

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM

METEOROLOGIA



TESE DE DOUTORADO

Francisco Edson Paulo Ferreira

**Rendimento do feijão-caupi submetido ao estresse
hídrico em diferentes cenários produtivos**

Campina Grande, Fevereiro de 2023



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE - UFCG
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS - CTRN
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS - UACA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA - PPGMET

TESE DE DOUTORADO

**RENDIMENTO DO FEIJÃO-CAUPI SUBMETIDO AO ESTRESSE HÍDRICO
EM DIFERENTES CENÁRIOS PRODUTIVOS**

Campina Grande – PB

Fevereiro de 2023

FRANCISCO EDSON PAULO FERREIRA

**RENDIMENTO DO FEIJÃO-CAUPI SUBMETIDO AO ESTRESSE HÍDRICO
EM DIFERENTES CENÁRIOS PRODUTIVOS**

Trabalho de tese (Doutorado) apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, em cumprimento às exigências para obtenção do grau de Doutor em Meteorologia.

Área de concentração: Agrometeorologia e Micrometeorologia

Subárea: Necessidades Hídricas das Culturas

Orientador: Prof. Dr. Vicente de Paulo Rodrigues da Silva

Campina Grande – PB

Fevereiro de 2023

F383r Ferreira, Francisco Edson Paulo.

Rendimento do feijão-caupi submetido ao estresse hídrico em diferentes cenários produtivos / Francisco Edson Paulo Ferreira. – Campina Grande, 2023.

96 f. : il.

Tese (Doutorado em Meteorologia) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2023. "Orientação: Prof. Dr. Vicente de Paulo Rodrigues da Silva".

Referências.

1. Feijão-caupi – Cultura – Estresse Hídrico.
2. Feijão-caupi – Produtividade e Rentabilidade.
3. Necessidades Hídricas das Culturas.
4. Modelagem Agrícola – AquaCrop.
5. Agrometeorologia.
6. Micrometeorologia. I. Silva, Vicente de Paulo Rodrigues da. II. Título.

CDU 633.35(043)

FRANCISCO EDSON PAULO FERREIRA

**RENDIMENTO DO FEIJÃO-CAUPI SUBMETIDO AO ESTRESSE HÍDRICO
EM DIFERENTES CENÁRIOS PRODUTIVOS**

TESE APROVADA EM 24/02/2023

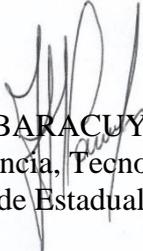
BANCA EXAMIDORA


Prof. Dr. VICENTE DE PAULO RODRIGUES DA SILVA
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande


Prof. Dr. MADSON TAVARES SILVA
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande


Prof. Dr. JOSÉ IVALDO BARBOSA DE BRITO
Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Campina Grande


Prof. Dr. ROMILDO MORANT DE HOLANDA
Departamento de Tecnologia Rural
Universidade Federal Rural de Pernambuco


Prof. Dr. JOÃO HUGO BARACUY DA CUNHA CAMPOS
Centro de Ciência, Tecnologia e Saúde
Universidade Estadual da Paraíba

“A melhor maneira de iniciar é parar de falar e começar a fazer” (Walter Disney)

AGRADECIMENTOS

A Deus, por minha vida, família e amigos.

A Universidade Federal de Campina Grande, pela oportunidade da realização desse curso.

A CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

Aos meus pais, Lucia Maria Paulo Ferreira e Gonçalo Ferreira de Souza, pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

Ao professor Vicente de Paulo Rodrigues da Silva, pela orientação, apoio e confiança.

A todos os professores do Programa de Pós-graduação em Meteorologia- PPGMet da Unidade de Ciências Atmosféricas da UFCG pelos ensinamentos compartilhados.

Ao produtor rural Alfredo de Oliveira Neto, que doou as sementes de feijão que foram cultivadas nesse experimento.

Aos meus amigos de pós-graduação, Francisco Fabrício Damiano de Oliveira, Ana Deborah Costa Alves, Aline Daniele Barbosa da Silva, Nallygia Martins Santos, por todos os momentos vividos. “Ninguém solta a mão de ninguém”.

A Silvia Maria Dantas, companheira de campo, sua participação foi fundamental.

A equipe de limpeza e manutenção da UFCG, que ajudaram na limpeza da área, restauração dos canteiros e instalação do sistema de irrigação.

E a todos aqueles que participaram direta ou indiretamente para realização desse sonho.

RESUMO

FERREIRA, Francisco Edson Paulo Ferreira, D.Sc., Universidade Federal de Campina Grande, fevereiro de 2023. **Rendimento do feijão-caupi submetido ao estresse hídrico em diferentes cenários produtivos.** Orientador: Vicente de Paulo Rodrigues da Silva.

O feijão-caupi pode ser cultivado em diferentes condições de solo, clima e nível tecnológico, e sua produtividade é fortemente influenciada pelas condições climáticas. Neste estudo foram realizadas duas campanhas experimentais, a primeira no período de 2 de fevereiro a 12 de abril de 2021 (período chuvoso) e a segunda de 1 de setembro a 9 de novembro de 2021 (período seco) na Estação Experimental (EstAgro) pertencente à Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas (UACA) da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, com o objetivo de avaliar a influência do estresse hídrico nos componentes produtivos (produtividade, biomassa, índice de colheita e eficiência do uso da água), demanda hídrica e viabilidade econômica do feijão-caupi cv. ‘Costela de Vaca’, cultivado em diferentes épocas de plantio (chuvoso e seco), bem como a calibração e validação do modelo AquaCrop para essas condições. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, em esquema fatorial 2 x 5 (período de cultivo x estresse hídrico), com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos por dois períodos de plantio (chuvoso e seco) e cinco formas de estresse hídrico (sem estresse hídrico, suspensão de água de 5, 10 e 15 dias e plantio de sequeiro), em sistema de plantio direto. Independentemente do período de cultivo do feijão-caupi, o estresse hídrico proporcionou redução de produtividade de grãos, biomassa, índice de colheita e eficiência do uso da água, com reduções mais evidentes no cultivo de sequeiro. Houve maior necessidade de água pela cultura do feijão-caupi cultivado no período seco. Os resultados de viabilidade econômica em ambos os períodos de cultivo foram positivos, desde que a cultura seja irrigada durante todo seu ciclo, e o estresse hídrico não seja superior a 10 dias em sua fase reprodutiva. O modelo AquaCrop apresentou desempenho excelente na simulação do rendimento de grãos e biomassa do feijão-caupi em condições de estresse hídrico em sua fase reprodutiva, cultivado no período chuvoso e seco. As práticas agrícolas de plantio direto e uso de cobertura do solo proporcionaram a manutenção da umidade do solo, resultando em maiores produtividades do feijão-caupi, mesmo que seu cultivo tenha sido influenciado pelas condições climáticas das épocas de cultivo e do estresse hídrico.

Palavras-chave: Produtividade, Rentabilidade, Modelagem Agrícola, AquaCrop

ABSTRACT

FERREIRA, Francisco Edson Paulo Ferreira, D.Sc., Universidade Federal de Campina Grande, february 2023. **Yield of cowpea subjected to water stress in different production scenarios.** Advisor: Vicente de Paulo Rodrigues da Silva.

Cowpea can be cultivated in different soil, climate and technological conditions, and its productivity is strongly influenced by climatic conditions. Therefore, two experimental campaigns were carried out, the first from February 2 to May 14, 2021 (rainy season) and the second from September 1 to November 9, 2021 (dry season) at the Experimental Station (EstAgro) belonging to the Academic Unit of Atmospheric Sciences (UACA) of the Federal University of Campina Grande - UFCG, with the objective of evaluating the influence of water stress on productive components (productivity, biomass, harvest index and water use efficiency), water demand and economic viability of cowpea cv. 'Costela de Vaca', cultivated in different planting seasons (rainy and dry), as well as the calibration and validation of the AquaCrop model for these conditions. The experimental design used was in randomized blocks, in a 2 x 5 factorial scheme (culture period x water stress), with four replications. The treatments consisted of two planting periods (rainy and dry) and five forms of water stress (no water stress, water suspension of 5, 10 and 15 days and rainfed planting), in a no-tillage system. Regardless of the cowpea cultivation period, water stress resulted in a reduction in grain yield, biomass, harvest rate and water use efficiency, with more evident reductions in rainfed cultivation. There was a greater need for water by the cowpea crop grown in the dry season. Cowpea presented positive results of economic viability in both growing seasons, as long as it is irrigated throughout its cycle, and water stress does not exceed 10 days in its reproductive phase. The AquaCrop model showed excellent performance in the simulation of grain yield and biomass of cowpea under water stress conditions in its reproductive phase, cultivated in the rainy and dry seasons. Agricultural practices of no-till and use of ground cover provided the maintenance of soil moisture, resulting in higher yields of cowpea, even though its cultivation was influenced by the climatic conditions of the growing season and water stress.

Keywords: Productivity, Profitability, Agricultural Modeling, AquaCrop

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

Figura 1. Dados diários de temperatura máxima e mínima (°C) e precipitação (mm) durante o período experimental. A. período chuvoso B. período seco. Campina Grande – PB.	28
Figura 2. Evapotranspiração de referência observada durante os experimentos realizados nas estações chuvosa e seca.....	29
Figura 3. A. produtividade de grãos e B. biomassa, em duas estações de cultivo e diferentes tratamentos sob estresse hídrico. Campina Grande-PB, 2021.....	35
Figura 4. Comportamento da umidade do solo durante em diferente profundidade, para os tratamentos sem estresse hídrico e cultivo de sequeiro, A. e B. período chuvoso; e C. e D. período seco, respectivamente.	40

CAPÍTULO 2

Figura 1. Dados climáticos observados durante a condução dos experimentos.....	50
Figura 2. Produtividade, biomassa, índice de colheita e eficiência do uso da água do feijão-caupi em função do estresse hídrico cultivado em período chuvoso (A, B, C, D) e período seco (E, F, G, H), respectivamente.....	56
Figura 3. Renda bruta, renda líquida, taxa de retorno, margem de lucro para o feijão-caupi cultivado sob estresse hídrico em período chuvoso (A, B, C e D) e em período seco (E, F, G e H), respectivamente..	61

CAPÍTULO 3

Figura 1. Condições meteorológicas durante a condução dos experimentos nos períodos chuvoso e seco. Temperatura máxima e mínima (A), umidade relativa do ar (B), radiação solar (C) e evapotranspiração de referência (D). Campina Grande-PB, 2021.	76
Figura 2. Conteúdo de água no solo e chuva durante o período chuvoso (A) e período seco (B).....	78
Figure 3. Produtividade de grãos, biomassa, eficiência do uso da água em função da época de plantio (A, B e C) e do estresse hídrico (D, E e F) do feijão-caupi cultivado em sistema de plantio direto. Campina Grande-PB, 2021.....	80
Figura 4. Comparação entre os valores observados e simulados de produtividade de grãos e biomassa seca após calibração, para validação do modelo AquaCrop para cultura do	

feijão-caupi submetido ao estresse hídrico, cultivado em período chuvoso (A e B) e período s seco (C e D) em sistema de plantio direto, respectivamente. Campina Grande - PB, 2021. 83

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1. Duração dos estádios fenológicos inicial (I), desenvolvimento vegetativo (II), floração/reprodutivo (III) e final (IV) da cultura do feijão-caupi e valores de evapotranspiração da cultura (ETc) para os períodos chuvoso e seco. Campina Grande - PB.	32
Tabela 2. Análise de variância para produtividade de grãos (P), biomassa (B), índice de colheita (IC) e eficiência do uso da água de dois períodos de plantio em função de estresses hídricos para o feijão-caupi. Campina Grande-PB, 2021.....	33
Tabela 3. Biomassa média do feijão-caupi obtida em função do desdobramento do da interação do período de cultivo versus estresse hídrico em dois períodos de cultivo. Campina Grande-PB, 2021.....	35
Tabela 4. Produtividade média do feijão-caupi obtidas em função do desdobramento do efeito do período de cultivo. Campina Grande-PB, 2021.....	36
Tabela 5. Eficiência do uso da água média do feijão-caupi obtidas em função do desdobramento do efeito do período de cultivo. Campina Grande-PB, 2021.....	38

CAPÍTULO 2

Tabela 1. Indicadores de viabilidade econômica do feijão-caupi em função do estresse hídrico, em duas épocas de cultivo, em Campina Grande-PB.....	59
----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----

CAPÍTULO 3

Tabela 1. Parâmetros conservativos utilizados na calibração do AquaCrop para cultura do feijão-caupi. Campina Grande-PB, 2021.....	73
Tabela 2. Evapotranspiração total cultura (ETc), precipitação total acumulada (PPT), lâmina de irrigação aplicada (LI), número de irrigações (NI) e total de água recebido em cada tratamentos no período chuvoso e período seco. Campina Grande-PB, 2021.....	76
Tabela 3. Resultados dos parâmetros não conservativos após a calibração do modelo AquaCrop para cultura do feijão-caupi submetido ao estresse hídrico e cultivado em período chuvoso e período seco. Campina-Grande – PB, 2021.....	81

Tabela 4. Resultados dos erros de previsão de produtividade e biomassa após calibração do modelo AquaCrop cultivado em sistema de plantio direto durante o período chuvoso. Campina Grande-PB, 2021.....	82
Tabela 5. Resultados dos erros de previsão de produtividade e biomassa após calibração do modelo AquaCrop cultivado em sistema de plantio direto durante o período seco. Campina Grande-PB, 2021.....	82

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AD	-	Água disponível
B	-	Biomassa seca
CC	-	Capacidade de campo
CONAB	-	Companhia Nacional de Abastecimento
CP	-	Custo de produção
Cv	-	Cultivar
d	-	Índice de Willmott
ETc	-	Evapotranspiração da cultura
ETo	-	Evapotranspiração de referência
EUA	-	Eficiência do uso da água
IC	-	Índice de colheita
IH	-	Havest index
Kc	-	Coefficiente de cultivo
MAE	-	Erro absoluto médio
MAPA	-	Ministério da Agricultura e Pecuária
ML	-	Margem de lucro
NOAA	-	National Oceanic and Atmospheric Administration
NSE	-	Índice de eficiência Nash-Sutcliffe
P	-	Produtividade
PC	-	Período chuvoso
Pe	-	Erro de predição
PMP	-	Ponto de murcha permanente
PS	-	Período seco
QM	-	Quadrado médio
r	-	Coefficiente de correlação de Pearson
R ²	-	Coefficiente de determinação
RB	-	Renda bruta
RL	-	Renda líquida
RMSE	-	Erro quadrático médio da raiz normalizada
T	-	Tratamento
TR	-	Taxa de retorno

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	16
REFERÊNCIAS	20
CAPÍTULO 1 - CENÁRIOS DE RENDIMENTO DO FEIJÃO-CAUPI SUBMETIDO AO ESTRESSE HÍDRICO.....	24
1. INTRODUÇÃO.....	26
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	27
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
4. CONCLUSÕES	40
5. REFERÊNCIAS	41
CAPÍTULO 2 - DEMANDA HÍDRICA E VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA DO FEIJÃO-CAUPI CULTIVADO EM DIFERENTES CENÁRIOS PRODUTIVOS	46
1. INTRODUÇÃO.....	48
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	49
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
4. CONCLUSÕES	61
5. REFERÊNCIAS	62
CAPÍTULO 3 - CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO AQUACROP PARA A CULTURA DO FEIJÃO-CAUPI SOB ESTRESSE HÍDRICO	67
1. INTRODUÇÃO.....	69
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	70
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	74
4. CONCLUSÕES	84
5. REFERÊNCIAS	84
CONCLUSÕES GERAIS	88
APÊNDICE	90

INTRODUÇÃO GERAL

Originário da África, o feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) é conhecido por diversas nomenclaturas, dentre elas, feijão macassar, feijão-de-corda (catador) e feijão fradinho. Considerada uma planta rústica e bem adaptada às regiões de clima quente, úmido ou semiárido, ter ciclo curto e menor exigência hídrica, seu cultivo torna-se possível em diferentes condições de clima e solo, tornando-a uma das plantas mais cultivadas principalmente em sistema agricultura familiar (QUEIROZ et al., 2021).

No Brasil, por ser considerada cultura de subsistência, é cultivada sob regime de sequeiro, tendo seu cultivo realizado principalmente pelas populações mais pobres, ou seja, tem seu cultivo realizado com baixo nível tecnológico (CASTELLETTI; COSTA, 2013). No entanto, responde bem quando há adoção de técnicas modernas de cultivo, como correção de solo, fertilização e irrigação (MENEZES JUNIOR et al., 2017).

Na região semiárida nordestina seu cultivo ganha destaque, em virtude de outras culturas leguminosas não se desenvolverem bem devido às irregularidades das chuvas e das altas temperaturas (FREIRE FILHO, 2011). Apesar do feijão-caupi ser tolerante à seca, para que alcance boa produtividade é necessária uma regular distribuição da precipitação durante seu ciclo, onde o estresse hídrico, compromete drasticamente sua produtividade, principalmente se ocorrer nas fases de floração e enchimento de grãos (SOUZA et al., 2015; EZIN et al., 2021).

O regime pluviométrico na região Nordeste é influenciado por diversos sistemas meteorológicos, portanto é de fundamental importância compreendê-los e monitorá-los, visando minimizar seus impactos sobre a produtividade agrícola. Dentre os principais sistemas meteorológicos causadores de chuvas sobre a região Nordeste do Brasil conforme descreve Ferreira e Melo (2005), estão a Zona de Convergência Intertropical – ZCIT (UVO, 1989), as Frentes Frias (ROUCOU et al., 1996), Ondas de Leste (ROUCOU et al., 1996) e Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN) (KOUSKY; GAN, 1981). Todos esses sistemas são importantes na produção de chuvas sobre o Nordeste e, eles atuam de formas distintas, alterando sua época de atuação, duração e intensidade.

Os principais fatores relacionados com a irregularidade da precipitação no Semiárido Nordestino Brasileiro (NEB) são os fenômenos de El Niño e La Niña, os gradientes de temperatura meridionais (norte-sul ou sul-norte) e, as variações dos padrões

de temperatura da superfície do mar (TSM), os quais tem relação direta com anos de maior ou menor precipitação na região Nordeste (RODRIGUES; MCPHADEN, 2014; MARENGO et al., 2017). E essas irregularidades têm grande influência no desenvolvimento econômico das regiões áridas e semiáridas (SANTOS et al., 2019).

Os fatores que influenciam a precipitação na região semiárida no Nordeste Brasileiro são muitos, e esses fenômenos ocasionam secas com elevado grau de severidade, e isso está relacionado principalmente a irregularidades de chuvas nessa região, tanto temporal quanto espacial, com períodos de chuvas má distribuídos, normalmente de três a cinco meses por ano, causando déficit hídrico em escala diária, mensal e anual (MENEZES et al., 2015).

No entanto, nas condições climáticas do semiárido brasileiro a precipitação pode se concentrar em um único período, ocasionando déficit hídrico durante o ciclo da cultura, de modo a interferir negativamente em sua produtividade (LINDOSO et al., 2013). A escassez hídrica é a principal condicionante que interfere na produtividade das culturas no semiárido, o déficit hídrico é ocasionado quando o volume de chuvas não supre totalmente a demanda evapotranspirométrica da cultura.

Lima et al. (2011) cultivando feijão sob condições de sequeiro encontraram valor de evapotranspiração médio diário de 3,8 mm, como valor total para o ciclo de 330,7 mm. Ainda relataram que a cultura passou por déficit hídrico na fase reprodutiva o que ocasionou redução em sua produtividade.

Por isso, o conhecimento prévio das exigências agroclimáticas das culturas auxilia de forma adequada o planejamento agrícola, visando alcançar maior produtividade, rentabilidade e diminuição de perdas por fatores climáticos, sendo a temperatura e precipitação os elementos climáticos que mais afetam o desenvolvimento do feijão-caupi (FREIRE FILHO, 2011).

A cultura do feijão-caupi para que seja cultivada sem o uso da irrigação, necessita de chuvas bem distribuídas durante todo o seu ciclo, com volume pluviométrico mínimo de 300 mm, sendo seu consumo diário de 3 a 4 mm e disponibilidade mínima mensal de 100 mm (RIBEIRO, 2002). Então, para que o feijão-caupi possa ser cultivado de forma de sequeiro, as chuvas precisam ser suficientes para suprir a exigência hídrica da cultura sem que provoque condições extremas de umidade. Algumas técnicas de cultivo são adotadas para que isso não ocorra, como é o caso do sistema de plantio direto.

