 1 (agosto a novembro 2022), com precipitações atenuadas somando um total de 294 mm. A Época 2 (novembro a fevereiro de 2023) apresentou um aumento na ocorrência de precipitações mais intensas, acumulando 310,00 mm. A Época 3 (fevereiro a maio) foi o período que teve o menor acúmulo com um total de 266,00 mm. A Época 4 (outono-inverno (maio a agosto 2023) apresentou uma boa distribuição temporal, além de eventos de menor intensidade, sendo este o período chuvoso da região, somando 631,00 mm conforme mostra a Figura 1.

Segundo a Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC) a precipitação média anual do município de São João é de 875 mm (APAC, 2023). A soma da precipitação média dos meses de agosto a novembro (Época 1) é de 169 mm; para os

meses de novembro a fevereiro (Época 2) é de 232 mm; para fevereiro a maio (Época 3) é de 308 mm; e para maio a agosto (Época 4) é de 506 mm. Comparando a média histórica do município com os dados observados durante o período de estudo, é possível constatar que os meses de agosto a dezembro de 2022 e janeiro a agosto de 2023 apresentaram um comportamento atípico para a variável precipitação.

Sabe-se que a ET_o é relativa a algumas variáveis meteorológicas como a temperatura, radiação solar, umidade relativa do ar, gradiente de pressão atmosférica e velocidade do vento (Pour *et al.*, 2020; Silva *et al.*, 2022). Houve notáveis oscilações na evapotranspiração de referência (ET_o) durante as diferentes fases de cultivo: durante a Época 1 (inverno-primavera), a variação esteve entre 1,36 e 7,06 mm dia^{-1} , com média de 4,45 mm dia^{-1} ; na Época primavera-verão a média foi de 5,07 mm dia^{-1} , variando entre 1,68 e 7,26 mm dia^{-1} ; durante a Época 3 (verão-outono) a oscilação esteve entre 2,35 e 6,24 mm dia^{-1} e média de 4,39 mm dia^{-1} ; já na Época 4, a média diminuiu para 3,22 mm dia^{-1} , variando entre 1,47 e 4,87 mm dia^{-1} (Figura 1). No período outono-inverno (Época 4), período em que foram registrados maiores índices de precipitação, foi observado uma redução nos valores de ET_o decorrente do aumento da nebulosidade atmosférica causada pela presença de nuvens, diminuindo a incidência dos raios solares e a temperatura do ar, resultando em menor demanda hídrica atmosférica (Moura, *et al.*, 2019; Araújo *et al.*, 2021; Silva *et al.*, 2023).

Essas oscilações nos valores de ET_o entre as épocas de cultivo podem acarretar impactos significativos para a cultura, tanto em sistema irrigado, por meio da eficiência do uso da água e produtividade, quanto de sequeiro, através dos efeitos no desenvolvimento vegetativo e na resistência e adaptabilidade à seca. Em suma, a caracterização do comportamento anual da ET_o em uma determinada região se enquadra como uma importante ferramenta (Castro, Santos, 2020; Matos *et al.*, 2020) para otimizar o cultivo do feijão, melhorando os índices produtivos e a sustentabilidade da cultura.

Evapotranspiração Real (ETR) é definida como a quantidade de água transferida para a atmosfera por evaporação e transpiração, nas condições reais ou existentes de fatores atmosféricos e umidade do solo (Lins, *et al.*, 2021; Santos, 2020). Portando, Rodrigues *et al.* (2024) e Araújo *et al.* (2021) enfatizam que estimativas realistas de evapotranspiração são importantes na

gestão e planejamento dos recursos hídricos, pois são uma componente importante da gestão da água na agricultura e nos estudos de balanço hídrico local e regional, especialmente em regiões Semiáridas. Isto posto, além das variáveis meteorológicas e do solo, a evapotranspiração da cultura (ETc) é ajustada em função do coeficiente único da cultura (Kc) que, por sua vez, varia em decorrência das condições climáticas da área de cultivo e das características específicas de cada cultura, tais como o tipo de metabolismo, área foliar, altura e entre outros fatores, mudando, também, de acordo com o estágio fenológico da planta (Albuquerque, Coelho, 2021; Venancio *et al.*, 2021; Nascimento, *et al.*, 2024). Quando o

cultivo é conduzido em regime irrigado, assume-se que toda a demanda hídrica da cultura é suprida, igualando-se a ETc, não havendo déficit hídrico. Dessa forma ET_r e ET_c são equivalentes no regime irrigado.

No regime irrigado, a ET_c diária (Figura 2) variou de 1,0 a 7,3 mm dia⁻¹, com média de 3,96 mm dia⁻¹; 0,2 a 7,5 mm dia⁻¹, com média de 4,46 mm dia⁻¹; 0,2 a 6,5 mm dia⁻¹, com média de 0,4 mm dia⁻¹; 0,9 a 5,0 mm dia⁻¹, com média de 2,9 mm dia⁻¹, acumulando 372,7, 419, 368,5 e 272,3 mm, para as Épocas: inverno-primavera (2A), primavera-verão (2B), verão-outono (2C) e outono-inverno (2D), respectivamente.