O cultivo de feijão-caupi no Nordeste é realizado em sistema de plantio direto e convencional, e ambos estão propensos ao efeito do estresse hídrico, causado pela falta

de chuvas. Muitos estudos são desenvolvidos para comparar a influência do estresse hídrico em diferentes sistemas de plantio, e todos concluem que ambos os sistemas de cultivo (direto e convencional) são afetados negativamente pelo estresse hídrico, (DOMBROSKI et al., 2013; FREITAS et al., 2017; GUZZETTI et al., 2020). Contudo, em condições semiáridas, o plantio direto representa uma técnica de cultivo promissora para o cultivo do feijão-caupi, capaz de promover maior produtividade e eficiência do uso da água (FREITAS et al., 2019). SOUZA et al. (2016) avaliando o efeito do uso de cobertura morta no cultivo do feijão-caupi submetido ao estresse hídrico, verificaram que a redução da água disponível do solo afetou o crescimento e acúmulo de biomassa, contudo, a cobertura do solo reduziu os efeitos do estresse hídrico.

Costa Filho (2019) afirma ainda que, as lavouras de sequeiro são as mais comprometidas em face das condições climáticas, pois a existência de períodos com redução do suprimento de água proveniente das chuvas, interfere no desempenho agrícola das culturas, tornando a agricultura familiar bastante vulnerável às secas, associado a isso, a produtividade depende da fertilidade natural dos solos, que quase sempre é muito baixa.

A alta variabilidade climática, associada as condições de baixa fertilidade dos solos, a falta de assistência técnica aos pequenos agricultores e a adoção de insumos de produção (sementes melhoradas, adubo, defensivos agrícola, irrigação, mecanização e manejo do solo, etc.) leva a baixa produtividade agrícola no semiárido brasileiro, consequentemente, exercendo efeitos diretos sobre a segurança alimentar, maximização o êxodo rural e, comprometendo assim o desenvolvimento econômico da região (SILVA et al., 2010; LOPES et al., 2019).

No entanto, pesquisas de campo que visem quantificar a redução de produtividade do feijão-caupi em função do estresse hídrico, ainda são muito incipientes no Brasil, visto procedimentos de campos serem realizados para determinada cultura e condição de clima específico, além de serem bastante onerosos e, necessitarem de materiais específicos e mão-de-obra especializada para manuseio e condução do experimento em campo (CORRÊA et al., 2011). Desta forma, a modelagem agrícola ganha notoriedade, pois os modelos de simulação agrícola são capazes de predizer qual é a redução da produtividade agrícola em função do efeito do estresse hídrico (LECERF et al., 2019).

Dentre os modelos agrícolas, o AquaCrop vem ganhando destaque, pois tem como principais vantagens o requerimento de um pequeno número de parâmetros de entrada, além de apresentar pequenos erros de estimativa da biomassa e do rendimento final, sendo

capaz de estimar a produtividade da cultura sob condições de sequeiro e/ou irrigação com déficit (STEDUTO et al., 2009).

O modelo AquaCrop foca na água como o fator mais limitante no rendimento final da cultura (STEDUTO et al., 2012), usado particularmente em regiões semiáridas, onde o estresse hídrico pode variar em intensidade, duração e tempo de ocorrência (RAOUFI et al., 2018), melhorando assim a gestão e eficiência do uso da água para agricultura.

Vista a importância da cultura do feijão-caupi para a agricultura familiar no semiárido nordestino é imprescindível o desenvolvimento de pesquisas que visem o conhecimento da influência do estresse hídrico sobre sua produtividade e rentabilidade nas diferentes épocas de cultivo. Neste sentido, a utilização de modelos agrícolas capazes de simular o rendimento das culturas agrícolas em função do déficit hídrico se torna uma prática de grande relevância, pois seu uso tem a finalidade de desenvolver estratégias para melhorar o gerenciamento da água na agricultura de sequeiro e irrigada.

Diante disto, objetivou-se com este estudo verificar a influência do estresse hídrico na produtividade, demanda hídrica e viabilidade econômica, bem como a calibração e validação do modelo AquaCrop para cultura do feijão-caupi cv. 'Costela de Vaca' cultivado em diferentes épocas de plantio. Este estudo, apresentado na forma de tese, foi dividido em três capítulos:

1. Cenários de rendimento do feijão-caupi submetido ao estresse hídrico;
2. Demanda hídrica e viabilidade técnico-econômica do feijão-caupi cultivado em diferentes cenários produtivos sob regime de estresse hídrico;
3. Calibração e validação do modelo AquaCrop em diferentes cenários de rendimento do feijão-caupi sob estresse hídrico.

REFERÊNCIAS

CASTELLETTI, C. H. M.; COSTA, A. F. Feijão-caupi: alternativa sustentável para os sistemas produtivos. **Pesquisa Agropecuária Pernambucana**, v. 18, n. 1, p. 1-2, 2013

CORRÊA, S.T.R.; DOURADO-NETO, D.; LORENÇONI, R.; SCARPARE, F.V.; VIVIAN, R.; RUIZ, E.T. Aplicações e limitações da modelagem em agricultura: revisão. **Revista de Agricultura**, v. 86, n. 1, p. 1-13, 2011.

COSTA FILHO, J. D. Efeitos da instabilidade pluviométrica sobre a previsão da produção de lavouras de sequeiro em áreas sujeitas à desertificação (ASD) no semiárido do estado do Ceará: casos de Irauçuba e Tauá. 2019. **Tese** (Mestrado Acadêmico em Economia Rural) – Universidade Federal do Ceará. Dissertação de Fortaleza, Ceará. 2019

DOMBROSKI, J. L. D.; FREITAS, F. C. L. D.; NOGUEIRA, N. W.; PINTO, J. R. D. S. Crescimento de feijão-caupi sob efeito de veranico nos sistemas de plantio direto e convencional. **Bioscience Journal**, 2013.

EZIN, V.; TOSSE, A. G. C.; CHABI, I. B.; AHANCHEDE, A. Adaptation of Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) to Water Deficit during Vegetative and Reproductive Phases Using Physiological and Agronomic Characters. **International Journal of Agronomy**, v. 2021, 2021.

FERREIRA, A. G.; DA SILVA MELLO, N. G. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região Nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. **Revista brasileira de climatologia**, v. 1, n. 1, 2005.

FREIRE FILHO, F. R. Feijão-caupi no Brasil: produção, melhoramento genético, avanços e desafios. **Embrapa Meio-Norte-Livro científico (ALICE)**, 2011.

FREITAS, R. M.; DOMBROSKI, J. L.; DE FREITAS, F. C.; NOGUEIRA, N. W.; LEITE, T. S.; PRAXEDES, S. C. Water use of cowpea under deficit irrigation and cultivation systems in semi-arid region. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, p. 271-276, 2019.

FREITAS, R.; DOMBROSKI, J. L. D.; FREITAS, F. C. L. D.; NOGUEIRA, N. W.; PINTO, J. R. D. S. Physiological responses of cowpea under water stress and rewatering in no-tillage and conventional tillage systems. **Revista Caatinga**, v. 30, p. 559-567, 2017.

GUZZETTI, L.; FIORINI, A.; PANZERI, D.; TOMMASI, N.; GRASSI, F.; TASKIN, E.; LABRA, M. Sustainability perspectives of *Vigna unguiculata* L. Walp. Cultivation under no tillage and water stress conditions. **Plants**, v. 9, n. 1, p. 48, 2020.

KOUSKY, V. E.; GAN, M. A. Upper tropospheric cyclonic vortices in the tropical South Atlantic. **Tellus**, v. 33, n. 6, p. 538-551, 1981.

LECERF, R.; CEGLAR, A.; LÓPEZ-LOZANO, R.; VAN DER VELDE, M.; BARUTH, B. Assessing the information in crop model and meteorological indicators to forecast crop yield over Europe. **Agricultural systems**, v. 168, p. 191-202, 2019.

LIMA, J. R. D. S.; ANTONINO, A. C. D.; LIRA, C. A. B. D. O.; SOUZA, E. S. D.; SILVA, I. D. F. D. Balanço de energia e evapotranspiração de feijão-caupi sob condições de sequeiro. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, p. 65-74, 2011.

LINDOSO, D.; EIRÓ, F.; ROCHA, J. D. Desenvolvimento sustentável, adaptação e vulnerabilidade à mudança climática no Semiárido nordestino: Um estudo de caso no Sertão do São Francisco. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 44, p. 301-332, 2013.

LOPES, J. R. F.; DANTAS, M. P.; FERREIRA, F. E. P. Identificação da influência da pluviometria no rendimento do milho no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 13, n. 5, p. 3610, 2019

MARENGO, J. A.; TORRES, R. R.; ALVES, L. M. Drought in Northeast Brazil—past, present, and future. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 129, n. 3, p. 1189-1200, 2017.

MENEZES JUNIOR, J. A. de. Et al., In: DOVALE, J. C.; BERTINI, C.; BORÉM, A. (Ed.). Feijão-caupi: do plantio à colheita. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2017. p. 244-267.

MENEZES, H. E. A.; DE MEDEIROS, R. M.; SANTOS, J. L. G.; LIMA, T. S.; PIMENTA, T. A. Influência de veranico na produção agrícola no município de Santa

Filomena, Piauí, Brasil. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 10, n. 4, p. 44, 2015.

QUEIROZ, R. R.D. S.; DE MENEZES, R. H. N.; DA ROCHA, D. L.; MOREIRA, R. C. C. Cenário agrícola para o plantio da cultura do feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] no estado do Maranhão baseado em projeções futuras de mudanças climáticas. **Revista Geama**, v. 7, n. 1, p. 4-14, 2021.

RAOUFI, R.; SOUFIZADEH, S.; LARIJANI, B. A.; AGHAALIKHANI, M.; KAMBOUZIA, J. Performance of AquaCrop for simulation of genotypic differences in rice under various seedling ages. **Natural resources modeling**, v. 31, 2018.

RIBEIRO VQ. 2002. **Cultivo do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.)**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2002. 108p. (Embrapa Meio-Norte. Sistemas de Produção: 2)

RODRIGUES, R. R.; MCPHADEN, M. J. Why did the 2011–2012 La Niña cause a severe drought in the Brazilian Northeast?. **Geophysical Research Letters**, v. 41, n. 3, p. 1012-1018, 2014.

ROUCOU, P.; ROCHA DE ARAGÃO, J. O.; HARZALLAH, A.; FONTAINE, B.; JANICOT, S. Vertical motion changes related to North-East Brazil rainfall variability: a GCM simulation. **International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 16, n. 8, p. 879-891, 1996.

SANTOS, S. R. Q.; AMARAL CUNHA, A. P. M.; RIBEIRO-NETO, G. G. Avaliação de dados de precipitação para o monitoramento do padrão espaço-temporal da seca no nordeste do Brasil. **Revista brasileira de climatologia**, v. 25, 2019.

SILVA, V. D. P. R.; CAMPOS, J. H.; SILVA, M. T.; AZEVEDO, P. V. IMPACT of global warming on cowpea bean cultivation in northeastern Brazil. **Agricultural Water Management**, v. 97, n. 11, p. 1760-1768, 2010.

SOUZA, L. S. B. D.; MOURA, M. S. B. D.; SEDIYAMA, G. C.; SILVA, T. G. F. D. Requerimento hídrico e coeficiente de cultura do milho e feijão-caupi em sistemas exclusivo e consorciado. **Revista Caatinga**, v. 28, p. 151-160, 2015.

SOUZA, T. M. A., SOUZA, T. A., SOUTO, L. S., DA SILVA SÁ, F. V., DE PAIVA, E. P., & DE MESQUITA, E. F. Água Disponível e Cobertura do Solo Sob o Crescimento Inicial do Feijão-Caupi Cv Brs Pujante. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 10, n. 3, p. 598, 2016.

STEDUTO, P.; HSIAO, T. C.; RAES, D.; FERERES, E. AquaCrop—The FAO crop model to simulate yield response to water: I. Concepts and underlying principles. **Agronomy Journal**, v. 101, n. 3, p. 426-437, 2009.

UVO, C. R. B. A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e sua Relação com a Precipitação da Região Norte do Nordeste Brasileiro. **Dissertação** de Mestrado em Meteorologia, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP. 82 p.

CAPÍTULO 1

**CENÁRIOS DE RENDIMENTO DO FELJÃO-CAUPI SUBMETIDO AO
ESTRESSE HÍDRICO**

Resumo: O feijão-caupi por ser considerado uma cultura de subsistência, é geralmente cultivado pela agricultura familiar, sendo seu cultivo realizado na estação chuvosa, e fora dessa época, com auxílio da irrigação. Sua produtividade é reduzida, caso haja a ocorrência de estresse hídrico, seja pela falta de chuvas ou de água pela irrigação. Objetivou-se, neste estudo, avaliar a influência do estresse hídrico nos períodos chuvoso e seco, sobre as componentes de produtividade de grãos, biomassa, índice de colheita e eficiência do uso da água na variedade de feijão-caupi ‘Costela de Vaca’ cultivado em sistema de plantio direto, utilizando cobertura morta proveniente dos restos culturais disponíveis na área experimental. O delineamento experimental utilizado foi em blocos ao acaso, em esquema fatorial 2 x 5 (período de cultivo x estresse hídrico), com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos por dois períodos de plantio (chuvoso e seco) e cinco formas de estresse hídrico (sem estresse hídrico, suspensão de água de 5, 10 e 15 dias e plantio de sequeiro). A biomassa foi o único fator influenciado pela interação do período de cultivo *versus* estresse hídrico. Independentemente do período de cultivo do feijão-caupi, o estresse hídrico proporcionou redução de produtividade grão e biomassa. O índice de colheita não apresentou sensibilidade ao estresse hídrico e período de cultivo. A eficiência do uso da água foi influenciada pelo período de cultivo. A cobertura do solo proporcionou a manutenção da umidade do solo durante o cultivo do feijão-caupi em ambos os períodos de plantio.

Palavras-chave: produtividade; plantio direto; época de plantio

COWPEA YIELD UNDER WATER STRESS SCENARIOS

Abstract: Cowpea is considered a subsistence crop, so it is generally cultivated by family farming in the rainy season and, outside this season, with the aid of irrigation. Its yield is reduced if there is water stress due to the lack of rainfall or irrigation water. Objective of this study was to evaluate the influence of water stress in the rainy and dry seasons on grain yield, biomass, harvest index and water use efficiency in the ‘Costela de Vaca’ cowpea variety cultivated in no-tillage system using crop residues present in the experimental area. Experimental design used was randomized blocks, in a 2 x 5 factorial scheme (cropping season x water stress), with four replicates. Treatments consisted of two cropping seasons (rainy and dry) and five forms of water stress (without water stress, water suspension for 5, 10 and 15 days, and rainfed cultivation). Biomass was the only parameter influenced by the cropping season *versus* water stress interaction. Regardless of the cowpea cropping season, water stress reduced grain yield and biomass. Harvest index showed no sensitivity to water stress and cropping season. Water use efficiency was influenced by the cropping season. Soil cover promoted maintenance of soil moisture during cowpea cultivation in both periods.

Keywords: productivity, no-tillage; cropping season

1. INTRODUÇÃO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) é uma cultura de grande importância econômica, alimentar e cultural em diversos países, principalmente em países em desenvolvimento das regiões tropicais e subtropicais (Calvet et al. 2013). O feijão é cultivado em todas as regiões brasileiras por pequenos e grandes produtores, em diversificados sistemas de produção, sob diferentes condições de clima, solo, cultivares e nível tecnológico em todo território nacional (Mapa 2019), sendo as regiões Norte e Nordeste as maiores produtoras de feijão, responsáveis por aproximadamente 90% da área total cultivada com a cultura (Conab 2020). Sendo a agricultura familiar responsável por 70% de toda produção de feijão do Brasil (Mapa 2019).

Na região Nordeste, o cultivo do feijoeiro, em geral, é praticado por pequenos agricultores familiares, por ser considerado de subsistência, ser componente importante nos sistemas de produção e, ser uma das principais fontes de renda e emprego para a região e, também, pelo seu alto valor nutritivo (Freire Filho et al. 2005; Frota et al. 2008). Devido ser cultivado nessa região preferencialmente durante a estação chuvosa, torna-se depende da precipitação, que nessa região, apresenta grande variabilidade temporal e espacial, resultando em estresse hídrico, conseqüentemente, perda de produtividade (Almeida et al. 2019; Santos et al. 2019). Nessa região a produtividade é relativamente baixa devido à falta de adoção de tecnologias e as condições climáticas adversas, com valores que variam de 300 a 400 kg.ha⁻¹ (Freire Filho et al. 2011).

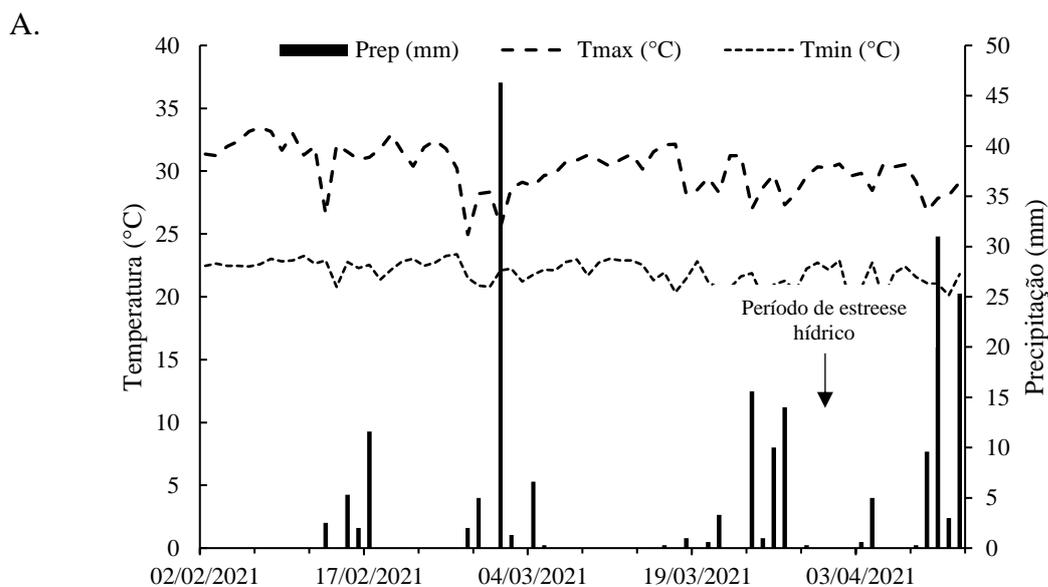
As plantas do feijoeiro são bastante sensíveis ao estresse hídrico, principalmente quando ocorre nos estágios de florescimento e enchimentos de grãos, podendo haver queda significativa de produtividade, em virtude de apresentar sistema radicular não muito profundo e ter um ciclo reativamente curto, o que compromete sua capacidade de recuperação após o estresse hídrico (Gonzaga 2014; Mouhouche et al. 1998). Além do estresse hídrico, a cultura do feijão também é bastante sensível as elevadas temperaturas (Santos & Lima 2015).

No semiárido nordestino, durante a estação seca, as condições de temperatura e de radiação solar são suficientes para a produção agrícola, porém existe déficit hídrico significativo, devido à falta de precipitação, com isso para que os agricultores consigam alcançar produtividade satisfatória nessa época do ano, os mesmos fazem adoção de técnicas conjugadas de sistema plantio direto e irrigação, para promover incremento do sistema produtivo, resultando no sucesso da lavoura. O objetivo do trabalho foi avaliar os

efeitos do estresse hídrico, nos períodos chuvoso e seco, sobre os componentes de produtividade de grãos, biomassa, índice de colheita e eficiência do uso da água na variedade de feijão-caupi ‘Costela de Vaca’ cultivado em sistema de plantio direto.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido na Estação Experimental (Estrago) pertencente a Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas (UACA) da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, no estado da Paraíba, posicionada nas coordenadas 07° 13’ 50” S de latitude e 35° 52’ 52” W de longitude e 526 m de altitude. Foram realizadas duas campanhas experimentais, a primeira no período de 02 de fevereiro a 12 de abril de 2021 (período chuvoso) e a segunda de 1 de setembro a 9 de novembro de 2021. Os dados climáticos coletados diariamente durante os experimentos são mostrados na Figura 1.



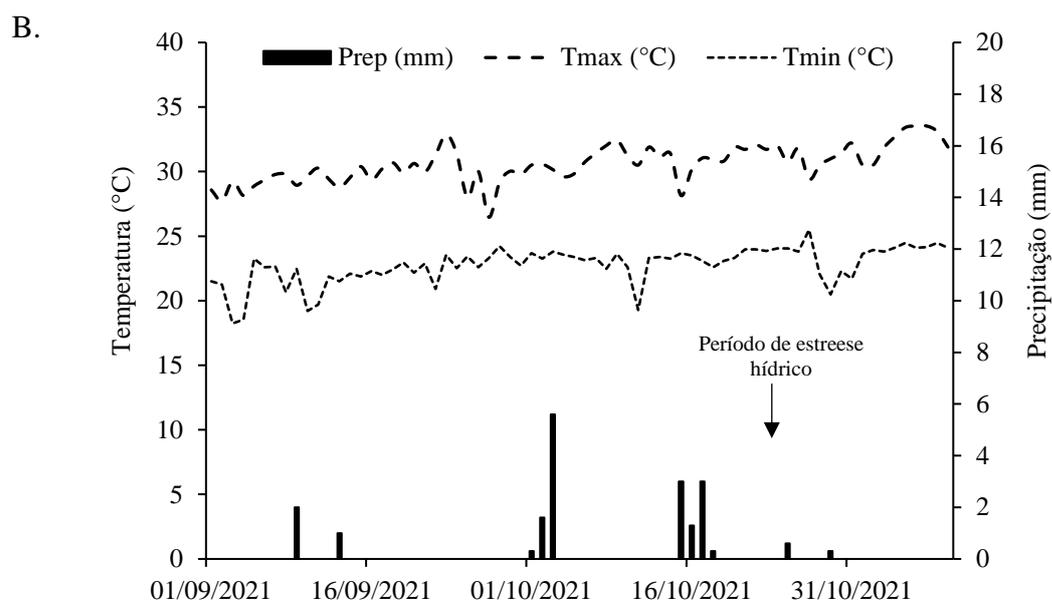


Figura 1. Dados diários de temperatura máxima e mínima (°C) e precipitação (mm) durante o período experimental. A. período chuvoso B. período seco. Campina Grande – PB.