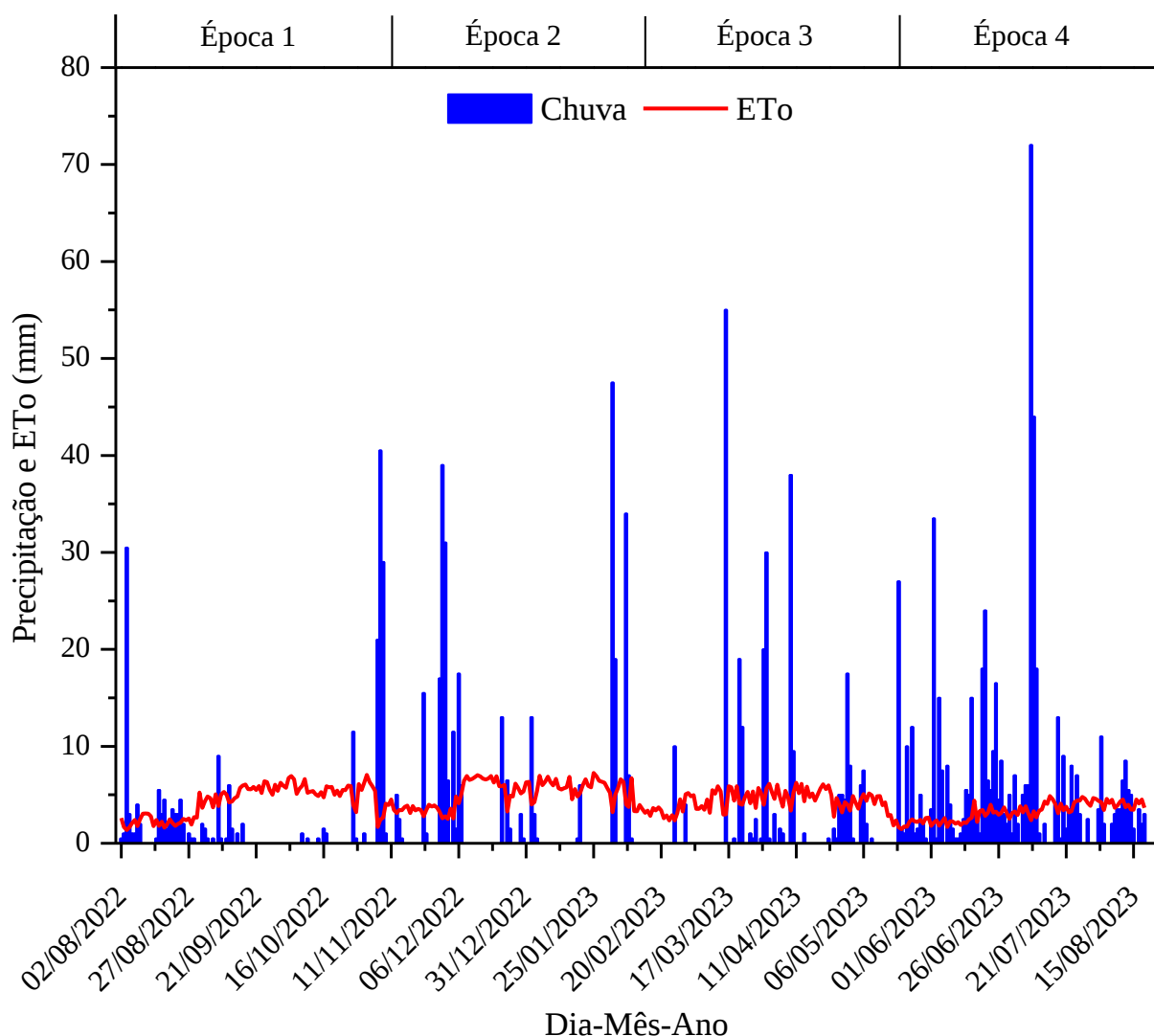


Figura 1. Valores diários de precipitação e evapotranspiração de referência (ET_o) durante cultivo de feijão preto BRS Valente em regime sequeiro e irrigado em quatro épocas: inverno-primavera (Época 1), primavera-verão (Época 2), verão-outono (Época 3) e outono-inverno (Época 4) no município de São João, agreste de Pernambuco.

Em contraponto, no regime de sequeiro, a ETr diária oscilou de 0,0 a 5,1 mm dia⁻¹, com média de 0,92 mm dia⁻¹; 0,0 a 6,5 mm dia⁻¹, com média de 1,44 mm dia⁻¹; 0,0 a 6,5 mm dia⁻¹, com média de 1,84 mm dia⁻¹; 0,7 a 5,0 mm dia⁻¹, com média de 2,58 mm dia⁻¹, somando 86,4, 135,6, 172,8 e 242,3 mm, para as Épocas: inverno-primavera (2A), primavera-verão (2B), verão-outono (2C) e outono-inverno (2D), respectivamente.

Na Época 1, a evapotranspiração da cultura (ETc) diária (Figura 2) demonstrou uma intensificação a partir do dia 39 e continuou crescente até aproximadamente aos 90 dias após a semeadura (DAS), foi observado o mesmo comportamento variável em todas as épocas de cultivo. Esse aumento da ETc ocorre devido a transição da fase vegetativa para a reprodutiva,

desencadeando alterações significativas nos processos fisiológicos e aumento da área foliar e fotossintética, essa mudança para fase reprodutiva é acompanhada por um aumento na demanda de recursos, sendo a água um dos principais (Djaman, *et al.*, 2019). Com o desenvolvimento de flores, frutos e sementes há um aumento da atividade fisiológica da planta resultando na intensificação da perda de água para o ambiente.

Dessa forma, os baixos valores de evapotranspiração são causados pelo baixo armazenamento de água no solo, resultado da má distribuição das chuvas na região (Silva *et al.*, 2021). O baixo abastecimento de água da chuva, combinado com altas temperaturas e baixa umidade relativa, contribui diretamente para a escassez de água no solo e, portanto, prejudica as

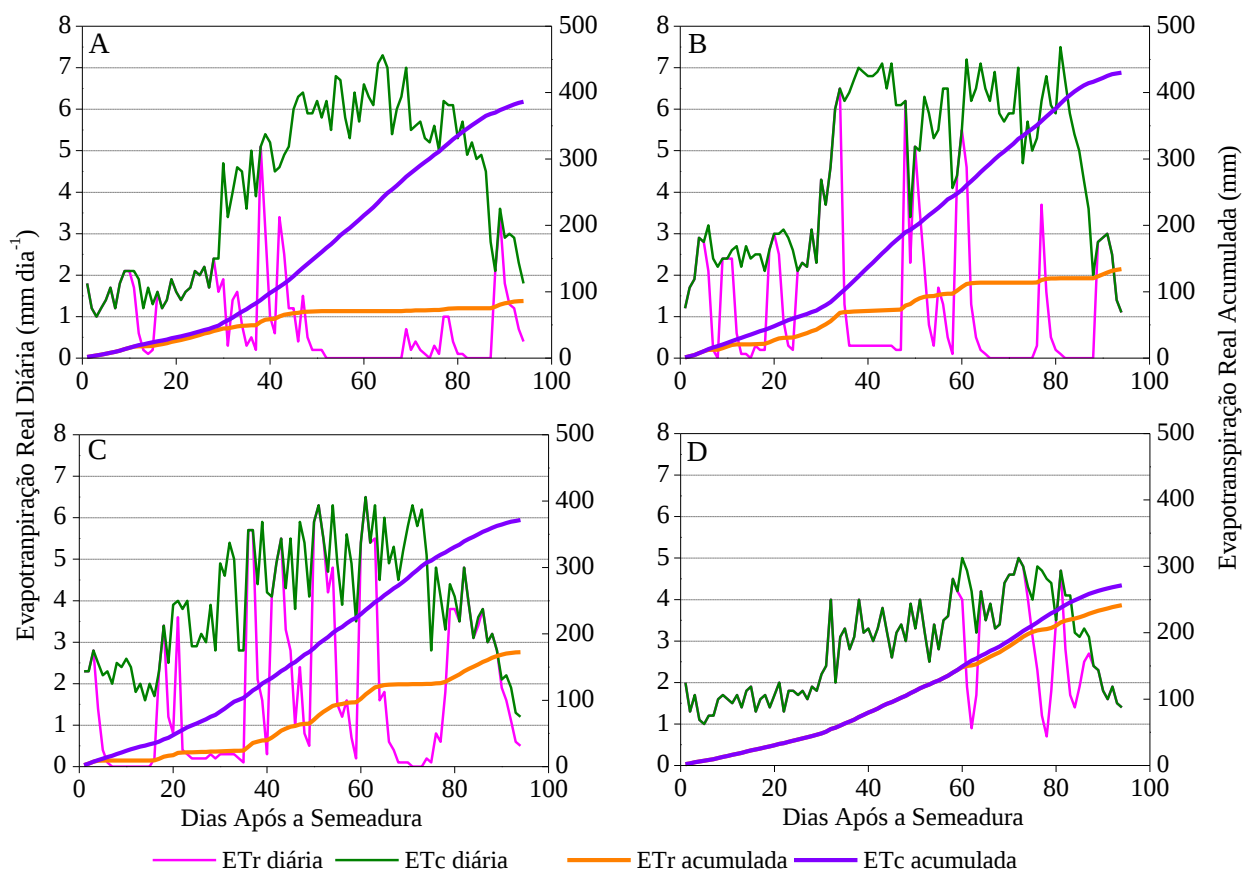


Figura 2. Evapotranspiração real (ETr) e da cultura (ETc) diária e acumulada para cultivo de feijão preto BRS Valente em regime irrigado e de sequeiro em quatro épocas: (A) inverno-primavera (Época 1), (B) primavera-verão (Época 2), (C) verão-outono (Época 3) e (D) outono-inverno (Época 4) no município de São João, agreste de Pernambuco.

culturas que dependem exclusivamente da chuva para suprir as suas necessidades hídricas (Lima *et al.*, 2020; Rocha *et al.*, 2021; Bigatão, Flumignan,

Garcia, 2022). Desse modo, segundo Schmidt *et al.* (2018), quando as chuvas diminuem ou cessam, a água disponível para absorção, e posterior

transpiração, para as plantas se torna escassa e de difícil acesso, principalmente por se tratar de região semiárida, com solos rasos e arenosos com superfície pouco vegetada com umidade disponível para ETr.

O balanço de água no solo (Figura 3) consiste na estimativa do armazenamento de água em determinado solo em função das entradas (precipitação e irrigação) e saídas (escoamento superficial, percolação profunda, ascensão capilar/evaporação e absorção pela vegetação local) de água. A capacidade de água disponível (CAD) para os cultivos é estimada em função da profundidade efetiva das raízes e da água disponível no solo (Sousa, Assunção, 2021; Mantovanelli *et al.*, 2022). Quanto à cultura, consideram-se as cultivares e sua classificação em grupos de características fenológicas homogêneas, associadas à duração dos diferentes ciclos da cultura, precoces, médios e tardios (Santos *et al.*,

2018). O ARM diz respeito à variação de armazenamento de água no volume considerado, por intervalo de tempo, representando o que entrou e o que saiu de água em um volume de solo, sendo um a variável de extrema importância para as atividades agrícolas (Aparecido *et al.*, 2018; Araújo *et al.*, 2021).

De acordo com o apresentado na Figura 3, verifica-se que durante o regime de cultivo irrigado o ARM permaneceu sempre próximo a capacidade de campo (CC), que por sua vez, é limitada a CAD. Esse comportamento decorre do regime utilizado, no qual as lâminas de irrigação são calculadas e aplicadas de forma plena, em função da variação do ARM, considerando-se a lâmina aplicada anteriormente e os eventos de precipitação (entradas) e as perdas por evapotranspiração (saída), de modo a evitar estresse por déficit hídrico nas plantas (Lopes Sobrinho *et al.*, 2020; Araújo *et al.*, 2021; Oliveira, Grigório, Fernandes, 2024).