Com os dados meteorológicos coletados diariamente na Estação Agrometeorológica Automática Irriplus, modelo E5000, instalada na área experimental, foi possível estimar a evapotranspiração de referência (ET_0), por meio da equação proposta por Penman-Monteith (Allen et al. 1998).

$$ET_0 = \frac{0,408 \Delta(R_n - G) + \gamma \left(\frac{900 U_2}{T + 273} \right) (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34U_2)} \quad (1)$$

em que: ET_0 – evapotranspiração de referência, mm.dia^{-1} ; Δ - declinação da curva de pressão de saturação, $\text{kPa } ^\circ\text{C}^{-1}$; R_n – saldo de radiação à superfície, $\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$; G – fluxo de calor no solo, $\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$; γ – constante psicrométrica do ar, $\text{kPa.}^\circ\text{C}^{-1}$; T – temperatura média do ar a 2,00 m de altura, $^\circ\text{C}$; U_2 – velocidade do vento a 2,00 m de altura, m.s^{-1} ; e_s – pressão de saturação de vapor, kPa; e_a – pressão de vapor atual do ar, kPa.

Os valores de ET_0 para as estações chuvosa e seca pode ser visto na Figura 2.

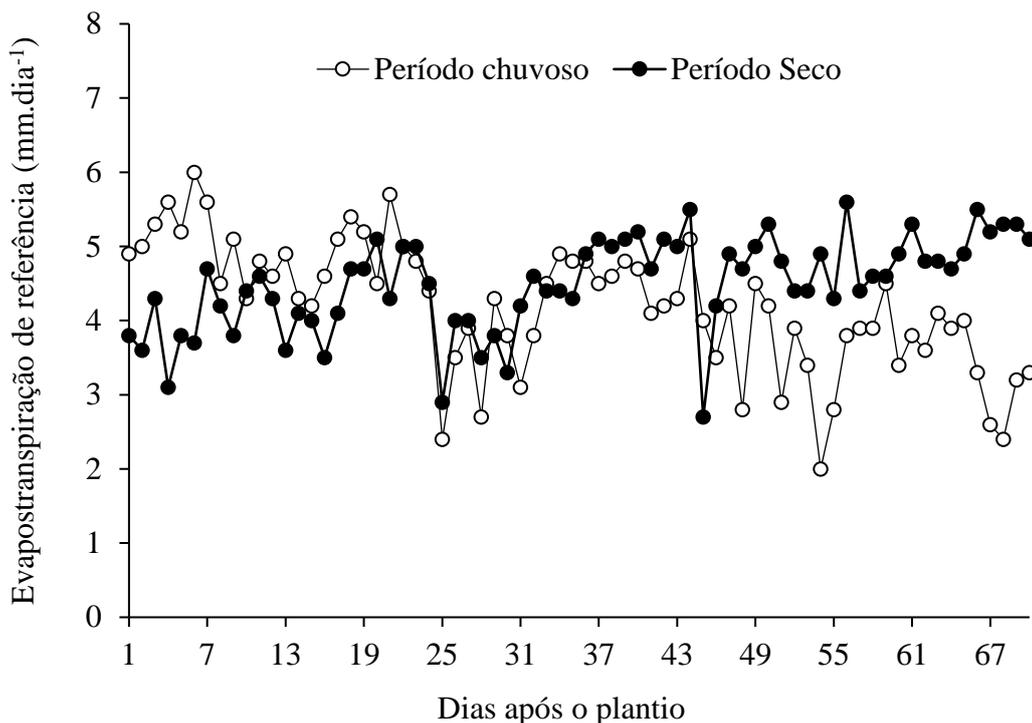


Figura 2. Evapotranspiração de referência observada durante os experimentos realizados nas estações chuvosa e seca.

A área experimental dispunha de 10 canteiros de alvenaria com dimensões de 8 m x 1 m, cada canteiro contava com 2 tubos de acesso PVC de 40 mm de diâmetro e 0,8 m de profundidade para dar acesso a sonda Divine 2.000 que realizou as medidas de umidade do solo.

Previamente à instalação da cultura, foi realizada uma análise químico-física do solo na camada de 0-20 cm do perfil, para caracterização química, possuindo: 6,2 de pH em água; 11,12 g.kg⁻¹ de matéria orgânica; 68,75% de saturação de base (V); 0,04; 2; 2,27; e 1,7 cmol_c.dm⁻³ de Na⁺, H+Al³⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺ e; 30,95 e 142,51 de P e K⁺, respectivamente. O solo da área possui textura arenosa e seus valores de conteúdo de água da umidade do solo referentes à capacidade de campo (-0,01 Mpa) e ponto de murcha permanente (-1,5 Mpa), considerando a camada de 0 a 0,4 m, foram de 7,3% e 4,6% à base de volume, respectivamente.

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 2 x 5 (época de cultivo x estresse hídrico), com quatro repetições. Cada parcela experimental foi composta por 1 canteiro. Os tratamentos foram constituídos por dois períodos de plantio (chuvoso e seco) e cinco formas de estresse hídrico, sem estresse

hídrico (T1), suspensão hídrica por de 5 (T2), 10 (T3) e 15 dias (T4) e cultivo de sequeiro (T5), sob sistema de plantio direto, utilizando restos culturais presentes na área experimental.

Para as parcelas que receberam os tratamentos de déficit hídrico, a suspensão da irrigação foi realizada no estágio de floração da cultura, período em que 70% das plantas apresentaram pelo menos uma flor, o que ocorre, geralmente após os 40 dias de plantio.

A variedade de feijão-caupi escolhida para plantio foi a ‘Costela de Vaca’ (crioula), por ser uma das cultivares mais aceitas e cultivada em sistema de agricultura familiar na região Nordeste do Brasil (Silva & Neves, 2011). Essa cultivar apresenta porte semiprostrado, sua floração inicia-se aos 40 dias após sementeira, e sua maturidade é alcançada entre 71 e 80 dias após a sementeira. Sua produtividade média é, geralmente, superior a 1.000 kg.ha⁻¹ em regime de sequeiro (Santos & Lima, 2015; Santos et al. 2009).

Para o cultivo, as covas foram abertas com o auxílio de uma enxada, com espaçamento de 0,5 m entre fileiras e 0,5 m entre linhas e colocadas de 3 a 4 sementes por cova, de modo a deixar apenas 3 plantas por cova, um *stand* final de 120.000 plantas por hectare. Finalizado o plantio, foi colocada uma camada com restos culturais disponíveis na área experimental. Após o plantio, uma camada composta de restos culturais disponíveis na área experimental foi colocada no solo. Ao longo do ciclo da cultura, as plantas espontâneas foram controladas por capina manual. Para controle de insetos e doenças, foram adotadas práticas agroecológicas e alternativas visando uma produção livre de agrotóxicos.

Para a irrigação, foi utilizado um sistema de irrigação por gotejamento composto por gotejadores autocompensantes ajustáveis (GA-4 da Agrojet) com vazão de 4,5 L h⁻¹ a uma pressão de serviço de 2,0 kgf cm⁻², com eficiência de aplicação de 90%, e o sistema contava com duas linhas por canteiro e um gotejador por cova. Foi adotado um intervalo de dois dias entre as irrigações. As irrigações foram realizadas sempre no período da manhã, entre 06h e 08h.

A reposição de água foi baseada em 100% da evapotranspiração da cultura (ET_c), a qual foi estimada conforme Bernardo, Soares e Mantovani (2009), com valores de K_c do feijão determinados por Silva et al. (2016) e evapotranspiração de referência (ET₀) estimada pela equação proposta Allen et al. (1998).

A umidade do solo foi monitorada por meio de uma sonda de capacitância, modelo Diviner 2000[®]. A precipitação foi coletada diariamente na Estação Agrometeorológica Automática (Irriplus, modelo E5000) instalada na área experimental. A irrigação também

foi monitorada diariamente, enquanto o escoamento superficial e drenagem profunda/ascensão capilar foram consideradas nulas, pois a área dos canteiros era relativamente pequena e a irrigação foi realizada apenas de acordo com a necessidade hídrica da cultura e umedecendo o solo até a profundidade efetiva do sistema radícula da cultura.

A variação do armazenamento de água no perfil do solo (ΔS) foi determinada pela diferença entre os valores dos conteúdos de água inicial (Θ_1) e final (Θ_2), considerando a profundidade máxima do sistema radicular da cultura (Z_{BH}) que foi de 40 cm, a partir da Equação 6:

$$\Delta S = (\theta_2 - \theta_1) \cdot Z_{BH} \quad (6)$$

em que: ΔS : variação do armazenamento de água nos dias considerados (mm); θ_2 : umidade do solo encontrada no tempo 2 (final), $m^3 \cdot m^{-3}$; θ_1 : umidade do solo encontrada no tempo 1 (inicial), $m^3 \cdot m^{-3}$; Z_{BH} : profundidade considerada para o balanço hídrico (0,4 m).

As avaliações das características agrônômicas foram realizadas à medida que cada parcela atingiu a maturidade fisiológica, geralmente entre 71 e 80 dias após a semeadura. As seguintes análises foram feitas:

a) Produtividade de grãos (P, $kg \ ha^{-1}$): as vagens secas foram colhidas da área útil da parcela (1 m^2) e debulhadas manualmente, em seguida, a massa de grãos foi determinada após correção da umidade para 13%;

b) Biomassa (B, $kg \ ha^{-1}$): após a retirada das vagens das plantas, as folhas e o caule foram triturados, pesados para determinação da biomassa fresca, levados ao sol para secagem e pesados para determinação da biomassa seca;

c) Índice de colheita (HI, %): determinado pela divisão da produção de grãos secos pela produção de biomassa seca acima do solo, na área útil de 1 m^2 ;

d) Eficiência do uso da água (EUA, $kg \ ha^{-1} \ mm^{-1}$): determinada pela relação entre produtividade de grãos e lâmina de água (irrigação + precipitação).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância conjunta para avaliar os efeitos das épocas de cultivo e do estresse hídrico, bem como a interação entre eles, pelo teste F ($p < 0,05$). A análise de regressão foi realizada quando houve efeito significativo para estresse hídrico e interações, e a significância foi verificada pelo coeficiente de correlação por meio do teste F ao nível de 5% de probabilidade. Quando

houve efeito significativo para a época de cultivo e para a interação, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey ($p < 0,05$). As análises foram realizadas no programa PAleontological STatistics versão 3 (PAST 3) (Hammer 2017).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de ETc obtidos para o feijão-caupi cv. ‘Costela de Vaca’ cultivado nas condições edafoclimáticas do Agreste da Paraíba, no município de Campina Grande, PB, são apresentadas na Tabela 1. O período seco apresentou demanda hídrica 15,1% superior ao período chuvoso.

Tabela 1. Duração dos estádios fenológicos inicial (I), desenvolvimento vegetativo (II), floração/reprodutivo (III) e final (IV) da cultura do feijão-caupi e valores de evapotranspiração da cultura (ETc) para os períodos chuvoso e seco. Campina Grande - PB.

Fase	Período chuvoso		Período seco	
	Duração (dias)	ETc (mm)	Duração (dias)	ETc (mm)
I	13	54.1	62.3	55.4
II	28	118.7	125.2	127.7
III	13	45.6	60.9	59.1
IV	16	49.2	79.3	73.0
Total	70	267.6	327.7	315.2

A análise de variância para as características avaliadas no desempenho agrônômico do feijão-caupi em função do estresse hídrico é apresentada na Tabela 2. De acordo com a análise de variância observa-se que a interação Período de cultivo *versus* Estresse hídrico apresentou diferença estatística apenas na produção de biomassa. Assim, pode-se inferir que os dois períodos de cultivos, apesar da diferença de produção de biomassa, os demais parâmetros avaliados apresentaram comportamentos semelhantes nos diferentes períodos de estresse hídrico.

Tabela 2. Análise de variância para produtividade de grãos (P), biomassa (B), índice de colheita (IC) e eficiência do uso da água de dois períodos de plantio em função de estresses hídricos para o feijão-caupi. Campina Grande-PB, 2021.

FV	GL	QM			
		P	B	IC	EUA
Período de cultivo (PC)	1	18604959,0 *	171000000,0 *	80,2 ^{ns}	36,04 *
Estresse hídrico (EH)	4	15165286,0 *	149157906,0 *	1175,1 ^{ns}	273,0 ^{ns}
EH X PC	4	4829746,0 ^{ns}	87404683,5 *	2291,6 ^{ns}	797,2 ^{ns}
Bloco	3	38967,0 ^{ns}	16389697,0 *	194,4 ^{ns}	194,4 *
Erro	27	3409973,0	3409973,0	2058,8	71,5
Média		1694,50	6062,75	28,87	6,94
CV (%)		61,29	59,80	42,37	78,19

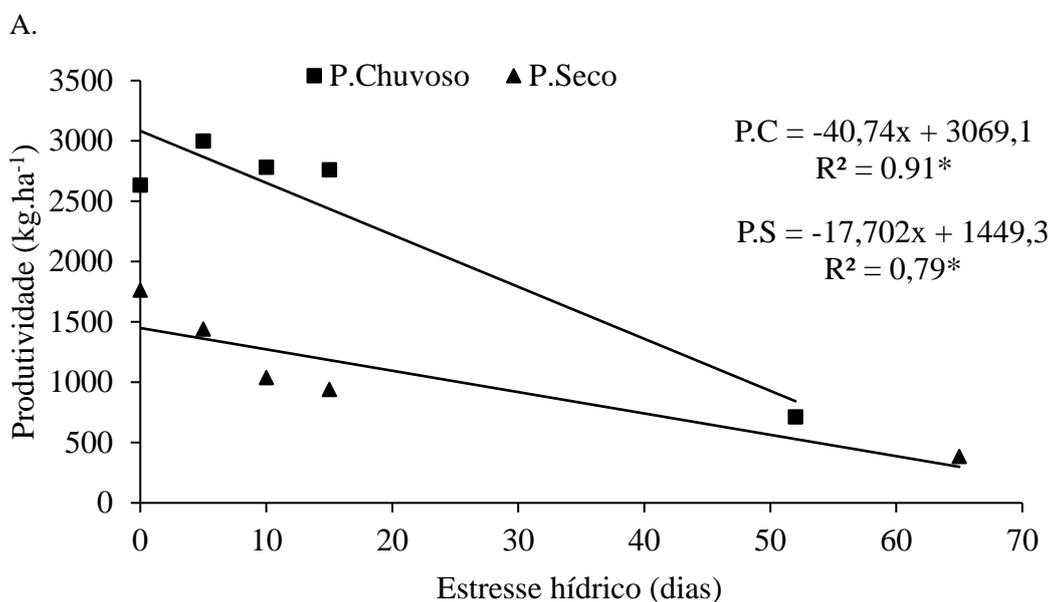
^{ns} Não significativo, * significativo a 5% de significância pelo teste F. FV-Fonte de variação, GL-graus de liberdade, QM-quadrado médio e CV-coeficiente de variação.

A produção de biomassa apresentou diferença estatística, tanto em função do período de cultivo, quanto do estresse hídrico, indicando assim a influência desses fatores nesse parâmetro agrônomico. A produtividade de grãos e biomassa foram maiores no período chuvoso, isso pode ser explicado pelo excesso de água via precipitação no período chuvoso, com precipitação diária que chegou a 46 mm. Além disso, devido as ocorrências das chuvas durante a estação chuvosa, a aplicação do estresse hídrico nesse período aconteceu somente aos 55 DAP, enquanto na estação seca, isso aconteceu aos 50 DAP, isso pode ter interferido nos índices agrônomicos avaliados.

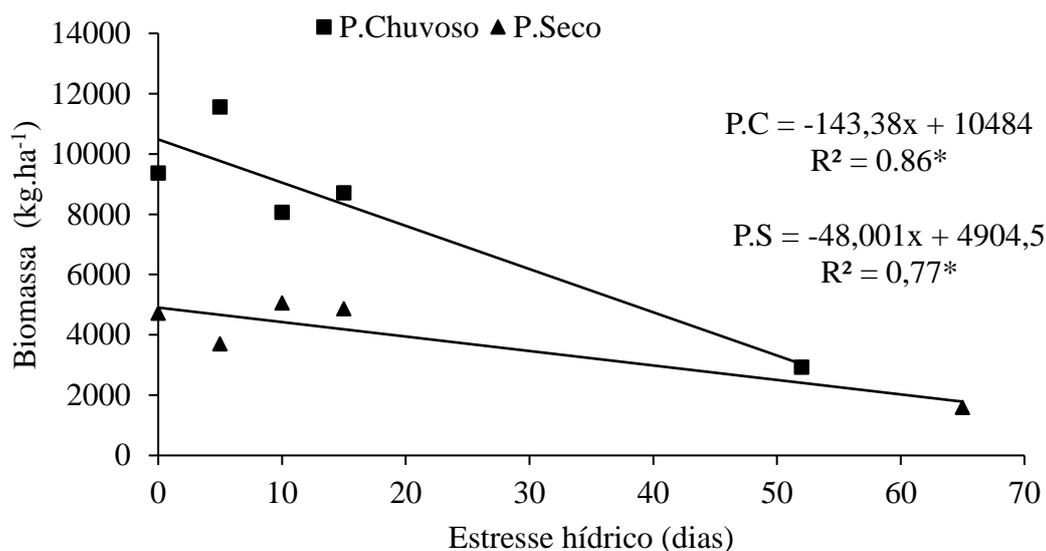
Comparando-se os dois sistemas de plantio, observou-se que apenas o índice de colheita não apresentou diferença estatística, não sendo influenciado pelo período de cultivo e estresse hídrico. Esse indicador conforme explica Sinclair (1998) é o fator mais importante para o acréscimo da produção de grãos. Esse índice é influenciado por diversos outros fatores, além do tipo de plantio e disponibilidade de água, apesar disso, poucos estudos têm sido desenvolvidos para verificar esse índice na cultura do feijoeiro. No entanto, muitos estudos realizados com as mais diversas culturas têm mostrado que o índice de colheita é altamente influenciado pela densidade de plantio e época de colheita (Gomes Júnior 2018), disponibilidade de água (Duarte et al. 2013), nutrientes (Oliveira 2017) e temperatura (Fioreze et al. 2019).

A eficiência do uso de água (EUA) e a produtividade de grãos foram afetadas diretamente pelo período de cultivo, algo já esperado, visto o período chuvoso ter apresentado pluviometria superior ao período seco, além de valores de temperatura e radiação solar menores. Barros et al. (2021) explicam que a disponibilidade de água proporciona maior eficiência do uso da água, consequentemente, maior rendimento do feijão-caupi, porém essa eficiência é limitada pelo déficit hídrico e a altas temperatura.

Os valores médios de produtividade de grãos (Figura 3A) e biomassa (Figura 3B) apresentaram reduções significativas, seguindo um comportamento linear, evidenciando que estresse hídrico influenciou diretamente esses parâmetros independente do período de plantio. Observa-se que os valores médios de produtividade e biomassa, se mantiveram superiores na estação chuvosa, cerca de 53% e 50%, respectivamente. As reduções de produtividade foram mais acentuadas no plantio de sequeiro, no período chuvoso (72,93%) e no período seco (78,15%), evidenciando assim a importância da utilização da irrigação para alcançar maior produtividade. Vários estudos têm demonstrado o incremento de produtividade e biomassa com a adoção da irrigação (Knada; Sezanje; Mabhai, 2021) e do sistema de plantio direto (Freitas et al. 2019) no feijão-caupi.



B.



P.C – período chuvoso, P.S - período seco. R²: coeficiente de determinação; *significativo pelo teste F a 5% de probabilidade

Figura 3. A. produtividade de grãos e B. biomassa, em duas estações de cultivo e diferentes tratamentos sob estresse hídrico. Campina Grande-PB, 2021.

A única componente agrônômica que foi influenciada pela interação Período de cultivo *versus* Estresse hídrico foi a biomassa, com seus valores médios mostrados na Tabela 3.

Tabela 3. Biomassa média do feijão-caupi obtida em função do desdobramento do da interação do período de cultivo *versus* estresse hídrico em dois períodos de cultivo. Campina Grande-PB, 2021.

Período de cultivo	Biomassa (kg.ha ⁻¹)				
	Tratamentos				
	T1	T2	T3	T4	T5
Chuvoso	9372,5 Abc	11567,5 Aa	8075 Ad	8717,5 Acd	2932,5 Ae
Seco	4722,5 Ba	3710 Bb	5060 Ba	4867,5 Ba	1602,5 Bc
Média	7047,5	7638,7	6567,5	6792,5	2267,5
CV (%)	46,65	72,7	32,5	40,1	41,5

T1 – Sem estresse hídrico; T2 - Suspensão hídrica por cinco dias; T3 - Suspensão hídrica por dez dias; T4 - Suspensão hídrica por quinze dias; e T5 - Cultivo de sequeiro

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Verifica-se, na Tabela 3, que a produção de biomassa foi o parâmetro mais sensível ao efeito período de cultivo *versus* estresse hídrico. As reduções de biomassa foram mais intensas no cultivo de sequeiro (T5), indicando maior sensibilidade do plantio de sequeiro ao estresse hídrico. Por isso, é mais comum o cultivo do feijão-caupi durante o período chuvoso, já que o estresse hídrico afeta vários processos fisiológicos das plantas, levando ao declínio da produção de biomassa, resultando em sua redução, conseqüentemente, rendimentos de grãos (Cecchin et al. 2015; Donohue et al. 2013; Freitas et al., 2017; Mota & Cano, 2016).

Freitas et al. (2014) e Oliveira et al. (2011) explicam que o feijão-caupi quando submetido estresse hídrico apresenta redução da massa seca em virtude da compensação do investimento realizado em estruturas reprodutivas anexas ao caule que servem para melhorar a absorção de água e nutrientes do solo. Ainda conforme Leite & Virgens Filho (2004) os efeitos negativos sobre o crescimento do feijão-caupi são maiores quando os déficits hídricos apresentam maior duração, independentemente da fase de aplicação, resultando em progressiva redução da biomassa e produtividade de grãos.

Na Tabela 4, são mostrados os valores médios de produtividade de grãos em função do período de cultivo. Observou-se que o período chuvoso apresentou maior rendimento de grãos e com significância estatística para todos os tratamentos. No período chuvoso os tratamentos que receberam suspensão de água (T2, T3 e T4) durante a fase de floração e enchimento de grãos apresentaram maior produtividade quando comparado com o tratamento controle (T1). O mesmo não ocorreu para o período seco, onde a redução e produtividade aconteceu de forma linear (Figura 2A). Isso pode ser explicado, pela ocorrência de altos volumes de precipitação ocorridos no período chuvoso, fazendo com que a umidade do solo permanecente elevada, e conseqüentemente, as plantas de feijão nesses tratamentos conseguissem aproveitar melhor a água disponível.

Tabela 4. Produtividade média do feijão-caupi obtidas em função do desdobramento do efeito do período de cultivo. Campina Grande-PB, 2021.

Período de cultivo	Produtividade de grãos (kg.ha ⁻¹)				
	Tratamentos				
	T1	T2	T3	T4	T5
Chuvoso	2632,5 Aa	2997,5 Aa	2780 Aa	2760 Aa	712,5 Ab
Seco	1762,5 Ba	1440 Bab	1037,5 Bbcd	437,5 Bcd	385 Ad
Média	2197,5	2218,7	1908,7	1598,7	548,7

CV (%)	27,4	49,6	64,5	102,7	42,2
T1 – Sem estresse hídrico; T2 - Suspensão hídrica por cinco dias; T3 - Suspensão hídrica por dez dias; T4 - Suspensão hídrica por quinze dias; e T5 - Cultivo de sequeiro					

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Oliveira, Fernandes & Rodrigues (2005) explicam que as plantas de feijão quando submetidas ao estresse hídrico tende a diminuir a condutância estomática e aumentar a resistência ao vapor de água, por meio do fechamento dos estômatos, reduzindo a transpiração e, conseqüentemente, o suprimento de CO₂ para a fotossíntese. Anyia & Herzog (2004) mencionam que quando as plantas experimentam o estresse durante a fase reprodutiva, após o restabelecimento da irrigação há um ganho superior de produtividade e biomassa do que em plantas que não sofreram estresse hídrico.

Silva, Campos & Azevedo (2010) explicam que, quando as plantas de feijão são submetidas ao estresse hídrico, as mesmas apresentam reduções significativas na condução estomática que como consequência, leva ao com o aumento na resistência difusiva no vapor de água, mediante ao fechamento dos estômatos. A troca de vapor de água com a atmosfera é influenciada pela interação cultura-atmosfera nos processos de evapotranspiração vegetal (De Souza et al. 2019), e a atmosfera é regida pelas variáveis meteorológicas atuantes naquele momento, de modo que, em dias de alta luminosidade, elevada temperatura, baixa umidade relativa do ar e elevado déficit de pressão de vapor, condições mais comuns durante o período seco, as plantas de feijão-caupi sob deficiência hídrica apresentam intenso fechamento estomático (Santos, 2016). Apesar disso, o período seco não apresentou reduções de produtividades significativas quando comparadas com o período chuvoso, exceto para o tratamento de sequeiro (T5), confirmando assim a resistência do feijoeiro ao estresse hídrico durante as fases de floração e enchimento de grãos.

As lâminas totais de água (precipitação + irrigação) utilizadas durante o período chuvoso, para os tratamentos irrigados T1, T2, T3, T4 e T5 de sequeiro, foram 436,21 mm, 440,88 mm, 426,05 mm, 418,92 e 393,2 mm, respectivamente. Já para o período seco as lâminas totais de água (precipitação + irrigação) utilizadas nos tratamentos irrigados T1, T2, T3, T4 e T5 de sequeiro, foram de 325,51 mm, 300,54 mm, 276,54 mm, 25,71 mm e 18 mm, respectivamente. Os resultados de eficiência do uso da água (EUA) são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Eficiência do uso da água média do feijão-caupi obtidas em função do desdobramento do efeito do período de cultivo. Campina Grande-PB, 2021.

Período de cultivo	EUA (kg.ha ⁻¹ .mm ⁻¹)				
	Tratamentos				
	T1	T2	T3	T4	T5
Chuvoso	5,7 Aa	6,8 Aa	6,5 Aa	6,6 Aa	1,8 Ab
Seco	5,4 Aa	4,8 Aa	3,7 Ba	1,7 Ba	21,4 Bb
Média	5,5	5,8	5,1	4,2	11,6
CV (%)	3,4	24,5	38,1	82,9	119,3

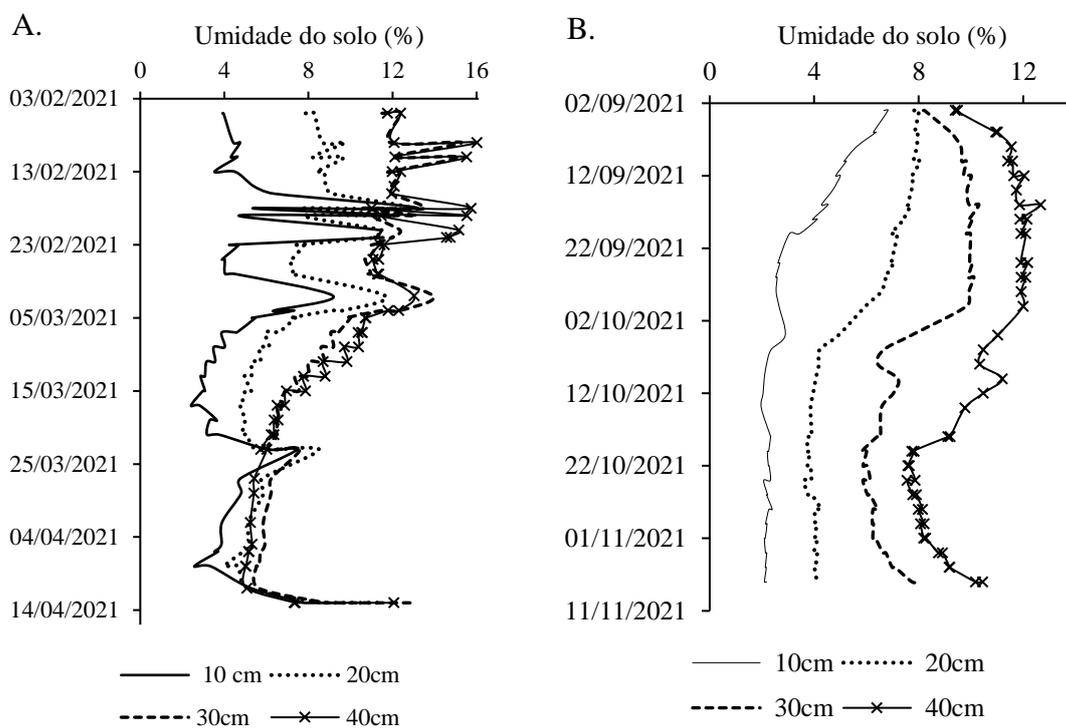
T1 – Sem estresse hídrico; T2 - Suspensão hídrica por cinco dias; T3 - Suspensão hídrica por dez dias; T4 - Suspensão hídrica por quinze dias; e T5 - Cultivo de sequeiro

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A eficiência do uso da água (Tabela 5) apresentou significância estatística apenas nos tratamentos 4 e 5 em função do período de cultivo. Os tratamentos de sequeiros (T5) no período de cultivo chuvoso e seco apresentaram EUA de 1,81 kg.mm⁻¹ e 21,39 kg.mm⁻¹, com uso de 392,2 mm e 18mm, respectivamente. Dos Santos et al. (2020) avaliando a eficiência do uso da água em variedades crioulas de feijão-caupi, durante a estação chuvosa, submetidas a irrigação, encontraram um valor de apenas 1,7 kg.ha⁻¹mm⁻¹ com aplicação da lâmina total de água (chuva + irrigação) de 414,2 mm, valores bem próximos aos encontrados nesta pesquisa para o tratamento de sequeiro durante a estação chuvosa, que apresentou EUA de 1,81 1,7 kg.ha⁻¹mm⁻¹ com utilização de 393,2 mm proveniente apenas da chuva. Desse modo, mesmo que a produtividade do plantio de sequeiro no período chuvoso tenha sido maior, esse tratamento não conseguiu aproveitar bem a água da precipitação, ao passo que, no período seco, o mesmo tratamento conseguiu aproveitar melhor a água disponível, confirmando assim eficiência do uso da água na cultivar de feijão-caupi ‘Costela de Vaca’, que mesmo em condições de estresse hídrico severo, com apenas 18 mm, conseguiu completar seu ciclo, ainda que tenha obtido baixo rendimento de grãos.

A aplicação do regime hídrico sem suspensão da irrigação (Tratamento 1, controle) e de sequeiro (T5) durante o cultivo do feijão-caupi nas épocas de cultivo apresentaram variações no conteúdo de água nas profundidades do solo (Figura 4). A umidade do solo durante o período chuvoso e seco para o tratamento controle, em ambos os períodos de cultivo, se mantiveram dentro dos valores de umidade de solo referente ao ponto de murcha e capacidade de campo do solo, 4,6 % e 7,3%, respectivamente. Em

alguns momentos durante a estação chuvosa, a umidade do solo chegou a valores de 16% nas camadas mais profundas (0,4 m), sendo mais evidente durante o período chuvoso, resultado dos grandes volumes de chuvas ocorridos nesse período. Já os tratamentos de sequeiro, em ambos os períodos de cultivo, a umidade em alguns momentos tendeu a 0%, resultado do estresse hídrico, porém no período chuvoso, mais raramente isso aconteceu, sendo que para o cultivo de sequeiro no período seco a umidade do solo durante maior parte do tempo se manteve próximo 4%, que era o limite mínimo de água, que certamente foi proporcionada pela cobertura do solo.



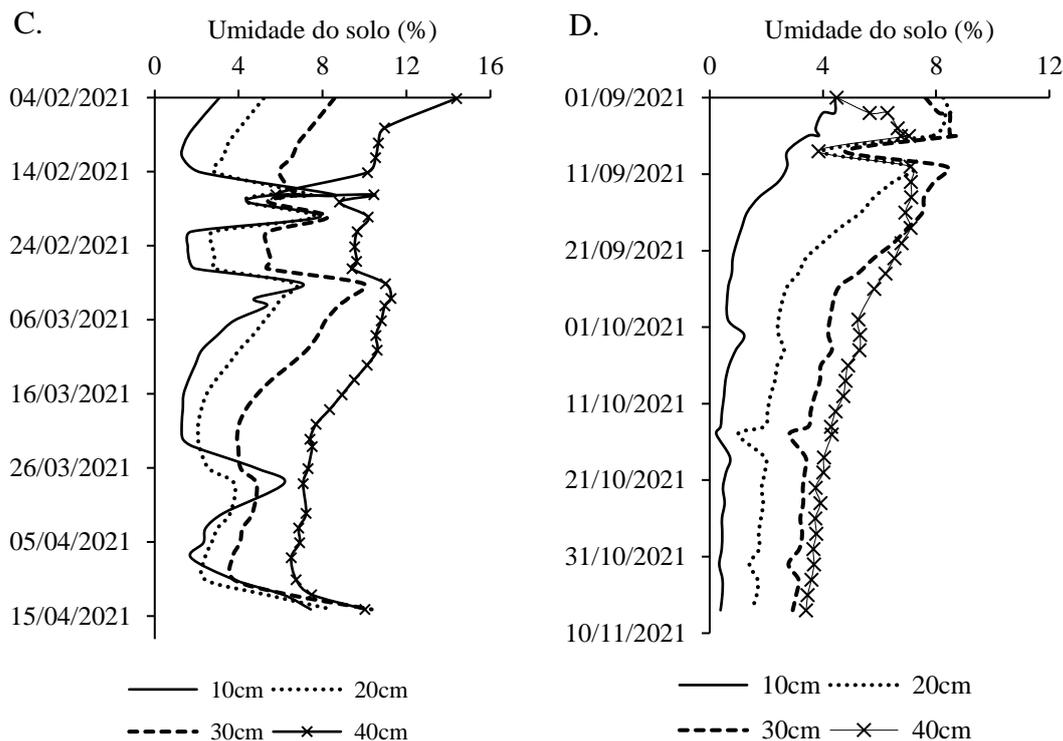


Figura 4. Comportamento da umidade do solo durante em diferente profundidade, para os tratamentos sem estresse hídrico e cultivo de sequeiro, A. e B. período chuvoso; e C. e D. período seco, respectivamente.

Em geral, a adequada cobertura do solo, tende a reduzir o surgimento de ervas daninha, conseqüentemente, menor competição por nutrientes com a cultura principal, além de preservar a umidade do solo, favorecendo o crescimento, rendimento e produção da massa seca na parte aérea e o rendimento de grãos do feijão-caupi (Junior et al. 2019, Rocha et al. 2020).

4. CONCLUSÕES

Apenas a biomassa foi influenciada pela interação estação de cultivo versus estresse hídrico, e seus maiores valores foram observados na estação chuvosa. Independentemente da época de cultivo do feijão-caupi, o estresse hídrico causou reduções na produtividade de grãos e na biomassa, que foram mais evidentes na estação seca. O índice de colheita não foi influenciado pela época de cultivo e estresse hídrico. A eficiência do uso da água foi influenciada pela época de cultivo, sendo seu maior valor observado no cultivo de sequeiro na estação seca, $21,39 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$. A cobertura do solo

promoveu a manutenção da umidade do solo durante o cultivo do feijão-caupi em ambas as estações.

5. REFERÊNCIAS

- Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D. & Smith, M. 1998, *Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements*, Paper No. 56, United Nations FAO, Irrigation and drainage, New York.
- Almeida, R.S.R.; Silva, M.T.; Campos, J.H.B C., Holanda, R.M., Dantas Neto, J., Matsunaga, W.K. & Silva, V.P.R. 2019, 'Pegada hídrica de plantas hortícolas cultivadas no semiárido brasileiro', *Revista IberoAmericana de Ciências Ambientais*, vol. 10, no. 4, pp. 45-56, DOI: <https://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2019.004.0005>
- Anyia, A.O. & Herzog, H. 2004, 'Genotypic variability in drought performance and recovery in cowpea under controlled environment', *Journal of Agronomy and Crop Science*, vol. 190, pp. 151-159. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1439-037X.2004.00096.x>
- Barros, J.R.A., Guimarães, M.M., Silva, R., Simões, W.L., de Melo, N.F. & Angelotti, F. 2021, 'Production and biochemical responses of cowpea under thermal and water stress', *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, vol. 16, no. 2, pp. 85-99. DOI: <https://doi.org/10.5039/agraria.v16i2a8599>
- Calvet, A.S.F., Miranda Pinto, C., Lima, R.E.M., Maia-Joca, R.P.M. & Bezerra, M.A. 2013, 'Crescimento e acumulação de solutos em feijão-de-corda irrigado com águas de salinidade crescente em diferentes fases de desenvolvimento', *Irriga*, Botucatu, vol. 18, no. 1, pp. 148-159. DOI: <https://doi.org/10.15809/irriga.2013v18n1p148>
- Cechin, I., Cardoso, G. S., Fumis, T. D. F. & Corniani, N. 2015, 'Nitric oxide reduces oxidative damage induced by water stress in sunflower plants', *Bragantia*, vol. 74, pp. 200-206. DOI: <https://doi.org/10.1590/1678-4499.353>
- Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) 2020. *Acompanhamento da safra brasileira: grãos*, vol. 7, no. 8, pp.. 31-37, Brasília, viewed 19 January 2019. <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safra>>.

- De Souza, D.F., Pinto, J.V.D.N., Costa, D.L., Vieira, I.C.D.O., da Silva, T.G. & Souza, P.J. 2019, 'Biophysical controls of evapotranspiration in cowpea cultivation under different water regimes', *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 23, pp. 725-732. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n10p725-732>
- Donohue, R.J., Roderick, M.L., McVicar, T.R. & Farquhar, G.D. 2013, 'Impact of CO₂ fertilization on maximum foliage cover across the globe's warm, arid environments', *Geophysical Research Letters*, vol. 40. no.12, pp. 3031-3035. <https://doi.org/10.1002/grl.50563>
- Dos duarte Mota, F.G., De Souza, L.P. & Almeida, M.P. 2020, 'Irrigação suplementar em feijões crioulos', *Scientia Naturalis*, vol. 2, no. 2, pp. 851-861. <https://periodicos.ufac.br/index.php/SciNat/article/view/4252>
- Duarte, E.A., Melo Filho, P.D.A., & Santos, R.C. 2013, 'Características agrônômicas e índice de colheita de diferentes genótipos de amendoim submetidos a estresse hídrico', *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 17, no. 8, pp. 843-84, 2013. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662013000800007>
- Fioreze, S.L., Vacari, J., Turek, T.L., Michelon, L.H., & Drun, R.P. 2019, 'Componentes produtivos do trigo em função da temperatura no período de diferenciação de espiguetas', *Revista de Ciências Agroveterinárias*, vol. 18, no.1, pp.24-32. DOI: <https://doi.org/10.5965/223811711812019024>
- Freire Filho, F.R. 2011, *Feijão-caupi no Brasil: produção, melhoramento genético, avanços e desafios*. Embrapa Meio-Norte-Livro científico (ALICE), 2011.
- Freire Filho, F.R., Lima, J.D.A. & Ribeiro, V.Q. 2005, *Feijão-caupi: avanços tecnológicos*, Embrapa Informação Tecnológica, vol. 1, pp. 29-92, Brasília.
- Freitas, R.M.O., Dombrosk, I.J.L.I., Freitas, F.C.L.DE., Nogueira, N.W. & Pinto, J.R.S. 2014, 'Crescimento de feijão-caupi sob efeito de veranico nos sistemas de plantio direto e convencional', *Bioscience Journal*, vol. 30, no. 2, pp. 393-401. <https://seer.ufu.br/index.php/biosciencejournal/article/view/17982>.
- Freitas, R.M.O., Dombroski, J.L.D., De Freitas, F.C.L., Nogueira, N.W. & De Souza Pinto, J.R. 2017, 'Respostas fisiológicas de feijão-caupi sob estresse hídrico e