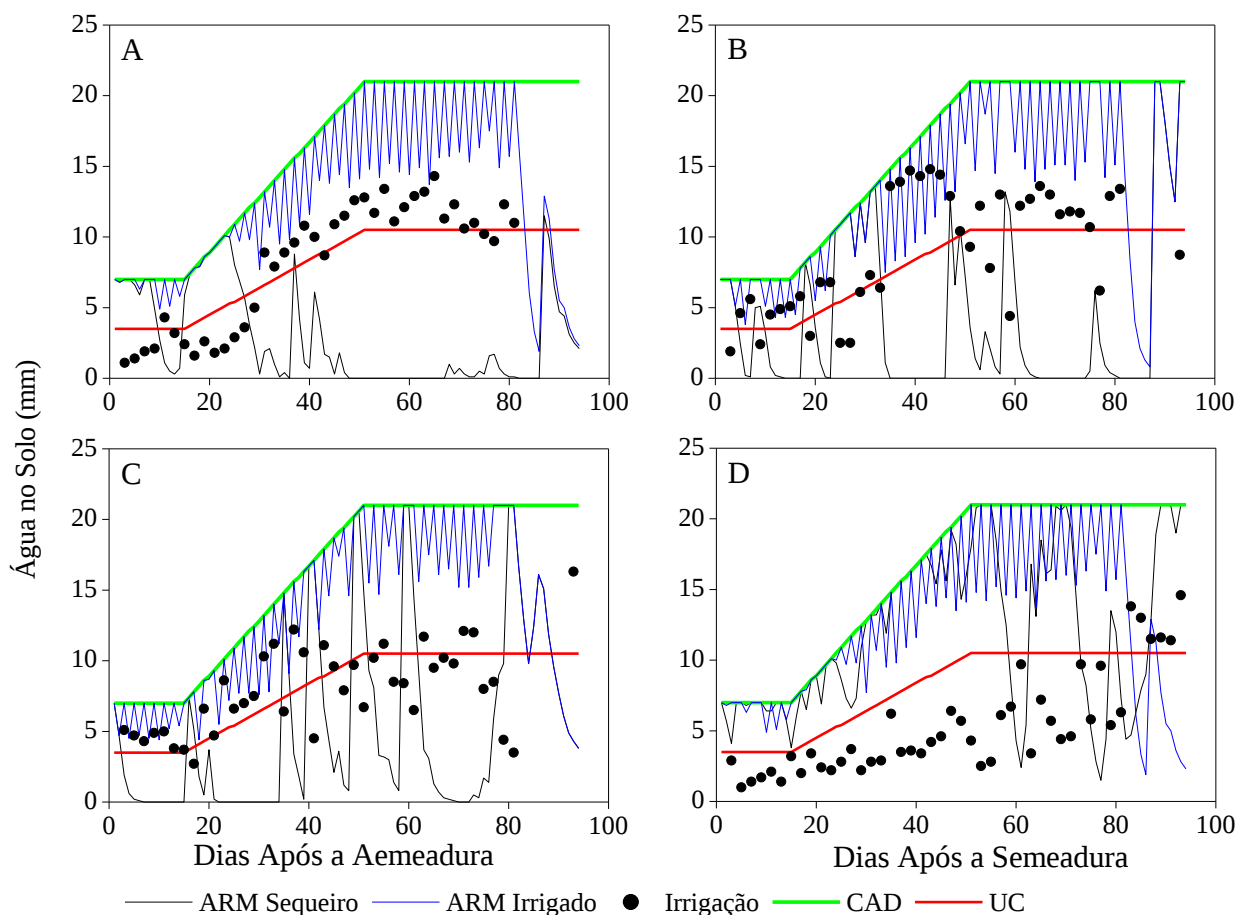


Figura 3. Valores diários da capacidade de água disponível (CAD), umidade crítica (UC) e armazenamento de água no solo (ARM) para cultivo de feijão preto BRS Valente em regime irrigado e de sequeiro em quatro épocas: (A) inverno-primavera (Época 1), (B) primavera-verão (Época 2), (C) verão-outono (Época 3) e (D) outono-inverno (Época 4) no município de São João, agreste de Pernambuco.

Em contraponto, em cultivo sob regime de sequeiro, o ARM da fase inicial, para as Épocas 1, 2 e 3, variou significativamente durante todo o ciclo de cultivo. Durante a Época 1 (Figura 3A) o ARM se manteve majoritariamente abaixo da umidade crítica (UC), atingindo intervalo UC e ponto de murcha permanente (PMP), no qual a água se encontra indisponível para absorção da planta. Nas Épocas 2 e 3 (Figura 3B e 3C) o comportamento do ARM apresentou comportamento semelhante, sendo alterado apenas pela ocorrência de eventos de precipitação que elevaram, eventualmente, o ARM para o intervalo de água facilmente disponível (AFD) (intervalo entre a CAD e UC), todavia, durante os intervalos entre os eventos, o ARM decaiu para baixo da UC, indicando a indisponibilidade de absorção de água pela cultura.

Na Época 4, que compreende o período chuvoso da região (maio a agosto), o comportamento do ARM se mantém constante durante os primeiros 50 DAS, a partir desse ponto o ARM tem maior oscilação, atingindo ocasionalmente o intervalo de água indisponível.

O comportamento do ARM observado sob o cultivo de sequeiro resulta do regime utilizado, no qual toda a demanda hídrica da cultura é atendida exclusivamente pela água da chuva, tornando a cultura susceptível a ocorrência de veranicos e, por consequência, estresse por déficit hídrico. O município de estudo está localizado na microrregião do Agreste Meridional Pernambucano, enquadrado pela Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE) (Sudene, 2021) como pertencente a região semiárida do Brasil. Tem como características climáticas baixa nebulosidade, precipitação média anual inferior a 880 mm, elevadas temperaturas (média anual de 28 °C) e chuvas mal distribuídas no tempo e espaço (APAC, 2023). O solo da área é classificado como Neossolo Regolítico distrófico, com baixo teor de matéria orgânica, alta permeabilidade e baixa capacidade de retenção de água (Almeida *et al.*, 2015).

Em decorrência dessas características, mesmo durante a época chuvosa da região (Época 4), com chuvas menos intensas e mais bem distribuídas no tempo, apenas a precipitação não foi suficiente para atender a demanda hídrica do feijoeiro, submetendo as plantas a períodos de déficit hídrico em fases cruciais do desenvolvimento da cultura (R7-floração; e R8-

enchimento de grãos) (Jerszurki *et al.*, 2018; Silva *et al.*, 2021; Yan *et al.*, 2022). Nas demais Épocas, devido a constatare submissão das plantas a déficit hídrico, a cultura tem não apenas a produtividade, mas também a conclusão de seu ciclo de cultivo comprometidos, uma vez que o baixo suprimento hídrico reduziu a umidade no solo ao ponto de murcha permanente, no qual as plantas entram em estado de senescência devido a desidratação (Torres *et al.*, 2021; Almeida *et al.*, 2023; Cruz *et al.*, 2023). Em estudos realizados por Moraes, Bonetti e Cherubin (2020) e Wiecheteck *et al.*, (2020), foi constatado que, ao contrário de outros autores, que relacionam o ponto de murcha permanente diretamente com as características do solo, o PMP está associado também a capacidade biológica das plantas de absorver a água retida em baixos potenciais matriciais no solo.