- reidratação em plantio direto e convencional’, *Revista Caatinga*, vol. 30, no. 3, pp. 559-567. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-21252017v30n303rc>
- Freitas, R.M., Dombroski, J.L., de Freitas, F.C., Nogueira, N.W., Leite, T.S. & Praxedes, S.C. 2019, ‘Water use of cowpea under deficit irrigation and cultivation systems in semi-arid region’, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 23, pp. 271-276. DOI: <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n4p271-276>.
- Frota, K.D.M.G., Soares, R.A.M. & Arêas, J.A.G. 2008, ‘Composição química do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.), cultivar BRS- Milênio’, *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, vol. 28, no. 2, pp. 470-476. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0101-20612008000200031>
- Gomes Júnior, F.A. 2018, ‘Produtividade de variedades de mandioca em diferentes arranjos de plantio, épocas de colheita, fisiologia do estresse e déficit hídrico’, PhD Thesis, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia. <http://www.repositorio.ufrb.edu.br/handle/prefix/1025>
- Gonzaga, O.C.A. 2014, ‘*Feijão: o produtor pergunta, a Embrapa responde*’, 2.ed. Embrapa Arroz e Feijão, 247p, Brasília.
- Hammer, Ø. *PAleontological STatistics Version 3.15. Reference manual*. Natural History Museum. University of Oslo; 253 p. 2017.
- Júnior, S.D.O.M., De Andrade, J.R., De Andrade, L.R., Dos Santos, C.M., Dos Santos Silva, L.K., De Souza Medeiros, A. & Reis, L.S. 2019, ‘Solarização e cobertura morta no solo sobre a infestação de plantas daninhas no feijão-caupi (*Vigna unguiculata*)’, *Revista de Ciências Agroveterinárias*, vol. 18, no. 4, pp. 466-473. DOI: <https://doi.org/10.5965/223811711832019466>
- Kanda, E.K., Senzanje, A. & Mabhaudhi, T. 2021, ‘Coupling hydrus 2D/3D and AquaCrop models for simulation of water use in cowpea (*vigna unguiculata* (L.) walp)’ in: D.SK. Ting & A. Vasel-Be-Hagh (eds), *Sustaining Tomorrow*. Springer, Cham, p. 53-63. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-64715-5_4
- Leite, M.L. & Virgens Filho, J.S. 2004, ‘Produção de matéria seca em plantas de caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) submetidas a déficits hídricos’, *Ciências Exatas e da Terra, Ciências Agrárias e Engenharias*, vol. 10, no. 1, pp. 43-51. <https://revistas.uepg.br/index.php/exatas/article/view/820>

- Libardi, P.L. (ed) 2005, *Dinâmica da água no solo*, Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo, 327p.
- Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento, (Mapa) 2019. Brasília, DF. viewed 19 January 2019 <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>>.
- Mota, C.S. & Cano, M.A.O. 2016, 'Matter accumulation and photosynthetic responses of macaw palm to cyclical drought', *Revista Caatinga*, vol. 29, pp. 850-858. DOI: <https://doi.org/10.1590/1983-21252016v29n409rc>
- Mouhouche, B., Ruget, F. & Delécolle, R. 1998, 'Effects of water stress applied at different phenological phases on yield components of dwarf bean (*Phaseolus vulgaris* L.)', *Agronomie*, vol.18, pp.197-205. DOI: <https://doi.org/10.1051/agro:19980303>
- Oliveira, A.D.D., Fernandes, E.J. & Rodrigues, T.D.J. 2005, 'Condutância estomática como indicador de estresse hídrico em Feijão', *Engenharia Agrícola*, vol. 25, pp. 86-95. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162005000100010>
- Oliveira, G.A., Araújo, W.F., Cruz, P.L.S., Silva, W.L.M. & Ferreira, G.B. 2011, 'Resposta do feijão-caupi as lâminas de irrigação e as doses de fósforo no cerrado de Roraima', *Revista Ciência Agronômica*, vol. 42, no. 4, pp. 872-882. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1806-66902011000400008>
- Oliveira, T.F. 2017, 'Produtividade e qualidade do repolho influenciadas pela adubação potássica e modelagem da recomendação de nutrientes para a cultura', MsC Dissertation. Universidade Federal de Viçosa Campus Rio Paranaíba- Minas Gerais. <https://www.locus.ufv.br/handle/123456789/11533>
- Rocha, V.Z., De Sousa Ferreira, A., Leite, B.N., Ferreira, C.C., Pinto, K.G.D., Pinheiro, S.C. & Albertino, S.M.F. 2020, 'Dead Cover and Agronomic Characteristics of Cowpea', *Journal of Agricultural Science*, vol. 12, pp. 175-180. DOI: <https://doi.org/10.5539/jas.v12n10p175>
- Santos, D.P. & Lima, L.K.S. 2015, 'Avaliação agronômica de variedades de feijão-caupi em cultivo de sequeiro no município de Coremas-PB', *Revista Verde*, vol. 10, no.1, pp. 218 – 222. DOI: <https://doi.org/10.18378/rvads.v10i1.2950>

- Santos, J.F., Grangeiro, J.I.T., Brito, L.M.P., Oliveira, M.M. & Oliveira, M.E.C. 2009, 'Novas variedades de caupi para a microrregião do Brejo Paraibano', *Tecnologia & Ciência Agropecuária*, vol. 3, no. 3, pp. 07-12.
- Santos, P.L.S. 2016, 'Respostas Fisiológicas do Feijão-caupi submetidos a restrição hídrica e aplicação de óxido de cálcio sobre as folhas', MsC Dissertation, Universidade Federal de Sergipe. <https://ri.ufs.br/handle/riufs/3026>
- Santos, S.R.Q., Amaral Cunha, A.P.M. & Ribeiro-Neto, G.G. 2019, 'Avaliação de dados de precipitação para o monitoramento do padrão espaço-temporal da seca no Nordeste do Brasil', *Revista Brasileira de Climatologia*, vol. 25, pp. 80-100. DOI: <https://doi.org/10.5380/abclima.v25i0.62018>
- Silva, J.A. & Neves, J.A. 2011. 'Produção de feijão-caupi semi-prostrado em cultivos de sequeiro e irrigado'. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, vol. 6, no. 1, pp.29-36. DOI: <https://doi.org/10.5039/agraria.v6i1a748>
- Silva, V.P.R., Campos, J.H., Silva, M.T. & Azevedo, P.V. 2010, 'Impact of global warming on cowpea bean cultivation in northeastern Brazil', *Agricultural Water Management*, vol. 97, pp. 1760-1768. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2010.06.006>
- Sinclair, T.R. 1998, 'Historical changes in harvest index and crop nitrogen accumulation', *Crop Science*, vol. 38, pp. 638-643. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci1998.0011183X003800030002x>

CAPÍTULO 2

DEMANDA HÍDRICA E VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA DO FEIJÃO-CAUPI CULTIVADO EM DIFERENTES CENÁRIOS PRODUTIVOS

RESUMO - A demanda hídrica e a eficiência agrônômica e econômica do feijão-caupi estão fortemente relacionadas com as práticas agrícolas e as condições climáticas. Este trabalho teve como objetivo determinar em qual época de cultivo o feijão-caupi apresenta maior demanda hídrica e máxima eficiência agrônômica e econômica em função do estresse hídrico, nas condições edafoclimáticas da região semiárida do nordeste do Brasil. O feijão-caupi foi cultivado em dois períodos de cultivo (chuvoso e seco) e submetido a cinco formas de estresse hídrico (sem estresse hídrico, suspensão de água de 5, 10 e 15 dias e plantio de sequeiro) com quatro repetições, iniciado nas fases de floração e enchimento de grãos, em sistema de plantio direto. Foram avaliados parâmetros agrônômicos (produtividade, biomassa, índice de colheita e eficiência do uso da água) e econômicos (renda bruta, renda líquida, taxa de retorno e margem de lucro). A demanda hídrica do feijão-caupi no período seco foi 20,2% superior à do período chuvoso, consequentemente, os valores de Kc obtidos também foram superiores nesse período. As condições climáticas ocorridas nos períodos de cultivos e o estresse hídrico influenciaram negativamente no desempenho agrônômico e rentabilidade financeira do feijão-caupi, sendo mais evidenciada no cultivo de sequeiro. Para as condições edafoclimáticas do estudo, o feijão-caupi pode ser cultivado sem significativas perdas de produtividade e rentabilidade em ambos os períodos de cultivo, desde que o estresse hídrico não seja superior a 10 dias durante sua fase reprodutiva.

Palavras-chave: Rentabilidade. *Vigna unguiculata*. Estresse hídrico. Época de cultivo

WATER DEMAND AND TECHNICAL-ECONOMIC VIABILITY OF COWPEA GROWN IN DIFFERENT PRODUCTION SCENARIOS

ABSTRACT - Water demand and agronomic and economic efficiency of cowpea are strongly related to agricultural practices and climatic conditions. This study aimed to determine in which cropping season cowpea has the highest water demand and maximum agronomic and economic efficiency as a function of water stress under the edaphoclimatic conditions of the semi-arid region of northeastern Brazil. Cowpea was cultivated in two cropping seasons (rainy and dry) and subjected to five forms of water stress (without water stress, water suspension for 5, 10 and 15 days and rainfed cultivation) and four replicates, started in the flowering and grain filling stages, under no-tillage system. Agronomic (yield, biomass, harvest index and water use efficiency) and economic (gross revenue, net revenue, rate of return and profit margin) parameters were evaluated. The water demand of cowpea in the dry season was 20.2% higher than in the rainy season; consequently, the Kc values obtained were also higher in this period. The climatic conditions that occurred during the cropping seasons and water stress negatively influenced the agronomic performance and financial profitability of cowpea, being more evident in the rainfed cultivation. For the edaphoclimatic conditions of the study, cowpea can be grown without significant losses of yield and profitability in both cropping seasons, provided that the water stress does not last more than 10 days during its reproductive stage.

Keywords: Profitability. *Vigna unguiculata*. Water stress. Cropping season

1. INTRODUÇÃO

Dentre todas as atividades econômicas, a agricultura é considerada a atividade que mais depende das condições ambientais, em especial as climáticas. As culturas agrícolas quando mal supridas de água e submetidas a temperaturas elevadas, não conseguem alcançar seu pleno desenvolvimento, ocasionando perdas de produtividade, conseqüentemente, menores lucros para o setor agrícola (FÉLIX et al., 2020).

Na região Nordeste do Brasil, o cultivo de feijoeiro assume grande importância socioeconômica, em geral é praticada por pequenos agricultores familiares, por ser considerada uma cultura de subsistência, ser componente importante nos sistemas de produção e, ser uma das principais fontes de renda e emprego para a região e, também pelo seu alto valor nutritivo (FREIRE FILHO; LIMA e RIBEIRO, 2005; FROTA et al., 2008; ALMEIDA et al., 2010). A cultura do feijoeiro é caracteriza-se principalmente pela sua rusticidade, boa adaptação ao clima semiárido e pelo seu alto valor nutricional (MELO et al., 2022).

Porém, a agricultura familiar enfrenta grandes problemas para alcançar produtividade elevada, e isso se dar principalmente pelo fato dos agricultores não conseguirem explorar o potencial produtivo da cultura em virtude principalmente da variabilidade espaço-temporal da chuva, somando-se a isso, ainda há falta de adoção de técnicas mínimas que potencializem o aumento da produtividade da cultura, como por exemplo, o uso da irrigação e uso de variáveis mais resistentes à seca (LOPES et al., 2019; ARAÚJO et al., 2019).

A escassez hídrica é a principal condicionante que interfere na produtividade das culturas no semiárido. Por isso, conhecimento prévio das exigências agroclimáticas das culturas auxilia de forma adequada o planejamento agrícola, visando alcançar maior produtividade, rentabilidade e diminuição de perdas por fatores climáticos, sendo a temperatura e precipitação os elementos climáticos que mais afetam o desenvolvimento do feijoeiro (PEREIRA et al., 2014; LACERDA et al., 2010). No caso do feijão-caupi, nas fases floração e enchimento de grãos, o estresse hídrico tende a reduzir de forma drástica sua produtividade (SOUZA et al., 2015; ALMEIDA et al., 2019).

Desta forma é crucial conhecer detalhadamente a necessidade hídrica da cultura do feijoeiro de modo a maximizar o potencial produtivo e minimizar os custos de produção, melhorando assim a gestão dos recursos hídricos disponíveis, principalmente onde os mesmos são escassos (MURGA-ORRILLO et al., 2016). A cultura do feijoeiro

apresenta um curto período em seu ciclo, devido a isso, sofre grande influência de estiagens e veranicos ou ainda pelo excesso de água pode afetar severamente seu crescimento, por isso é indispensável a realização de um manejo adequado da cultura de modo a atender sua demanda hídrica de forma satisfatória (FREITAS et al., 2014; ABREU ARAÚJO).

Muitos estudos têm sido desenvolvidos com a finalidade de verificar a influência das práticas agrícolas e das condições climáticas sobre o rendimento e eficiência econômica do feijão-caupi (SILVA et al., 2016; CASTRO JÚNIOR et al., 2015; ANDRADE JUNIOR, 2018). Nesse contexto, objetivou-se com este trabalho determinar em qual época de cultivo o feijão-caupi apresenta máxima eficiência agronômica e econômica em função do estresse hídrico nas condições edafoclimáticas da região semiárida do nordeste do Brasil.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi conduzido na Estação Experimental (EstAgro) pertencente a Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas (UACA) da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, no estado da Paraíba, posicionada nas coordenadas 07° 13' 50" S de latitude e 35° 52' 52" W de longitude e 526 m de altitude. O solo da área possui textura arenosa. De acordo com Coelho & Soncin (1982) segundo classificação climática de Köppen adaptada ao Brasil, o estado da Paraíba apresenta clima mesotérmico, subúmido, com período seco (4 a 5 meses) e chuvoso (outono a inverno) bem definidos.

Foram realizadas duas campanhas experimentais, a primeira no período de 2 de fevereiro a 12 de abril de 2021 (período chuvoso) e a segunda de 1 de setembro a 9 de novembro de 2021 (período seco). As condições ambientais durante os períodos experimentais foram obtidas diariamente, e seus valores médios estão apresentados na Figura 1. O estresse hídrico na fase reprodutiva no período chuvoso teve início em 29 de março e foi encerrado em 12 de abril de 2021, e no período seco teve início em 19 de outubro e foi encerrado em 2 de novembro de 2021.

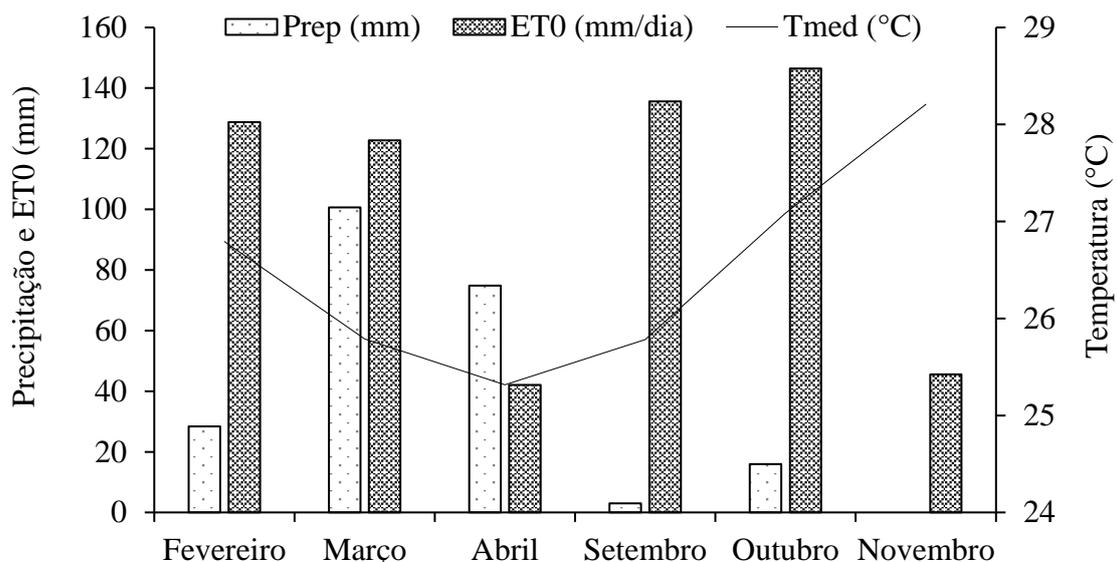


Figura 1. Dados climáticos observados durante a condução dos experimentos.

O feijão-caupi foi cultivado em dois períodos de cultivo (chuvoso e seco) e submetido a cinco formas de estresse hídrico (sem estresse hídrico, suspensão de água de 5, 10 e 15 dias e plantio de sequeiro), em sistema de plantio direto. A área experimental contava com 10 canteiros de alvenaria com dimensões de 8 m x 1 m. Cada parcela experimental foi composta por 1 canteiro. As parcelas que receberam os tratamentos de déficit hídrico, a suspensão da irrigação ocorreu no estágio de floração da cultura, período em 70% das plantas apresentaram pelo menos uma flor

Antes instalação da cultura, foi realizada uma análise químico-física do solo na camada de 0-20 cm do perfil, para caracterização química, possuindo: 6,2 de pH em água; 11,12 g.kg⁻¹ de matéria orgânica; 68,75% de saturação de base (V); 0,04; 2; 2,27; e 1,7 cmol_c.dm⁻³ de Na⁺, H+Al³⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺ e; 30,95 e 142,51 de P e K⁺ respectivamente. O solo da área possui textura arenosa e seus valores de conteúdo de água da umidade do solo referentes à capacidade de campo (-0,01 Mpa) e ponto de murcha permanente (-1,5 Mpa), considerando a camada de 0 a 0,4 m, foram de 7,3% e 4,6% à base de volume, respectivamente.

A semeadura foi feita de forma manual, com a abertura das covas feita com auxílio de enxada, espaçadas 0,5 m entre fileiras e 0,5 m entre linhas, e colocadas de 3 a 4 sementes por covas, deixando apenas 3 plantas por cova, o que resultou em uma densidade de plantio de 120.000 plantas.ha⁻¹.

A reposição de água, foi baseada em 100% da evapotranspiração da cultura (ET_c), a qual foi estimada conforme Bernardo, Soares e Mantovani (2009), com valores de Kc

do feijão determinados por Silva et al. (2016) e evapotranspiração de referência (ET_0) estimada pela equação proposta Allen et al. (1998). Os dados necessários para estimativa da ET_0 foram coletados diariamente por meio de uma estação agrometeorológica automática (Irriplus, modelo E5000) instalada na área experimental.

A irrigação foi feita por um sistema de gotejamento com vazão de $4,5 \text{ l.h}^{-1}$ a uma pressão de serviço de 2 kgf. cm^{-2} e foi adotada uma eficiência de aplicação de 90%, o sistema contava com duas linhas por canteiro e um gotejador por cova. Foi adotado um intervalo entre irrigações (turno de rega) de dois dias. As irrigações foram realizadas sempre durante o período da manhã, entre 06h e 08h e quando volume pluviométrico não ultrapassava a demanda hídrica da cultura.

A variedade de feijão-caupi cultivada foi a ‘Costela de Vaca’ (crioula), devido sua aceitação pela agricultura familiar na região Nordeste do Brasil (Silva & Neves 2011). Essa cultivar apresenta porte semiprostrado, sua floração inicia-se aos 40 dias após sementeira, e sua maturidade é alcançada entre 71 e 80 dias após a sementeira. Sua produtividade média é, geralmente, superior a 1.000 kg.ha^{-1} em regime de sequeiro (SANTOS & LIMA 2015; SANTOS et al. 2009).

Durante a permanência da cultura em campo foram realizadas capinas manuais para o controle das plantas espontâneas e o controle de insetos e doenças foi feito utilizando práticas agroecológicas e alternativas visando uma produção livre de agroquímicos.

A ET_c foi determinada a partir da equação (1), proposta por Libardi (1995):

$$ET_c = P + I \pm D/A \pm \Delta s \pm R \quad (1)$$

em que:

ET_c - Evapotranspiração da cultura (mm/dia); P - Precipitação (mm/dia); I - Irrigação; Δs - Variação no armazenamento de água no perfil do solo; R - Escoamento superficial; D / A - Drenagem profunda ou ascensão capilar.

A umidade do solo foi monitorada utilizando-se uma sonda de capacitância, modelo Diviner 2000®. A precipitação (PRP) foi coletada diariamente na Estação Meteorológica Automática Irriplus, a irrigação (I) através da monitoração da irrigação, quando que o escoamento superficial (R) e a drenagem profunda/ascensão capilar (D/A) foram considerados nulos devido a área do canteiro ser relativamente pequena e a irrigação ser realizada apenas conforme a necessidade hídrica da cultura e umedecendo o solo apenas até o sistema radicular.

A variação do armazenamento de água no perfil do solo (Δs) foi determinada pela diferença entre os valores dos conteúdos de água inicial (Θ_1) e final (Θ_2), considerando a profundidade máxima do sistema radicular da cultura (Z_{BH}) que foi de 40 cm, a partir da equação (2):

$$\Delta s = (\theta_2 - \theta_1) \cdot Z_{BH} \quad (2)$$

em que: Δs : Variação do armazenamento de água nos dias considerados (mm); θ_2 : Umidade do solo encontrada no tempo 2 (final), $m^3 \cdot m^{-3}$; θ_1 : Umidade do solo encontrada no tempo 1 (inicial), $m^3 \cdot m^{-3}$; Z_{BH} : Profundidade considerada para o balanço hídrico (0,4 m).

Os valores de K_c do feijão-caupi cv. 'Costela de Vaca', foram estimados para o tratamento que não sofreu restrição hídrica através da equação (3), conforme Doorenbos e Pruitt (1977), e o ciclo da cultura foi dividido em fases de desenvolvimento conforme proposto por Allen et al. (1998) cujos detalhes para a sua obtenção constam em Murga-Orrillo et al. (2016).

$$K_c = ET_c / ET_o \quad (3)$$

Em que: K_c - coeficiente de cultivo; ET_c - evapotranspiração da cultura (mm); ET_o - evapotranspiração de referência (mm).

Os valores de ET_c foram apresentados seguindo a divisão do ciclo da cultura em diferentes estágios de desenvolvimento, conforme proposto por Allen et al. (1998).

As avaliações das características agrônômicas foram realizadas à medida que cada parcela atingia a maturidade fisiológica. Foram avaliadas as seguintes características agrônômicas em cada tratamento: produtividade de grãos (quantificada pelo peso dos grãos secos colhidos em uma área útil da parcela de $1m^2$, expressa em $kg \cdot ha^{-1}$); biomassa (obtida pela pesagem da parte aérea da planta, excluídas as vargens, expressa em $kg \cdot ha^{-1}$); índice de colheita (mensurado pela relação entre a produtividade de grãos secos e a biomassa, expresso em porcentagem) e; eficiência do uso da água, determinada pela relação entre a produtividade de grãos e a lâmina de água total aplicada (irrigação + precipitação), expressa em $kg \cdot ha^{-1} \cdot mm^{-1}$.

Em ambos os experimentos foram determinados os custos de produção e calculados os seguintes indicadores econômicos: receita bruta (RB) expressa em reais,

determinada pela multiplicação do rendimento do grão seco de cada tratamento pelo valor do produto pago ao produtor da região, em junho de 2021, que foi de R\$ 3,38 por kg de grão seco, e em dezembro de 2021, que foi de R\$ 5,11 por kg de grão seco, os valores praticados foram obtidos com base na fonte de dados da Conab (Companhia Nacional do Abastecimento); receita líquida (RL) expressa em reais, obtida pela subtração dos custos de produção (CP) da receita bruta (RB); taxa de retorno (TR) expressa em reais, determinada pela razão entre a receita total e os custos de produção (CP), essa variável representa quantos reais são obtidos em troca de cada real aplicado no sistema; margem de lucro (ML) expressa em porcentagem, obtida pela razão entre a receita líquida e a receita bruta. A metodologia utilizada no cálculo desses indicadores foi recomendada por Bezerra Neto et al. (2010).

Para realização do cálculo foi considerado que os custos de produção (CP), como preparo do solo, plantio, tratos culturais, colheita, entre outros, foram variáveis para todos os tratamentos, e que o sistema de irrigação já estivesse em pleno funcionamento no campo, para avaliar apenas o custo variável da lâmina de água, pois a variação no volume da água aplicado não influencia no custo do investimento inicial com o projeto de irrigação.

Os dados agronômicos e econômicos obtidos foram submetidos à análise de variância e na presença de efeito significativo para efeito do estresse hídrico foram realizadas análises de regressão, e sua significância verificada pelo coeficiente de correlação através do teste F a 5% de probabilidade, considerando-se as médias ajustadas quando $R^2 > 0,7$. As análises foram realizadas pelo *software* PAleontological STatistics versão 3 (PAST 3) (HAMMER, 2017).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O ciclo do feijão-caupi cv. 'Costela de Vaca' em ambos os períodos de cultivo foi concluído aos 70 dias, distribuídos da seguinte forma: 13 dias (Fase I); 28 dias (Fase 2); 13 dias (Fase III) e 16 dias (Fase IV), apresentando um total acumulado da ETo no período chuvoso de 291,6 mm, no período seco esse valor foi de 327,7 mm, o que representou um aumento de 20,2% na demanda hídrica da cultura nesse período (Tabela 1). Os maiores valores de ETo e ETc foi observado na fase II. Silva et al. (2016) explicam que este comportamento pode ser explicado pelo maior desenvolvimento das plantas, com isso a

cultura apresenta maior aumento da área foliar e, conseqüentemente, aumento na sua evapotranspiração.

Nas fases I e II a demanda hídrica da cultura apresentou valores bem próximos em ambos os períodos de cultivo, sendo que nas fases III e IV, a demanda hídrica foi superior no período seco. Isso ocorreu devidos as condições climáticas observadas nos experimentos, onde observou-se que no início do ciclo da cultura a ETo apresentou valores elevados em ambos os períodos de cultivo, porém no final do ciclo seus valores foram menores na estação chuvosa. Contudo, a faixa de variação nos valores de ETo, é considerada normal para essas épocas do ano na cidade de Campina Grande-PB, já que durante a estação seca permanece a condição de reduzida nebulosidade, o que favorece o aumento das temperaturas e da radiação solar global, com reflexo direto da estimativa da ETo (HENRIQUE; DANTAS, 2007; JÚNIOR; LUCENA; ALMEIDA, 2018).

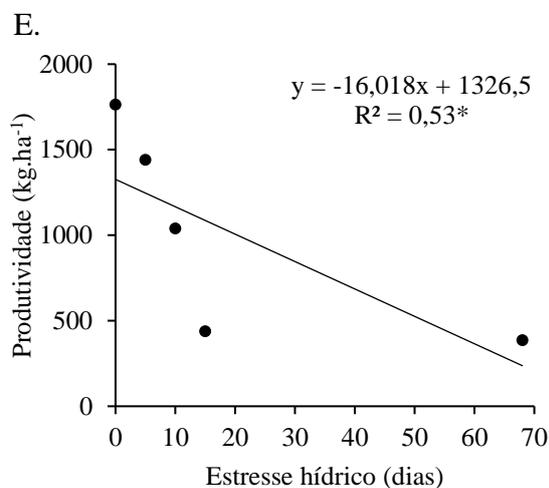
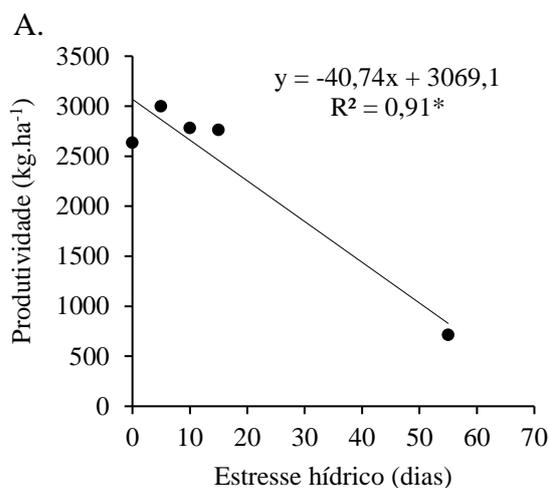
Os valores de Kc obtidos para feijão-caupi cv. ‘Costela de Vaca’ cultivado nas condições edafoclimáticas do agreste paraibano, no município de Campina Grande, PB foram superiores no período seco (Tabela 1). Esses valores de Kc foram fortemente influenciados pelo conteúdo de água no solo durante o desenvolvimento da cultura e pela demanda evaporativa da região, já que durante o período chuvoso, o total pluviométrico foi de 205,9 mm, enquanto no período seco foi de apenas 19 mm. Desta forma, os valores de Kc do feijão-caupi encontrados nesse trabalho não foram compatíveis com os sugeridos pela Boletim FAO 56 (ALLEN et al., 1998). Apesar disso, foram bem próximos dos valores obtidos por Silva et al. (2016) e Souza et al. (2015), que também determinaram essa valores em condições climáticas similares as deste experimento.

Tabela 1. Duração dos estádios fenológicos, inicial (I), desenvolvimento vegetativo (II), floração/reprodutivo (III), final (IV) da cultura do feijão-caupi e valores da evapotranspiração de referência (ETo), evapotranspiração da cultura (ETc) e o coeficiente de cultivo (Kc) para cada estágio.

Fase	Período Chuvoso				Período Seco		
	Duração (dias)	ET0 (mm)	Etc (mm)	Kc	ET0 (mm)	Etc (mm)	Kc
I	13	63,7	54,1	0,85	62,3	55,4	0,89
II	28	122,4	118,7	0,97	125,2	127,7	1,02
III	13	49,0	45,6	0,93	60,9	59,1	0,97
IV	16	56,5	49,2	0,87	79,3	73,0	0,92
Total	70	291,6	267,6	-	327,7	315,2	-

Resposta lineares significativas decrescentes foram observadas em todos os parâmetros agronômicos avaliados, exceto para eficiência do uso da água na estação seca. Isso indica que independentemente da época de cultivo, o feijão-caupi é influenciado negativamente pelo estresse hídrico. Apenas a variável referente ao índice de colheita não apresentou diferença estatística, mostrando sua insensibilidade aos efeitos da época de cultivo e do estresse hídrico. A eficiência do uso da água na estação seca, apresentou resposta controversa a esperada, pois houve reduções em todos os tratamentos irrigados, porém para o tratamento de sequeiro, seu valor foi muito elevado, comprovando assim a resistência do feijão-caupi ao estresse hídrico, que mesmo com o mínimo de água conseguiu completar seu ciclo e obter produtividade.

Ezin et al. (2021) avaliando o efeito do estresse hídrico sobre os caracteres agronômicos do feijão-caupi, concluíram que os mesmos também foram significativamente afetados principalmente quando o estresse hídrico ocorreu no início da floração, o que afetou negativamente o enchimento das vagens, acarretando consequentemente reduções de produtividade. Contudo, Silva et al. (2021) observaram que as espécies crioulas de feijão-caupi responderam negativamente ao estresse hídrico, porém mantendo o comprimento das vagens e números de sementes por vagens. Estes estudos corroboram com os resultados obtidos nessa pesquisa, comprovando a eficiência produtiva da cultivar crioula de feijão-caupi ‘Costela de Vaca’ mesmo quando submetida ao estresse hídrico em sua fase reprodutiva, fazendo com que a mesma seja amplamente cultivada sob regime de agricultura familiar no semiárido nordestino.



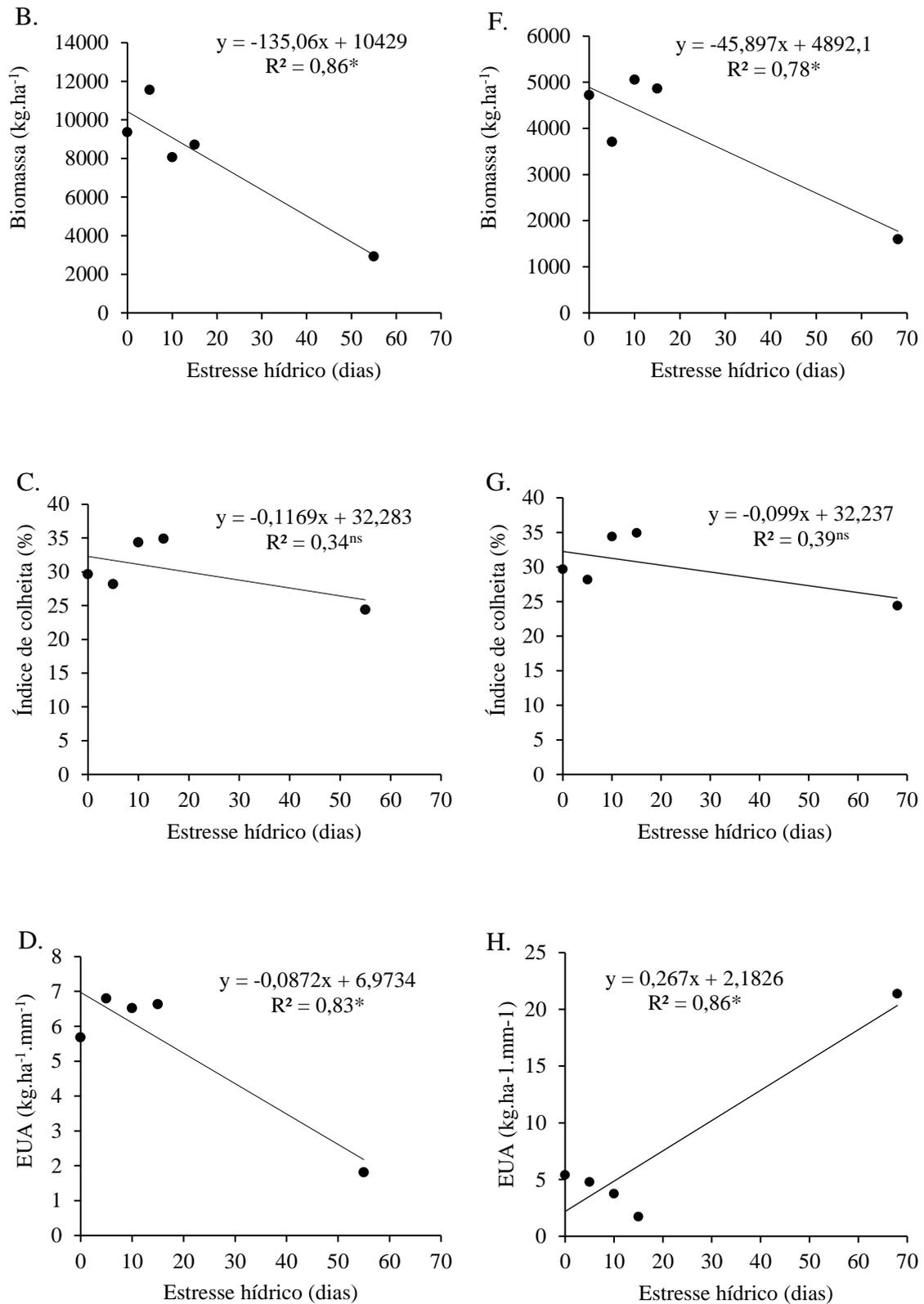


Figura 2. Produtividade, biomassa, índice de colheita e eficiência do uso da água do feijão-caupi em função do estresse hídrico cultivado em período chuvoso (A, B, C, D) e

período seco (E, F, G, H), respectivamente. R^2 - coeficiente de determinação; *significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.

A produtividade do feijão-caupi foi influenciada pela restrição hídrica independentemente do período de cultivo, apresentando superioridade de produtividade em todos os tratamentos na estação chuvosa. Em condições de irrigação plena, no período chuvoso a máxima produtividade do feijão-caupi ($2998 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) foi observada no tratamento que recebeu suspensão hídrica de cinco dias, enquanto que no período seco, a produtividade máxima foi de $1763 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$. Devido à grande variabilidade climática na região semiárida Nordestina é de fundamental importância a utilização de técnicas que potencializem o aumento da produtividade das culturas, como por exemplo, o uso de variáveis mais resistentes à seca e uso de cobertura morta (LOPES et al., 2019).

As menores produtividades foram observadas nos plantios de sequeiro, com valores de 710 e $385 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, para os períodos chuvoso e seco, respectivamente. A redução de produtividade em condições de sequeiro foi de 73% para o período chuvoso e 78% para o período seco, evidenciando assim a importância do uso da irrigação para aumentar a produtividade da cultura. A produtividade média nacional de feijão-caupi em regime de sequeiro na safra 2020/2021 foi de $494 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (CONAB, 2021).

Silva e Neves (2011) avaliando diferentes cultivares de feijão-caupi sob regime de sequeiro e irrigado, obtiveram valores médios de produtividade em torno de $700 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ e acima de $1000 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, respectivamente. Gomes et al. (2020) e Santos & Lima (2015) obtiveram produtividades superiores a $1500 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ em regime de sequeiro para variedade crioula de feijão-caupi cv. 'Costela de Vaca', no entanto, nas regiões da realização dos estudos, os totais pluviométricos durante o ciclo da cultura foram superiores a 350 mm. A interação no desempenho feijão-caupi em sistemas de cultivo irrigado e sequeiro, sugere forte influência de fatores ambientais sobre sua produtividade, tornando-os dependente de variações ambientais e manejo (SILVA et al., 2017).

Para a eficiência do uso da água do feijão-caupi, observou-se máxima EUA no período chuvoso (Figura 2D) nos tratamentos que receberam irrigado (superiores a $5,7 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$), ao passo que no tratamento de sequeiro, a EUA foi de apenas $2 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$. No período seco, a EUA foi inferior a $5 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$ em todos os tratamentos irrigados, porém no tratamento de sequeiro, a EUA foi de $21 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$. Certamente, as práticas agrícolas de cobertura do solo e plantio direto no cultivo do feijão-caupi, mesmo

submetido ao estresse hídrico contribuíram para melhor eficiência do uso da água em ambos os períodos de cultivo.

Contudo, De Brito *et al.* (2016) avaliando a produtividade e o uso da água no cultivo do feijão sob diferentes coberturas de solo e submetido à restrição hídrica, verificou que, as coberturas do solo não contribuíram para minimizar o efeito negativos das restrições hídricas sobre a produtividade da cultura e a eficiência de uso da água. Nhanombe (2019) avaliando os efeitos de restrição hídrica em feijoeiro cultivado em plantio direto e convencional, verificou que o cultivo no sistema de plantio direto proporcionou economia de água de 60 mm ha⁻¹ e elevou a EUA em 34,48%.

O feijão-caupi possui boa eficiência do uso da água, o que permite seu cultivo em diferentes épocas de cultivo, porém, os custos básicos de produção, a depender das condições ambientais, como a atuação do estresse hídrico e das práticas agrícolas utilizadas em seu cultivo, como o plantio direto e uso de cobertura do solo, além da utilização de cultivares adaptadas as condições climáticas locais e aceitação pelos produtores, contribuem diretamente na viabilidade econômica do feijão-caupi.

Os indicadores de viabilidade econômica para o cultivo do feijão-caupi (Tabela 1) apontam que o feijão-caupi por ser produzido em Campina Grande no estado da Paraíba nos períodos chuvoso e seco, desde que a restrição hídrica durante as fases de floração e enchimentos de grãos não ultrapassem 10 dias consecutivos, e seu cultivo seja realizado sob regime de irrigação. A margem de lucro com o uso de plena irrigação durante todo o ciclo da cultura foi de 77,5% e 80,3% para o cultivo do feijão-caupi nos períodos chuvoso e seco, respectivamente. Como a diferença de preço do quilo do feijão-caupi pago ao produtor entre os períodos de cultivo foi R\$ 1,73, sugere-se que é mais lucrativo para o mesmo cultivá-lo no período seco. Já o cultivo de sequeiro, apesar de ter apresentado produtividade menor, ainda sim é rentável.

Silva *et al.* (2016) analisando a viabilidade econômica do feijão-caupi cultivado sob regime de irrigação e sequeiro, obtiveram valores de eficiência econômica de 80% e 70%, respectivamente. Os autores sugeriam que o custo operacional efetivo pode ser reduzido com a utilização da mão de obra proveniente da agricultura familiar.

Os custos totais de produção (Tabela 1) foram superiores na estação chuvosa, pois além da irrigação, houve ocorrências das chuvas, resultando em um maior crescimento de plantas espontâneas (daninhas), conseqüentemente, foi necessária uma maior quantidade de capinas para seu controle. Apesar disso, como o plantio aconteceu de forma

direta e a irrigação de forma localizada, houve supressão das plantas espontâneas, não interferindo na produtividade do feijão-caupi.

Um dos principais fatores que interferem na produtividade do feijão-caupi é o crescimento de plantas daninhas, a produtividade pode ser reduzida em até 73,5% com o convívio de plantas daninhas durante todo o ciclo da cultura (LACERDA et al., 2020). Uma das soluções para supressão das plantas daninhas no cultivo de feijão-caupi tanto em regime irrigado quanto de sequeiro é o uso da cobertura morta (PEREIRA et al., 2020; MAIA JÚNIOR et al., 2019).