O feijoeiro é extremamente sensível a situações de estresse hídrico, situação na qual, dependendo de sua duração, intensidade e frequência, pode perturbar os processos metabólicos, prejudicando no rendimento de grãos (Silva *et al.*, 2021; Soares *et al.*, 2021; Pereira *et al.*, 2022). Diante disso, é imprescindível o monitoramento e conhecimento das características agrometeorológicas locais e, com base em dados fidedignos e na disponibilidade hídrica, econômica e tecnológica, realizar a escolha adequada da melhor época de cultivo, a qual implicará na necessidade, ou não, da utilização de irrigação suplementar ou plena para garantir um desenvolvimento e produtividade economicamente satisfatórios.

Conclusões

Na região de São João, Semiárido de Pernambuco, a demanda hídrica da cultura do feijão preto comum é de 373, 419, 369 e 273 mm para cultivos de inverno-primavera, primavera-verão, verão-outono e outono-inverno, respectivamente, em que somente a precipitação pluvial não é suficiente para suprir essa demanda de forma satisfatória, em função da má distribuição no tempo dos eventos de chuva, sendo necessário a utilização de irrigação suplementar ou plena.

Agradecimentos

Ao grupo de pesquisa Dinâmica da Água, Energia e CO₂ em Ecossistemas e Agroecossistemas (DAECO) pela disponibilização dos dados meteorológicos utilizados no trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Produção Agrícola – PPGPA da Universidade Federal do Agreste de Pernambuco – UFAPE pela oferta da disciplina Dinâmica da Água no Sistema Solo-Planta-Atmosfera que possibilitou a produção do presente trabalho.

A Universidade Federal do Agreste de Pernambuco – UFAPE por disponibilizar a estrutura necessária a condução da disciplina Dinâmica da Água no Sistema Solo-Planta-Atmosfera e realização do presente trabalho.

Referências

- Albrecht, J.C., Carvalho, W.P. 2004. BRS Valente: nova cultivar de feijoeiro comum do grupo comercial preto para o Distrito Federal e Noroeste Mineiro. Comunicado Técnico 109. Embrapa Cerrado: Planaltina – DF, 1-3. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/CPAC-2009/26209/1/comtec_109.pdf>. Acesso em: 22 dez. 2024.
- Albuquerque, P.E.P., Coelho, E.A. 2021. Planilha para obtenção de coeficiente de cultura (Kc) para culturas de ciclo anual, segundo método FAO, para as condições climáticas brasileiras. Comunicado Técnico 254. Embrapa Milho e Sorgo: Sete Lagoas – MG, 1-17. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1136374>>. Acesso em: 22 dez. 2024.
- Allen, R.A., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop requirements - FAO Irrigation and Drainage Paper, 56. Food and Agriculture Organization, Rome. Disponível em: <<https://www.fao.org/4/x0490e/x0490e00.htm>>.
- Almeida, P.M., Fortuna, V., Marco, N.K., Almeida, K.R., Pazzini, E.P., Piazzetta, H.V.L. 2023. Ajuste da lâmina de irrigação no desempenho agrônomo da cultura do milho. Revista Irriga [Online], 28(2), 348-361. DOI: 10.15809/irriga.2023v28n2p348-361
- Almeida, A.V.D.L., Corrêa, M.M., Lima, J.R.S., Souza, E.S., Santoro, K.R., Antonino, A.C.D., 2015. Atributos físicos, macro e micromorfológicos de Neossolos Regolíticos no agreste meridional de Pernambuco. Revista Brasileira de Ciência do Solo [Online] 39, 1235-1246. DOI: 10.1590/01000683rbcs20140757.
- Álvares, C.A., Stape J.L., Sentelhas P.C., Gonçalves J.L.M., Sparovek G., 2013. Köppen's climate classification map for Brazil. Meteorologische Zeitschrift [Online], 22, 711-728. DOI: 10.1127/0941-2948/2013/0507
- APAC. Agência Pernambucana de Águas e Clima, 2023. Monitoramento pluviométrico. Disponível em: <<http://old.apac.pe.gov.br/meteorologia/monitoramento-pluvio.php#>>. Acesso em 10 Dez. 2023.
- Aparecido, L.E.O., Rolim, G.S.; Moraes, J.R.S.C., Rocha, H.G., Lense, G.H.E., 2018. Agroclimatic zoning for urucum crops in the state of Minas Gerais, Brazil. Bragantia [Online] 77, 193-200. DOI: 10.1590/1678-4499.2016527
- Araújo, E.R., Silva, S., Silva, C.S., Souza, J.E., Sousa, A.C.P., Teodoro, I., 2021. Balanço sazonal de água no solo para manejo da irrigação de milho no semiárido de Alagoas. Revista Verde [Online] 16, 253-258. DOI: 10.18378/rvads.v16i3.8015
- Bigatão, P.R., Flumignan, D.L., Garcia, R.A. 2022. Produtividade de genótipos de soja e milho safrinha em ambiente irrigado e sequeiro. Jornada de Iniciação à Pesquisa da Embrapa (Jipe). Embrapa Agropecuária Oeste: Dourados – MS. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1151771>>. Acesso em: 22 dez. 2024.
- 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 [Online] 13, 870-886. DOI: 10.26848/rbgf.v13.2.p870-886
- Campos, A.J.M., Santos, S. M., Nacarath, I.R.F.F. Water stress in plants: a review, 2021. Research, Society and Development, [Online], 10, e311101523155. DOI: 10.33448/rsd-v10i15.23155.
- Castro, P.A.L., Santos, G.O. 2020. Condições climáticas como ferramenta de planejamento agrícola e urbano, o caso do município de Rio Verde, Goiás. Revista em Agronegócio e Meio Ambiente [Online], 14(3), 717-732. DOI: 10.17765/2176-9168.2021v14n3e8119
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento, 2023. Acompanhamento da Safra Brasileira 2022/23, décimo segundo levantamento, Brasília: CONAB, dezembro de 2023. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos>>. Acesso em: 09 dez. 2023.
- Cruz, N.T., Porto, E.M.V., Ramos, B.L.P., Santos, H.P., Seixas, A.A., Santos, A.P.S. 2023. Estresse hídrico em plantas forrageiras: uma breve

- revisão. Revista Científica Rural [Online], 25(1), 221-238. DOI: 10.29327/246831.25.1-14
- Djaman, K., Rudnick, D.R., Moukoubi, Y.D., Sow, A., Irmak, S., 2019. Actual evapotranspiration and crop coefficients of irrigated lowland rice (*Oryza sativa* L.) under semiarid climate. Italian Journal of Agronomy [Online], 604(1059), 19-25. DOI: 10.4081/ija.2019.1059
- Duarte, J.R.M., Basílio, S.A., Silva, M.B., Vaz, V., Pires, J.P.D., Berti, M.P.S., 2021. Produtividade e qualidade de sementes de feijão em resposta a fertilizante mineral, biofertilizante e pó de rocha. Revista Cultura Agronômica [Online], 30(1), 78-92. DOI: 10.32929/2446-8355.2021v30n1p78-92
- FAOSTAT. Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database Production, 2023. Quantities of bean. Disponível em: <<https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL/visualize>>.
- FETAPE. Federação dos Trabalhadores Rurais Agricultores e Agricultoras Familiares do Estado de Pernambuco, 2023. Chuvas prejudicam produção de feijão no agreste de Pernambuco. Disponível em: <<https://www.fetape.org.br/noticias-detalle/chuvas-prejudicam-producao-de-feijao-no-agreste-de-pernambuco/6359>>. Acesso em: 14 nov. 2023.
- Franco, L.B., Pessoa, U.C.M., Albuquerque Filho, J.A.C., Franco, G.B., Freire, M.M., 2019. Simulação matemática do comportamento hidráulico do gradiente de pressão em linhas laterais de microirrigação. Revista Brasileira de Agricultura Irrigada-RBAI [Online], 13(6), 3703-3713. DOI: 10.7127/rbai.v13n6001134
- Gutierrez, M.I., Neves, E. A importância do monitoramento da umidade do solo através de sensores para otimizar a irrigação nas culturas. 2021. Enciclopédia Biosfera [Online], 18(35), 1-16. DOI: 10.18677/EnciBio_2021A1.
- Jerszurki, D., Souza, J.L.M., Adamuchio, J.G., 2018. Funções de estimativa do armazenamento de água no solo sob diferentes níveis de capacidade de água disponível. Revista Brasileira de Ciências Agrárias [Online] 13(3), 1-9. DOI:10.5039/agraria.v13i3a5552.
- Lima, C.I.S., Silva, F.D.S., Freitas, I.G.F.D., Pinto, D.D.C., Costa, R.L., Gomes, H.B., Silva, E.H.L., Silva, L.L., Silva, V.P.R., Silva, B.K.D.N., 2020. Método alternativo de zoneamento agroclimático do milho para o estado de Alagoas. Revista Brasileira de Meteorologia [Online] 35, 1057-1067. DOI: 10.1590/0102-778635500113
- Lins, F.A.C., Montenegro, A.A.D.A., Farias, C.W.L.D.A., Chagas, A.M.S.D., Miranda, R.D.Q., Galvêncio, J.D. 2021. Análise da dinâmica temporal da evapotranspiração real em uma bacia hidrográfica do semiárido através de modelagem hidrológica e sensoriamento remoto. Revista Irriga [Online], 26(3), 543-564. DOI: 10.15809/irriga.2021v26n3p543-564
- Lyra, G.B., Lyra, G.B., Souza, J.L., Santos, M.A., 2010. Balanço sequencial de água no solo para o manejo da irrigação de baixa frequência e alta intensidade na cana-de-açúcar. STAB [Online], 28(4), 22-25.
- Lopes Sobrinho, O.P., Santos, L.N.S., Santos, G.O., Cunha, F.N., Soares, F.A.L., Teixeira, M.B. 2020. Balanço hídrico climatológico mensal e classificação climática de Köppen e Thornthwaite para o município de Rio Verde, Goiás. Revista Brasileira de Climatologia [Online], 27, 19-33. DOI: 10.5380/abclima.v27i0.68692
- Mantovanelli, B.C., Petry, M.T., Martins, J.D., Carlesso, R. 2022. Qualidade física de solos do Brasil e aplicabilidade de métodos para estimativas de retenção de água no solo: A revisão. Revista de Educação Tecnológica e Científica [Online], 3(1), 87-100. Disponível em: <<https://revistaedutec.ifro.edu.br/index.php/revistaedutec/article/view/99>>. Acesso em: 22 dez. 2024.
- 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 [Online], 13(3), 973-982. DOI: 10.26848/rbgf.v13.3.p973-982
- Momprenier R., Her, Y., Hoogenboom, G., Migliaccio, K., Muñoz-Carpena, R., Brym, Z., Colbert, R.W., Jeune, W., 2021. Modeling the response of dry bean yield to irrigation water availability controlled by watershed hydrology. Agricultural Water Management [Online], 243, 106429. DOI: 10.1016/j.agwat.2020.106429
- Moreira, J.A.L., Stone, L.F., Baiava, M., 2021. Feijão: o produtor pergunta, a Embrapa responde. 203. Brasília-DF: Embrapa Informação Tecnológica. Disponível em: <<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/88673>>. Acesso em: 29 nov. 2023.
- Moura, M.M., Santos, A.R., Pezzopane, J.E.M., Alexandre, R.S., Silva, S.F., Pimenta, S.M., Andrade, M.S.S., Silva, F.G.R., Branco, E.R.F., Moreira, T.R., Silva, R.G., Carvalho, J.R., 2019. Relation of El Niño and La Niña phenomena to