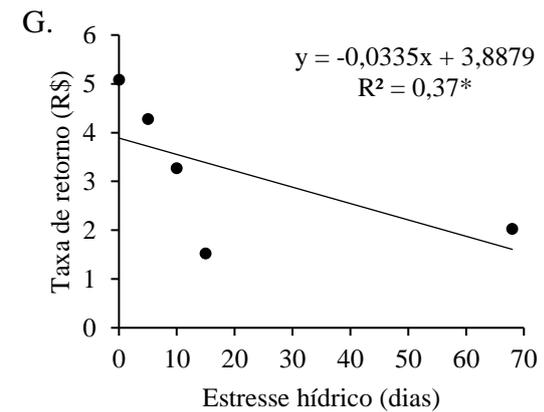
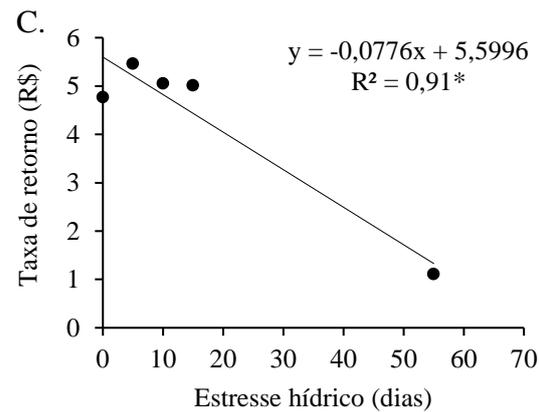
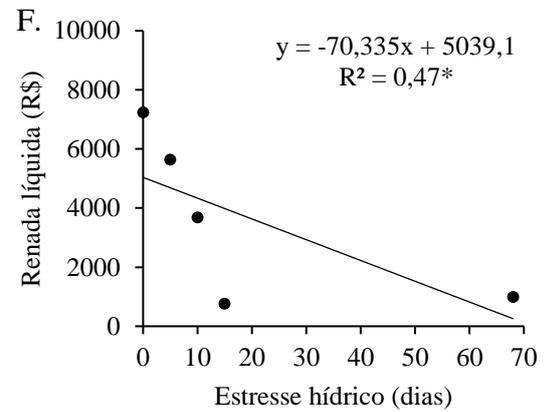
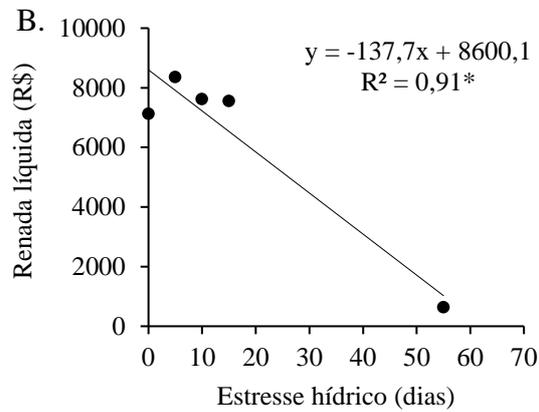
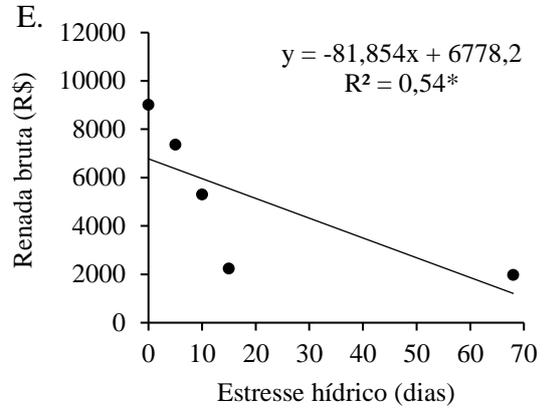
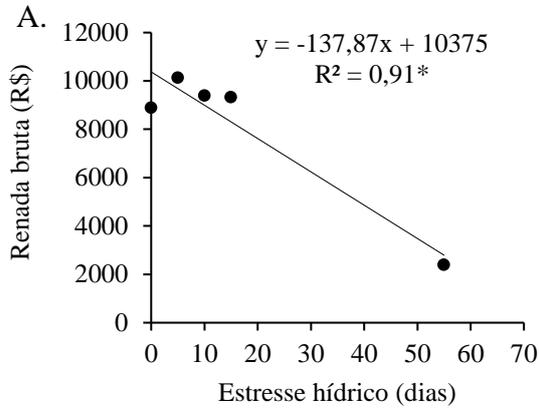
Tabela 1. Indicadores de viabilidade econômica do feijão-caupi em função do estresse hídrico, em duas épocas de cultivo, em Campina Grande-PB.

Tratamento	Época	P (kg.ha ⁻¹)	CP (R\$)	Indicadores de viabilidade econômica			
				RB (R\$)	RL (R\$)	TR (R\$)	ML (%)
T1	C	2633	1998,9	8897,9	6899,0	4,5	77,5
	S	1763	1773,4	9006,4	7233,0	5,1	80,3
T2	C	2998	1948,9	10131,6	8182,7	5,2	80,8
	S	1440	1723,4	7358,4	5635,1	4,3	76,6
T3	C	2780	1848,9	9396,4	7547,5	5,1	80,3
	S	1038	1623,4	5301,6	3678,3	3,3	69,4
T4	C	2760	1698,9	9328,8	7629,9	5,5	81,8
	S	438	1473,4	2235,6	762,3	1,5	34,1
T5	C	710	1498,9	2399,8	900,9	1,6	37,5
	S	385	1273,4	1967,4	694,0	1,5	35,3

RB – renda bruta; RL - renda líquida; TR – taxa de retorno; ML – margem de lucro; CT - custo total; T1 – irrigação plena; T2 – estresse hídrico de 5 dias; T3 - estresse hídrico de 10 dias; T4: estresse hídrico de 15 dias; T5: plantio de sequeiro; C – chuvoso; S – seco.

Resposta lineares decrescentes significativas foram observadas em todos os indicadores de viabilidade econômica (Figura 20). Contudo, essas correlações lineares entre os indicadores econômicos e o efeito do estresse hídrico para ao cultivo do feijão-caupi no período seco, apresentação valores abaixo de 0,7, embora com alta significância estatística, isso sugere que a rentabilidade do feijão-caupi foi afetada mais fortemente pela restrição hídrica, sendo essas reduções mais evidenciadas no sistema de plantio de sequeiro. Porém, a rentabilidade do feijão-caupi cultivo sob regime de sequeiro pode ser aumentada caso haja consorciação com outras culturas, como por exemplo o milho, em

virtude do retorno positivo da receita líquida e da taxa de retorno (CARVALHO et al., 2017).



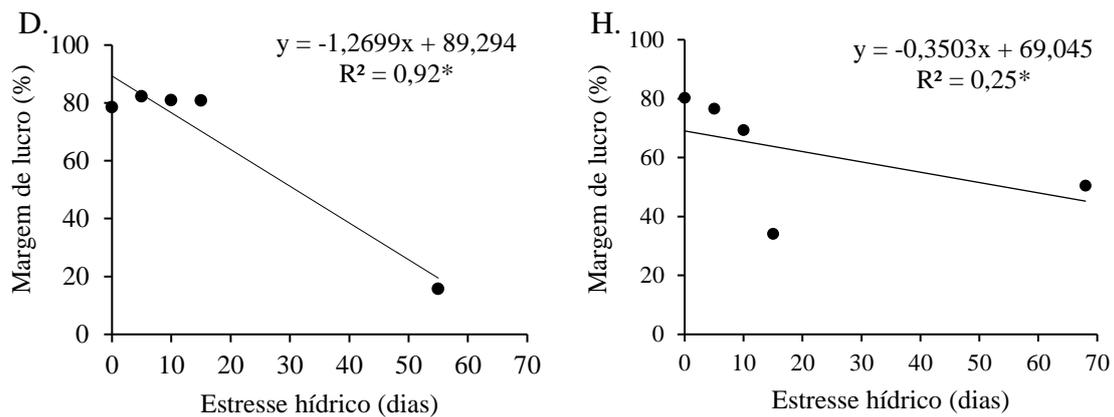


Figura 3. Renda bruta, renda líquida, taxa de retorno, margem de lucro para o feijão-caupi cultivado sob estresse hídrico em período chuvoso (A, B, C e D) e em período seco (E, F, G e H), respectivamente. R^2 - coeficiente de determinação; *significativo pelo teste F a 5% de probabilidade.

Portanto, nesta pesquisa, verificou-se que as condições climáticas ocorridas nos períodos de cultivos e o estresse hídrico influenciaram no desempenho agrônomo e rentabilidade financeira do feijão-caupi. Com isso, evidencia-se a forte influência das condições ambientais e de manejo sobre produtividade e rentabilidade do feijão-caupi cultivado nas condições edafoclimáticas do semiárido nordestino. Sendo o uso da irrigação uma tecnologia que atua de forma positiva na maximização desses resultados.

4. CONCLUSÕES

Houve maior necessidade de água para a cultura do feijão-caupi cultivado no período seco, com isso, os valores de K_c encontrados nesse período foram superiores aos obtidos no período chuvoso. As práticas agrícolas de plantio direto e uso de cobertura do solo proporcionaram maiores produtividades do feijão-caupi, mesmo que seu cultivo tenha sido influenciado pelas condições climáticas das épocas de cultivo e do estresse hídrico. Apesar disso, o feijão-caupi apresentou resultados positivos de viabilidade econômica em ambos os períodos de cultivo, desde que o estresse hídrico não seja superior a 10 dias durante sua fase reprodutiva. Esses resultados permitirão aos produtores rurais planejar com maior eficiência a produção do feijão-caupi nas diferentes épocas de seu cultivo, de modo a maximizar a produtividade da cultura, consequentemente elevar seus resultados econômicos.

5. REFERÊNCIAS

ABREU ARAÚJO, Beatriz de et al. Veranicos na produtividade de feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) no município de Crateús, Ceará. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 14, n. 2, p. 312-316, 2019.

ALMEIDA, Rafaela Silveira Rodrigues et al. Pegada hídrica de plantas hortícolas cultivadas no semiárido brasileiro. **Revista IberoAmericana de Ciências Ambientais**, v.10, n.4, p.45-56, 2019.

ANDRADE JUNIOR, Aderson Soares de et al. Índice de satisfação da necessidade de água do feijão-caupi sob sistema de cultivo convencional e plantio direto. **Agrometeoros**, v. 26, n. 1, p. 201-211, 2018.

ARAÚJO, Beatriz de Abreu et al. Veranicos na produtividade de feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) no município de Crateús, Ceará. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 14, n. 2, p. 312-316, 2019.

BEZERRA NETO, F.; GOMES, E. G.; ARAÚJO, R. R.; OLIVEIRA, E. Q.; SOUSA NUNES, G. H.; GRANGEIRO, L. C.; AZEVEDO, C. M. D. S. B. Evaluation of yield advantage indexes in carrot-lettuce intercropping systems. *Interciencia*, v. 35, n. 1, p. 59-64, 2010.

CARVALHO, Islan Diego Espíndula et al. Viabilidade econômica do consórcio entre genótipos de milho com feijão comum na região da Zona da Mata alagoana. **Agropecuária Técnica**, v. 38, n. 4, p. 177-184, 2017.

CASTRO JÚNIOR, Wady L. et al. Viabilidade econômica de tecnologias de manejo da irrigação na produção do feijão-caupi, na região dos Cocais-MA. **Engenharia Agrícola**, v. 35, p. 406-418, 2015.

CONAB (Companhia Nacional de Abastecimento). Acompanhamento da safra brasileira de grãos. 12º Levantamento - Safra 2020/21- Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info%20agro/safra/safra/graos/boletim-da-safra-de-graos>. Acesso em: 15 de fev de 2022.

DE BRITO, José Edmilson Deodato et al. Produtividade e eficiência de uso da água em cultivo de feijão sob diferentes coberturas do solo submetido à restrição hídrica. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada-RBAI**, v. 10, n. 2, p. 565-575, 2016.

DOORENBOS, J; PRUITT, W. O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. 2. ed. Rome: FAO, 1977. 179p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 24).

FÉLIX, Adriano Da Silva et al. Análise exploratória dos impactos das mudanças climáticas na produção vegetal no Brasil. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 13, n. 1, p. 397-409, 2020.

FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, JA de A.; RIBEIRO, V. Q. **Feijão-caupi: avanços tecnológicos**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005.

FREITAS, Rômulo Magno Oliveira de et al. Produção de feijão-caupi sob efeito de veranico nos sistemas de plantio direto e convencional. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 1, n. 34, p. 3683-3690, 2014.

FROTA, K. de M.G.; SOARES, R.A.M.; ARÊAS, J.A.G. Composição química do feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.), cultivar BRS- Milênio. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.28, n.2, p.470-476, 2008.

HAMMER, Ø. PAleontological STatistics Version 3.15. **Reference manual**. Natural History Museum. University of Oslo; 253 p. 2017.

HENRIQUE, Francisco de AN; DANTAS, Renilson T. Estimativa da evapotranspiração de referência em Campina Grande, Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, p. 594-599, 2007.

EZIN, Vincent et al. Adaptation of Cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) to Water Deficit during Vegetative and Reproductive Phases Using Physiological and Agronomic Characters. **International Journal of Agronomy**, v. 2021, 2021.

JÚNIOR, Jório Bezerra Cabral; LUCENA, Rebecca Luna; DE ALMEIDA, Hermes Alves. Avaliação da evapotranspiração de referência diária, estimada pelo método tanque classe A, para Campina Grande, PB (Evaluation of daily reference evapotranspiration,

estimated by method class A pan, for Campina Grande, PB). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 11, n. 6, p. 1971-1984, 2018.

LACERDA, Claudivan Feitosa. et al. Análise de crescimento de milho e feijão sob diferentes condições de sombreamento. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 5, n. 1, p. 18-24, 2010.

LACERDA, Marlon Lopes et al. Periods of weed interference in cowpea crop in the semi-arid of Minas Gerais, Brazil. **Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2020.

LOPES, José Ricardo Ferreira; DANTAS, Milena Pereira; FERREIRA, Francisco Edson Paulo. Identificação da influência da pluviometria no rendimento do milho no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 13, n. 5, p. 3610, 2019.

MAIA JÚNIOR, Sebastião de Oliveira et al. Solarização e cobertura morta no solo sobre a infestação de plantas daninhas no feijão-caupi (*Vigna unguiculata*). **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 18, n. 4, p. 466-473, 2019.

MELO, Alberto S. de et al. Water restriction in cowpea plants [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]: Metabolic changes and tolerance induction. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 26, p. 190-197, 2022.

MURGA-ORRILLO, Hipólito et al. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo do feijão-caupi cultivado em solo do cerrado submetido à cobertura morta. **Irriga**, v. 21, n. 1, p. 172-172, 2016.

LIBARDI, Paulo Leonel. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo, 2005. 327p.

NHANOMBE, E.A.L.P. Efeitos de restrição hídrica em feijoeiro cultivado em plantio direto e convencional. **Dissertação** (Mestrado em Fitotecnia) –Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2019, 68f.

PEREIRA, Leandro Spíndola et al. Manejo de plantas daninhas e rendimento de feijão-caupi utilizando plantas de cobertura do solo. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 23044-23059, 2020.

PEREIRA, Vinicius Gabriel Caneppele et al. Exigências agroclimáticas para a cultura dofeijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, v. 3, n. 1, p. 32-42, 2014.

SANTOS, Daniel P.; LIMA, Lucas KS. Avaliação agronômica de variedades de feijão-caupi em cultivo de sequeiro no município de Coremas, PB. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v. 10, n. 1, p. 34, 2015.

SILVA, Gheysa Coelho et al. Rendimento de grãos secos e componentes de produção de genótipos de feijão-caupi em cultivo irrigado e de sequeiro. **Revista Agro@mbiente Online**, v. 10, n. 4, p. 342-350, 2017.

SILVA, José Algaci Lopes da; NEVES, Josynaria Araújo. Componentes de produção e suas correlações em genótipos de feijão-caupi em cultivo de sequeiro e irrigado. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 3, p. 702-713, 2011.

SILVA, Vicente de Paulo Rodrigues da et al. Consumo hídrico e viabilidade econômica da cultura do feijão-caupi cultivado em clima semiárido. **Irriga**, v. 21, n. 4, p. 662-672, 2016.

SILVA, Johny de Souza et al. Mecanismos de tolerância ao déficit hídrico e respostas fisiológicas a reidratação em feijão-caupi. **Revista Ciência Agronômica**, v. 52, 2021.

SOUSA, Inajá F. de et al. Evapotranspiração de referência nos perímetros irrigados do Estado de Sergipe. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 6, p. 633-644, 2010.

SOUZA, Luciana Sandra Bastos de et al. Requerimento hídrico e coeficiente de cultura do milho e feijão-caupi em sistemas exclusivo e consorciado. **Revista Caatinga**, v. 28, p. 151-160, 2015.

SOUZA, Simone Bhering Gomes et al. Caracterização agronômica de variedades crioulas de feijões caupi no Município de Senador Guimard, Acre, Brasil. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 8, p. e841986243-e841986243, 2020.

CAPÍTULO 3

CALIBRAÇÃO E VALIDAÇÃO DO MODELO AQUACROP PARA A CULTURA DO FEIJÃO-CAUPI SOB ESTRESSE HÍDRICO

RESUMO: O feijão-caupi é uma leguminosa cultivada em diversificados sistemas de produção, sob diferentes condições de clima, solo, cultivares e nível tecnológico. Apesar da cultura ser resistente ao estresse hídrico, a falta de água durante sua fase reprodutiva, traz perdas expressivas em sua produtividade. O estudo teve como objetivo calibrar e validar o modelo AquaCrop na simulação da produtividade do feijão-caupi sob estresse hídrico em duas safras (chuvosa e seca) em sistema de plantio direto. Foram realizados ensaios em dois períodos de cultivo (chuvoso e seco) com cinco formas de estresse hídrico (sem estresse hídrico, suspensão de água de 5, 10 e 15 dias e plantio de sequeiro), em sistema de plantio direto. Independentemente do período de cultivo do feijão-caupi, o estresse hídrico proporcionou redução de produtividade grão e biomassa, sendo mais evidenciada na época seca. Os resultados da calibração do AquaCrop indicaram que o modelo simulou bem o rendimento de grãos e biomassa do feijão-caupi para o período chuvoso e seco, nas condições de estresse hídrico, apresentando valores de RMSE menores que 10% em todas as simulações, conferindo ao modelo um excelente desempenho. O AquaCrop pode ser utilizado na simulação da produtividade da cultura do feijão-caupi sob condições de sequeiro e/ou irrigação com déficit, melhorando assim a gestão e eficiência do uso da água para agricultura.

Palavras-chave: modelagem agrícola, produção agrícola, semiárido, eficiência do uso da água

CALIBRATION AND VALIDATION OF AQUACROP MODEL FOR COWPEA CROP UNDER WATER STRESS

ABSTRACT: Cowpea is a legume crop cultivated in diversified production systems, under different conditions of climate, soil, cultivars and technological level. Although the crop is resistant to water stress, lack of moisture in the soil profile during its reproductive stage causes significant losses in its yield. The objective of this study was to calibrate and evaluate the AquaCrop model in the simulation of cowpea yield under water stress in two cropping seasons (rainy and dry) under no-tillage system condition. Experiments were carried out in two cropping seasons (rainy and dry) with five forms of water stress (without water stress, water suspension for 5, 10 and 15 days and rainfed cultivation), under no-tillage system. Regardless of the cowpea cropping season, water stress reduced grain yield and biomass yield, which was more pronounced in the dry season. The results of the AquaCrop calibration indicated that the model simulated well the grain yield and biomass of cowpea for the rainy and dry season, under water stress conditions, presenting RMSE values lower than 10% in all simulations, giving the model excellent performance. AquaCrop can be used to simulate cowpea crop productivity under rainfed conditions and/or deficit irrigation, thus improving the management and efficiency of water use for agriculture.

Key words: agricultural modeling, agricultural production, semiarid region, water use efficiency

1. INTRODUÇÃO

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) pertencente à família Fabaceae, possui com centro de origem a África (Gupta et al., 2019) é uma leguminosa herbácea de ciclo anual, cultivada principalmente nas áreas secas dos trópicos na América Latina, África e sul da Ásia, onde constitui-se com uma valiosa fonte de proteína na dieta de milhões de pessoas (Boukar et al., 2018). Por ser resistente a ambientes quentes e propensos à seca (Lonardi, 2019) e possuir associação com bactérias fixadoras de nitrogênio (Boukar, 2019), apresentar ampla adaptação (Ehlers; Hall, 1997), o permite seu cultivo em locais com precipitação anual de cerca de 300 mm ou até menos (Boukar et al., 2018).

O feijão-caupi é cultivado em diversificados sistemas de produção, sob diferentes condições de clima, solo, cultivares e nível tecnológico. No Brasil, por ser uma cultura de subsistência de sequeiro, seu cultivo, na maior parte, é praticado pela agricultura familiar, que é responsável por 70% da produção (Mapa 2019). As regiões Norte e Nordeste as maiores produtoras de feijão, representado juntas 90% da área total cultivada com a cultura (Conab 2020), porém devido à falta de adoção de tecnologias e as condições climáticas adversas (BATISTA et al., 2018; ALTIERI; NICHOLLS, 2017; LIMA et al., 2016), sua produtividade é baixa, variando de 300 a 400 kg.ha⁻¹ (Freire Filho et al. 2011).

No semiárido brasileiro, o cultivo do feijão-caupi, é realizado na estação chuvosa, tendo, portanto, devido à alta variabilidade pluviométrica na maioria dos anos nessa região, seu rendimento comprometido (LUNA, 2021). O estresse hídrico tende a reduzir de forma drástica sua produtividade, principalmente se ocorrer durante as fases de floração e enchimento de grãos (BOUKAR et al., 2018; ALMEIDA et al., 2019). Logo, se as condições meteorológicas não forem atendidas durante o ciclo da cultura, a queda de produtividade será proporcional à duração e severidade das condições climáticas (ROSSATO et al., 2017).