- precipitation, evapotranspiration and temperature in the Amazon basin. *Science of the Total Environment* [Online] 651(1), 1639-1651. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.09.242
- Moraes, M.T., Bonetti, J.A., Cherubin, M.R. 2020. Relações da água com parâmetros físicos e crescimento radicular das plantas. In: Bonetti, J.A., Fink, J.R. (org.). *Manejo e conservação da água e do solo*. 1. ed. Lavras: UFLA, 2020, 39-58.
- Nascimento, V.F., Queiroz, T.M., Matos, R.M, Santos, B.D.B., Dipple, F.L. 2024. Coeficiente de cultura (Kc) do feijão mungo cultivado nas condições edafoclimáticas de Mato Grosso. *Revista Observatório de la Economía Latinoamericana* [Online], 22(7), e5624. DOI: 10.55905/oelv22n7-045
- Obzut, D., Marcondes, L.A., Girardi, L.E., Brito, R.M.D., Damazio, T.A., Moraes, T.B D., Bastos, L.H., 2023. *Manejo Fitotécnico do Feijão. Projeto Integrado*. Disponível em: <http://localhost:8080/handle/prefix/5881>. Acesso em: 11 dez. 2023
- Oliveira, A.C., Araujo, A. F. B., Lacerda, C.F., Canjá, J.F., Pinho, L.L., Sousa, N.I.G. 2020. Influência da irrigação suplementar com águas residuárias sobre as trocas gasosas foliares do algodoeiro. *IRRIGA* [Online], 25(4), 677-682. DOI: 10.15809/irriga.2020v25n4p677-669.
- Oliveira, M.S., Grigório, A.C.S., Fernandes, B.R. 2024. Análise comparativa do balanço hídrico nos municípios de Porto Seguro (Bahia) e Viçosa (Minas Gerais). *Revista Holos Environment* [Online], 24(2). DOI: 10.14295/holos.v24i2.12491
- Oliveira, D.M., Lima, G.D.S., Campos, J.F.D., Rocha, M.F.D.S.S., Costa, C.T.S., 2022. Balanço hídrico e componentes de produção do feijoeiro irrigado em Naviraí-MS. *Encontro Internacional de Gestão, Desenvolvimento e Inovação (EIGEDIN)*, 6(1), 1-11.
- Pereira, C.S., Maso, P.A.D., Fiorini, I.V.A., Lange, A., Pereira, H.D. 2022. Emergência de sementes de feijoeiro em solos com diferentes períodos de estresse hídrico. *Revista Tecno-Lógica* [Online], 26(2), 157-166. DOI: 10.17058/tecnolog.v26i2.16785
- Pereira, E.M., Beker, J.P.S., Schmoeller, R.P. 2024. Aplicação de Machine Learning na previsão da produtividade da soja. *Revista Pleiade* [Online], 18(45), 25-38. DOI: 10.32915/pleiade.v18i45.1069
- Pereira, R.C.G., Costa, S.A.T., Araújo Júnior, G.N., Souza, L.S.B., Pinheiro, A.G., Moraes, J.E.F., Alves, C.P., Jardim, A.M.R.F., Gomes, J.E.A., Silva, T.G.F. 2023. Modelo de simulação AquaCrop na determinação do Yield Gap do milho e do sorgo forrageiro em ambiente semiárido: uma revisão bibliográfica. *Revista Brasileira de Geografia Física* [Online], 16(6), 3225-3245. DOI: 10.26848/rbgf.v16.6.p3225-2545
- Pour, S.H., Wahab, A.K.A., Shahid, S., Smail, Z.B., 2020. Changes in reference evapotranspiration and its driving factors in peninsular Malaysia. *Atmospheric Research* [Online] 246, 105096. DOI: 10.1016/j.atmosres.2020.105096
- Rocha, T.B.C., Vasconcelos Júnior, F.C., Silveira, C.S., Martins, E.S.P.R., Gonçalves, S.T., Silva, E.M., Alves, J.M.B., Sakamoto, M.S. 2021. Indicadores de Veranicos e de Distribuição de Chuva no Ceará e os Impactos na Agricultura de Sequeiro. *Revista Brasileira de Meteorologia* [Online], 36(3), 579-589. DOI: /10.1590/0102-7786363004
- Rodrigues, D.A.L., Santos, C.M., Farias, V.D.S., Silva, M.B.P., Teramoto, E.T., Santana, G.S. (2024). Modelos geoestatísticos na avaliação e estimativa temporal da evapotranspiração de referência. *Nativa* [Online], 12(4), 732-743. DOI: 10.31413/nat.v12i4.17568
- Santos, D.B., Medeiros, S.S., Rocha, T.A.L.C.G., Batista, R.O., Santos Júnior, J.A., Mesquita, F.O., Macedo, R.S., Vasconcelos, E.S.A.G., Bakker, A.P., 2022. Chemical characteristics of a bean-cultivated acrisol irrigated with saline water. *Agricultural Water Management* [Online] 263, 107397. DOI: 10.1016/j.agwat.2021.107397
- Santos, H.G., Jacomine, P.K.T., Anjos, L.H., Oliveira, V.A., Lumberras, J.F., Coelho, M.R., Almeida, J.A., Araújo Filho, J.C., Oliveira, J.B., Cunha, T.J.F., 2018. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. 5. ed. Rev. Ampl. Brasília: Embrapa, 356.
- Santos, J.E.O., Cunha, F.F., Figueiras, R., Silva, G.H., Teixeira, A.H.C., Silva, F.C.S., Sediya, G.C., 2020. Performance of SAFER evapotranspiration using missing meteorological data. *Agricultural Water Management* [Online] 233, 106076. DOI: 10.1016/j.agwat.2020.106076
- Schmidt, D.M., Lima, K.C., Jesus, E.S., 2018. Variabilidade climática da disponibilidade hídrica na região semiárida do Estado do Rio Grande do Norte. *Anuário do Instituto de Geociências* [Online] 41(3), 483-491. DOI: 10.11137/2018_3_483_491
- Silva, A.N., Ramos, M.L.G., Ribeiro Júnior, W.Q., Alencar, E.R., Silva, P.C., Lima, C.A., Vinson, C.C., Silva, M.A.V., 2020. Water stress alters physical and chemical quality in grains of

- common bean, triticale and wheat. *Agricultural Water Management* [Online] 231, 106023. DOI: 10.1016/j.agwat.2020.106023
- Silva, R.N., Souza, W.M., Sales Filho, R., Andrade, H.M.L.S., Andrade, L.P., 2021. A seca 2012-2015: os impactos na produção de feijão. *Diversitas Journal* [Online] 6(2), 1841-1852. DOI: 10.17648/diversitas-journal-v6i2-1797.
- Silva, S., Neves, E., 2020. Importância do manejo da irrigação. *Enciclopedia biosfera*, 17(34), 271-288. DOI: 10.18677/EnciBio_2020D21
- Silva, T.T.S., Guerra, H.O.C., Silva, B.B.; Santos, C.L.M., Guimarães, J.P., Santos J., 2021. Evapotranspiration of banana tree using the SEBAL algorithm in an irrigated perimeter from the Northeastern Brazil. *Brazilian Journal of Agricultural and Environmental Engineering* [Online] 25(3), 149-155. DOI: 10.1590/1807-1929/agriambi.v25n3p149-155
- Silva, M.B.P., Souza, V.C., Cremasco, C.P., Calça, M.V.C., Santos, C.M., Cremasco, C.P., Gabriel Filho, L.R.A., Rodrigues, S.A., Escobedo, J.F. 2022. Estimated reference evapotranspiration of the Paulista Plateau through multiple regressions with missing data estimated via main component analysis. *Research, Society and Development*, [Online], 11(8), e43211831120. DOI: 10.33448/rsd-v11i8.31120.
- Silva, S., Correia, A.A., Souza, R.O., Santos, M.A.L., Souza, E.L., Sampaio, G.M., Sá, J.R.S., Gonçalves, A.F. 2023. Teor de matéria seca e produtividade do milho sob deficiência de água em diferentes fases fenológicas. *Observatório de la Economía Latinoamericana* [Online], 21(11), 21345-21364. DOI: 10.55905/oelv21n11-149
- Soares, L.A.A., Medeiros, T.L.F., Colman, V.C.G., Palmeira, I.V.S., Silva, I.J., Moreira, R.C.L. 2021. Estratégias de irrigação com déficit hídrico nos estádios fenológicos do feijão-caupi sob adubação potássica. *Revista Irriga* [Online], 26(1), 111-122. DOI: 10.15809/irriga.2021v26n1p111-122
- Sousa, F.A., Assunção, H.F. 2021. Capacidade de armazenamento de água no solo (CAD) e características físicas dos solos na avaliação da distribuição da água das chuvas na Alta Bacia do Ribeirão Santo Antônio. *Revista Brasileira de Geografia Física* [Online], 14(6), 3635-3647. DOI: 10.26848/rbgf.v14.6.p3635-3647
- Sousa, V.P., Araújo, A.F.C., Azevedo, T.A., Souza, D.A., Laurindo, S.S., Miranda, D.A.R., 2023. Crescimento micelial e produção de escleródios de isolados de *Sclerotinia sclerotiorum* sob diferentes regimes de luz e temperatura. *Recital-Revista de Educação, Ciência e Tecnologia de Almenara/MG* [Online] 5(1), 33-44. DOI: 10.46636/recital.v5i1.299
- Souza, P.H.G., Silva, E.M., Oliveira, A.M., Jesus, J.S., Barbosa, E.A., Neves, J.G., Oliveira, J.A.A., Camelo, G.N., 2023. Rendimento econômico de consórcio irrigado de quiabo e feijão-caupi. *Recital-Revista de Educação, Ciência e Tecnologia de Almenara/MG* [Online] 5(2), 29-43. DOI: 10.46636/recital.v5i2.322
- Stefanovicz, M.B., Stroparo, T.R., 2023. contribuição da contabilidade na eficiência produtiva de produtores de feijão: percepções e práticas. *Revista OWL (OWL Journal) – Revista Interdisciplinar de Ensino e Educação* [Online], 1(2), 236-261. DOI: 10.5281/zenodo.8335849
- SUDENE. Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste, 2021. Delimitação do Semiárido – 2021: relatório final. 182. Disponível em: <<https://www.gov.br/sudene/pt-br/centrais-de-conteudo/02semiaridorelatorionv.pdf>>. Acesso em: 13 dez. 2023.
- Teixeira, W.G., Behring, S.B. Retenção da água no solo pelos métodos da mesa de tensão e da câmara de Richards. In: Teixeira, P.C., Donagemma, G.K., Fontana, A., Teixeira, W.G. (org.). *Manual de métodos de análise de solo*. 3. ed. rev. e ampl. – Brasília, DF: Embrapa, 2017.
- Teshome, F.T., Bayabil, H.K., Schaffer, B., Ampatzidis, Y., Hoogenboom, G., Singh, A., 2023. Exploring deficit irrigation as a water conservation strategy: Insights from field experiments and model simulation *Agricultural Water Management* [Online] 289, 108490. DOI: 10.1016/j.agwat.2023.108490
- Thorntwaite, C.W., Mather, J.R., 1955. The water balance. Centerton, NJ: Drexel Institute of Technology - Laboratory of Climatology, 8, 104.
- Torres, L.C., Keller, T., Lima, R.P., Tomena, C.A., Lima, H.V., Giarola, N., 2021. Impacts of soil type and crop species on permanent wilting of plants. *Geoderma*, [Online] 384, 114798. DOI: 10.1016/j.geoderma.2020.114798
- Venancio, L.P., Mantovani, E.C., Amaral, C.H.D., Neale, C.M.U., Filgueiras, R., Gonçalves, I.Z., Cunha, F.F.D., 2021. Evapotranspiration mapping of commercial corn fields in Brazil using SAFER algorithm. *Scientia Agricola* [Online] 78(4), e20190261. DOI: 10.1590/1678-992X-2019-0261
- Villa, B., Petry, M.T., Martins, J.D., Tonetto, F., Tokura, L.K., Moura, M.B., Silva, C.M., Gonçalves, A.F., Cerveira, M.P., Slim, J.E., Santos, M.S., Bellé, M.G., Jimenez, D.H. 2022.

- Balanço hídrico climatológico: uma revisão. Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento [Online], 6, e50211626669. DOI: 10.33448/rsd-v11i6.26669.
- Wiecheteck, L.H., Giarola, N., Lima, R.P., Tomena, C.A., Torres, L.C., Paula, A., 2020. Comparing the classical permanent wilting point concept of soil (−15,000 kPa) to biological wilting of wheat and barley plants under contrasting soil textures. Agricultural Water Management [Online] 230, 105965. DOI: 10.1016/j.agwat.2019.105965
- Yan, H., Huang, S., Zhang, J., Zhang, C., Wang, G., LI, L., Zhao, S., LI, M., Zhao, B., 2022. comparison of Shuttleworth–Wallace and dual crop coefficient method for estimating evapotranspiration of a tea field in Southeast China. Agriculture [Online] 12(9), 1392. DOI: 10.3390/agriculture12091392.