A produtividade do feijão é afetada diretamente pelas variáveis climatológicas, sendo a precipitação e temperatura do ar as mais limitantes para seu desenvolvimento. O feijão-caupi em cultivo de sequeiro, necessita da distribuição regular da precipitação durante seu ciclo, algo em torno de 250 a 450 mm (BASTOS; ANDRADE JÚNIOR; NOGUEIRA, 2017). E a temperatura ideal para seu cultivo entre 15°C e 29°C (VIEIRA et al. 2013), apresentando bastante sensibilidade ao estresse hídrico (SANTO; LIMA, 2015).

A incerteza de alcance de bons índices na produtividade agrícola, principalmente em cenários de variabilidade climáticas, em virtude de alterações do regime pluviométrico e elevação da temperatura do ar, principalmente em regiões semiáridas, merece destaque o uso de modelos na agricultura capazes de simular o rendimento das culturas em função da restrição hídrica (BARBOSA et al., 2019; LECERF et al., 2019).

O modelo AquaCrop foca na água como o fator mais limitante no rendimento final da cultura (STEDUTO et al., 2009), usado particularmente em regiões semiáridas, onde o estresse hídrico pode variar em intensidade, duração e tempo de ocorrência (RAOUFI et al., 2018), sendo o mesmo capaz de simular a produtividade da cultura sob condições de sequeiro e/ou irrigação com déficit, melhorando assim a gestão e eficiência do uso da água para agricultura. Objetivou-se nesse trabalho calibrar e avaliar o modelo AquaCrop na simulação do rendimento do feijão-caupi sob estresse hídrico em períodos de cultivo (chuvoso e seco) em sistema de plantio direto.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram realizadas duas campanhas experimentais, a primeira no período de 02 de fevereiro a 12 de abril de 2021 (período chuvoso) e a segunda de 1 de setembro a 9 de novembro de 2021 (período seco), na Estação Experimental (EstAgro) pertencente a Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas (UACA) da Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, no estado da Paraíba, posicionada nas coordenadas 07° 13' 50" S de latitude e 35° 52' 52" W de longitude e 526 m de altitude.

A área experimental contava com 10 canteiros de alvenaria com dimensões de 8 m x 1 m, que tinham 2 tubos de acesso PVC de 40 mm de diâmetro e 0,8 m de profundidade, os quais serviam para dar acesso sonda de capacitância, modelo Diviner 2000[®], Sentek Pty Ltda, Austrália que provia a umidade do solo a cada 10 cm.

Previamente à instalação da cultura, foi realizada uma análise químico-física do solo na camada de 0-20 cm do perfil, para caracterização química, possuindo: 6,2 de pH em água; 11,12 g.kg⁻¹ de matéria orgânica; 68,75% de saturação de base (V); 0,04; 2; 2,27; e 1,7 cmol_c.dm⁻³ de Na⁺, H+Al³⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺ e; 30,95 e 142,51 de P e K⁺ respectivamente. O solo da área possui textura arenosa e seus valores de conteúdo de água da umidade do solo referentes à capacidade de campo (-0,01 Mpa) e ponto de murcha permanente (-1,5 Mpa), considerando a camada de 0 a 0,4 m, foram de 7,3% e 4,6% à base de volume, respectivamente.

Para o cultivo, as covas foram abertas com o auxílio de uma enxada, com espaçamento de 0,5 m entre fileiras e 0,5 m entre linhas e colocadas de 3 a 4 sementes por cova, de modo a deixar apenas 3 plantas por cova, um *stand* final de 120.000 plantas por hectare.

Foram realizados ensaios em dois períodos de cultivo (chuvoso e seco) com cinco formas de estresse hídrico (sem estresse hídrico, suspensão de água de 5, 10 e 15 dias e plantio de sequeiro), em sistema de plantio direto. Para as parcelas que receberam os tratamentos de déficit hídrico, a suspensão da irrigação foi realizada no estágio de floração da cultura, período em que 70% das plantas apresentaram pelo menos uma flor, o que ocorre, geralmente após os 40 dias de plantio.

A reposição de água, foi baseada em 100% da evapotranspiração da cultura (ET_c), a qual foi estimada conforme Bernardo, Soares e Mantovani (2009), com valores de Kc do feijão determinados por Silva et al. (2016) e evapotranspiração de referência (ET_0) estimada pela equação proposta Allen et al. (1998). Os dados necessários para estimativa da evapotranspiração de referência (ET_0) foram coletados diariamente por meio de uma estação agrometeorológica automática (Irriplus, modelo E5000) instalada na área experimental.

A irrigação foi feita por um sistema de irrigação por gotejamento com vazão de 4,5 l.h⁻¹ a uma pressão de serviço de 2 kgf. cm⁻² e foi adotada uma eficiência de aplicação de 90%, o sistema contava com duas linhas por canteiro e um gotejador por cova. Foi adotado um intervalo entre irrigações (turno de rega) de dois dias. As irrigações foram realizadas sempre durante o período da manhã, entre 06h e 08h.

A variedade de feijão-caupi escolhida para plantio foi a ‘Costela de Vaca’ (crioula), por ser uma das cultivares mais aceitas e cultivada em sistema de agricultura familiar na região Nordeste do Brasil (Silva; Neves 2011).

Durante o decorrer do ciclo da cultura foi realizado o controle das plantas espontâneas por meio de capinas manuais. Para controle de insetos e doenças, foram adotadas práticas agroecológicas e alternativas visando uma produção livre de agroquímicos.

À medida que cada parcela atingia a maturidade fisiológica, entre 71 e 80 dias após a semeadura, foram realizadas as análises de produtividade de grãos e biomassa, avaliou-se também a eficiência do uso da água, que representa a relação entre a produtividade dos grãos e a quantidade de água total aplicada. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, com aplicação do teste F ($p \leq 0,05$) para avaliação dos

efeitos dos períodos de plantio e estresse hídrico. Quando significativo foi realizada comparação de médias pelo teste de Tukey ($p \leq 0,05$). As análises foram realizadas usando o *software* PAleontological STatistics versão 3 (PAST 3) (Hammer 2017).

Para obtenção da biomassa (Equação 1) e do rendimento final da cultura (Equação 2) o modelo AquaCrop necessita de vários parâmetros, incluindo: clima, cultura, solo e manejo (RAES et al., 2009).

- Clima: Dados diários de temperaturas máximas e mínimas do ar ($^{\circ}\text{C}$), umidade relativa máxima e mínima do ar (%), precipitação pluviométrica diária ($\text{mm}\cdot\text{dia}^{-1}$), velocidade do vento ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) e radiação solar ($\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$);
- Cultura: Datas de semeadura e colheita, duração dos estádios fenológicos da cultura (dia; emergência, florescimento, senescência e maturidade fisiológica) e população de plantas ($\text{plantas}\cdot\text{ha}^{-1}$), espaçamento entre plantas (m), altura, expansão e declínio do dossel da planta, profundidade máxima das raízes (m), produção da biomassa, e por fim, índice de colheita;
- Solo: Dados referentes as características físicas do solo, como: textura do solo, umidade do ponto de murcha permanente, umidade na capacidade de campo, conteúdo de água na saturação e condutividade hidráulica do solo saturada. Salinidade do solo, tipo de solo, número de horizontes (camadas do solo), o modelo permite a inserção de até cinco horizontes,
- Manejo: Dados referente a irrigação, como: data da irrigação, volume aplicado (mm), qualidade da água e condutividade elétrica da água ($\text{ds}\cdot\text{m}^{-1}$). Percentagem de cobertura do solo por “mulch”, altura do canteiro (m) e altura do lençol freático. Práticas culturais que evitam escoamento superficial da água, uso de fertilizantes, entre outros parâmetros relacionados ao manejo da cultura.

$$B = WP \cdot \sum Tr \quad (1)$$

$$Y = B \cdot HI \quad (2)$$

em que: WP - Produtividade da água ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{mm}^{-1}$); Tr - Transpiração da cultura; B - Biomassa seca da parte aérea (kg); Y - produção final (kg); HI - índice de colheita (%)

Esses parâmetros de entrada do modelo AquaCrop são divididos em dois grupos:

- Conservativos: são aplicados a uma ampla gama de condições, e são específicos para determinada cultivar, esses parâmetros foram obtidos para cultivares de alto

rendimento, sem limitação hídrica e de fertilidade, o que resulta em maior aplicabilidade, robustez e transferibilidade desses parâmetros do modelo para diferentes regiões do mundo (STEDUTO; HSIAO; FERERES, 2007; HSIAO, 2009; HENG *et al.*, 2009). Os parâmetros conservativos utilizados para calibração do modelo AquaCrop para cultura do feijão-caupi são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros conservativos utilizados na calibração do AquaCrop para cultura do feijão-caupi. Campina Grande-PB, 2021.

Parâmetros Conservativos	Para todos os tratamentos em ambos os períodos de cultivo
Temperatura mínima basal (Tn) (°C)	10
Temperatura máxima basal (Tb) (°C)	30
Densidade de planta (planta. ha ⁻¹)	120000
Produtividade de água da cultura normalizada para ETo e CO ₂ (WP*) (g m ⁻²)	17

- Não conservativos: são parâmetros dependentes da localização, cultivar utilizada e práticas de manejo, são aqueles que podem ser modificados pelo usuário no momento de calibração do modelo (STEDUTO *et al.*, 2012).

Durante o processo de entrada das variáveis no modelo é comum o acúmulo de erros nos diferentes parâmetros, além de erros nas equações do modelo, o que pode levar a resultados dissemelhantes aos obtidos em campo. A solução para esse problema então é calibração do modelo, que consiste na estimativa de alguns parâmetros para melhor ajuste entre os dados simulados e os medidos em campo (WALLACH *et al.*, 2001).

Depois que o modelo foi calibrado satisfatoriamente, os valores médios produção de grãos e biomassa simulados foram comparados com os rendimentos reais observados, em kg.ha⁻¹, por meio de análises de regressão linear simples, e o ajuste do modelo foi avaliado com base na magnitude do coeficiente de determinação (R², decimal), considerando ajuste excelente quando R²>0,9. Os índices estatísticos utilizados para análise de desempenho do modelo na validação, foram: erro de previsão (Pe) (Equação 3); índice de eficiência Nash-Sutcliffe (NSE) (Equação 4); Erro absoluto médio (MAE) (Equação 5); Erro quadrático médio da raiz normalizado (RMSE) (Equação 6); Índice de Willmott (d) (Equação 7) e coeficiente de correlação de Pearson (r) (Equação 8).

$$Pe = \frac{(S_i - O_i)}{O_i} \times 100 \quad (3)$$

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - S_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2} \quad (4)$$

$$MAE = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(O_i - S_i)^2}{n}} \quad (5)$$

$$RMSE = \frac{1}{\bar{O}} \sqrt{\frac{\sum (S_i - O_i)^2}{n}} \times 100 \quad (6)$$

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (S_i - O_i)^2}{\sum (|S_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2} \right] \quad (7)$$

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n [(O_i - \bar{O}) \cdot (S_i - \bar{S})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2}} \quad (8)$$

em que: S_i e O_i - são valores simulados e observados, respectivamente; \bar{S} - valor médio de S_i ; \bar{O} - valor médio de O_i , e; n - representa o número de observações.

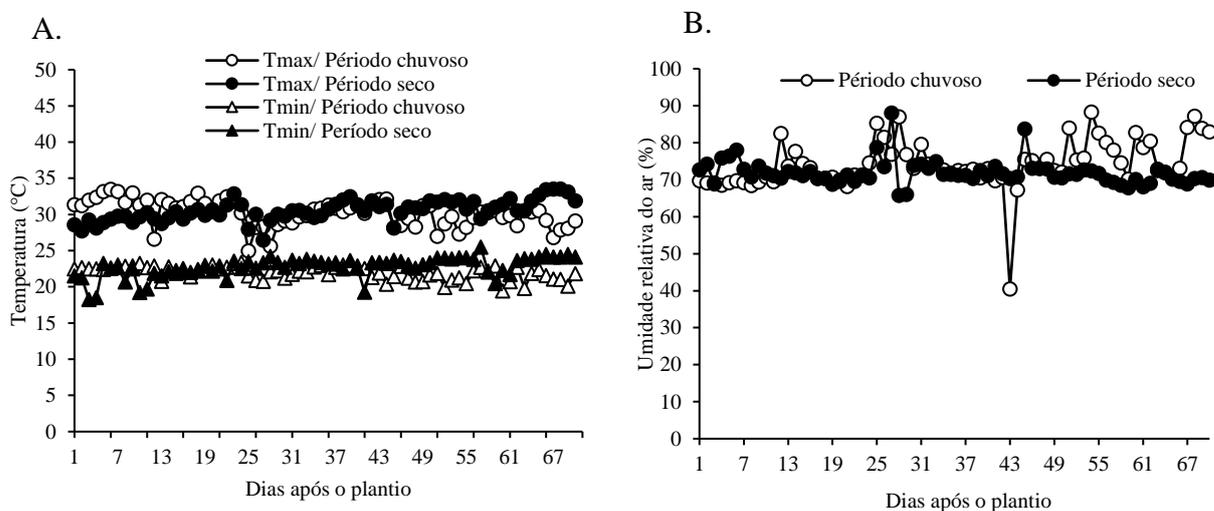
Os indicadores de desempenho dos testes NSE, d e r ; RMSE e MAE são considerados positivos quando os valores se aproximarem da unidade e do zero, respectivamente. A simulação é considerada excelente se RMSE for menor que 10%; é considerada boa se variar entre 10 e 20%; razoável se for entre 20% e 30%; e ruim quando for superior de 30%. Esses indicadores estatísticos de desempenho, foram utilizados por vários pesquisadores para avaliar o desempenho do modelo AquaCrop, comparando resultados observados e simulados (HSIAO et al., 2009; SILVA et al., 2018; PORRAS-JORGE et al., 2020).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O desempenho do modelo AquaCrop foi testado para a cultura do feijão-caupi cultivar 'Costela de Vaca' usando dados climáticos e de produtividade obtidos *in situ*

durante os períodos chuvoso e seco no ano de 2021. Os experimentos foram realizados sob efeito de La Niña (NOAA, 2021). Os dados meteorológicos coletados diariamente durante a realização dos experimentos, podem ser visualizados na Figura 1.

Os dados meteorológicos observados nos períodos chuvoso e seco apresentaram padrões semelhantes nas temperaturas máxima e mínima, radiação solar global e evapotranspiração de referência, sendo seus maiores valores observados no final do ciclo da cultura, e a umidade relativa do ar apresentou maiores valores na estação chuvosa. As médias de temperatura do ar máxima e mínima para os períodos chuvoso e seco, foram de 30,2°C e 22°C, e 30,6°C e 22,8°C, respectivamente. Os valores médios da umidade relativa do foram de 74,2 e 71,9% para o período chuvoso e seco, respectivamente. A radiação solar global apresentou valores médios para os períodos chuvoso e seco de 221,9 e 238,8 W.m⁻², respectivamente. Os valores médios de ET₀ foram de 4,2 mm.dia⁻¹ no período chuvoso e 4,7 mm.dia⁻¹ no período seco, um aumento de 10,4%. Mantovanelli et al. (2020) e Ismael filho 2015 et al. (2015) explicam que a radiação solar e a temperatura média são as variáveis meteorológica que têm maior impacto sobre a estimativa da ET₀. E durante a estação seca, é mais comum a incidência de temperatura e radiação solar mais elevadas.



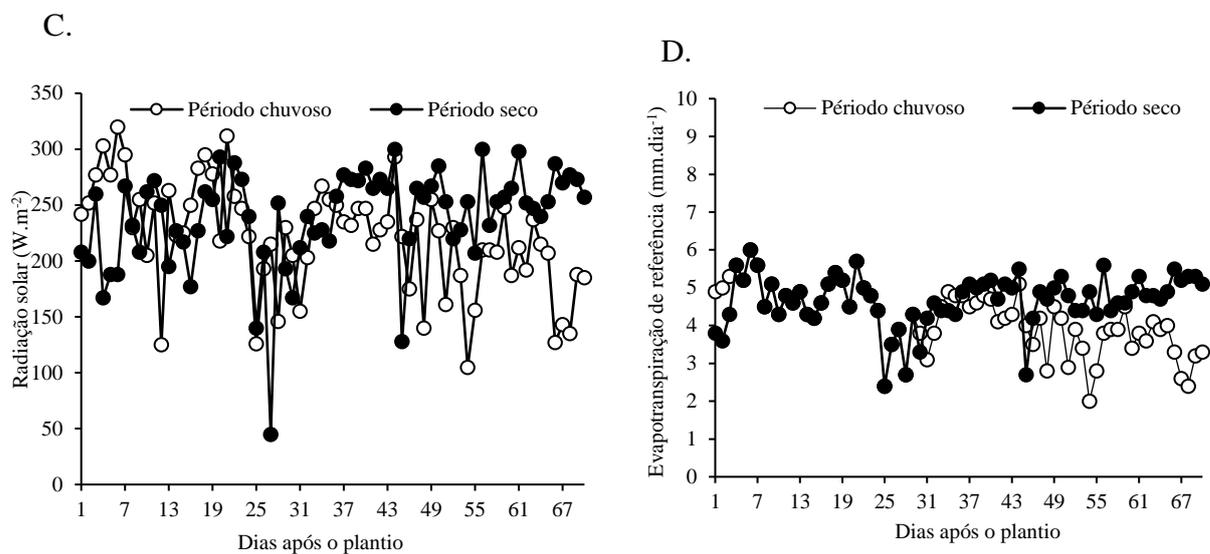


Figura 1. Condições meteorológicas durante a condução dos experimentos nos períodos chuvoso e seco. Temperatura máxima e mínima (A), umidade relativa do ar (B), radiação solar (C) e evapotranspiração de referência (D). Campina Grande-PB, 2021.

Devido as condições meteorológicas mais críticas ocorridas no período seco, as lâminas totais de água aplicada para todos os tratamentos foram superiores às aplicadas no período chuvoso, o que pode ser explicado pelo maior volume total da precipitação durante o experimento conduzido no período chuvoso, que foi de 205,9 mm, enquanto que no período seco foi de apenas 18 mm, o que influenciou diretamente no número total de irrigações (Tabela 2).

Tabela 2. Evapotranspiração total cultura (ETc), precipitação total acumulada (PPT), lâmina de irrigação aplicada (LI), número de irrigações (NI) e total de água recebido em cada tratamentos no período chuvoso e período seco. Campina Grande-PB, 2021.

Experimento	Tratamentos	Altura de água (mm)				
		ETc	PPT	LI	NI	Total
Período chuvoso	T1	262,8	205,9	243,1	54	449,0
	T2	262,8	205,9	224,1	39	430,0
	T3	262,8	205,9	209,6	34	415,5
	T4	262,8	205,9	202,7	29	408,6
	T5	262,8	205,9	0	0	205,9
Período Seco	T1	292,0	18	307,5	68	325,5
	T2	292,0	18	282,5	63	300,5
	T3	292,0	18	258,5	58	276,5
	T4	292,0	18	234,7	53	252,7
	T5	292,0	18	0	0	18

Os dados de precipitação e umidade do solo são mostrados na Figura 2. Durante a condução dos experimentos, houve distribuição irregular da precipitação em ambos os períodos de cultivo, porém com volumes mais expressivos na estação chuvosa. Enquanto que na estação seca o volume máximo diário precipitado foi de quase 6 mm, na estação chuvosa foi de 46 mm, isso refletiu diretamente na diferença do comportamento da umidade do solo nos experimentos (Figura 2).

Nos períodos chuvoso e seco, no início do desenvolvimento da cultura, a umidade do solo se manteve sempre acima da capacidade de campo, alcançando valores máximos de 14% no período chuvoso, devido as precipitações ocorridas, e cultura ainda estar no seu estágio inicial. Contudo, quando a cultura iniciou as fases de floração e enchimentos dos grãos, momento em que se iniciou os tratamentos, observa-se que a umidade do solo tendeu a reduzir, chegando a valores de umidade menores do que o ponto de murcha permanente do solo no período seco, o que não ocorreu no período chuvoso. Kanda, Senzanje e Mabhaudhi (2021) explicam que a disponibilidade de água zona radicular da cultura é fundamental para impulsionar o processo de transpiração, que é diretamente proporcional a produção de biomassa e, posteriormente, aos rendimentos.

A cobertura do solo utilizada no sistema de plantio direto, certamente contribuiu para a manutenção da umidade do solo em ambos os períodos de cultivo, porém no período seco essa cobertura não foi capaz de manter a umidade solo, isso ocorreu devido a não ocorrência de precipitação expressivas e as condições meteorológicas desfavoráveis, com temperaturas e radiação solar elevadas. Rocha et al. (2020), explicam que a adequada cobertura do solo, tende a preservar a umidade do solo, favorecendo o crescimento, rendimento de grãos e produção da massa seca na parte área do feijão-caupi (JÚNIOR *et al.*, 2019, ROCHA *et al.*, 2020).

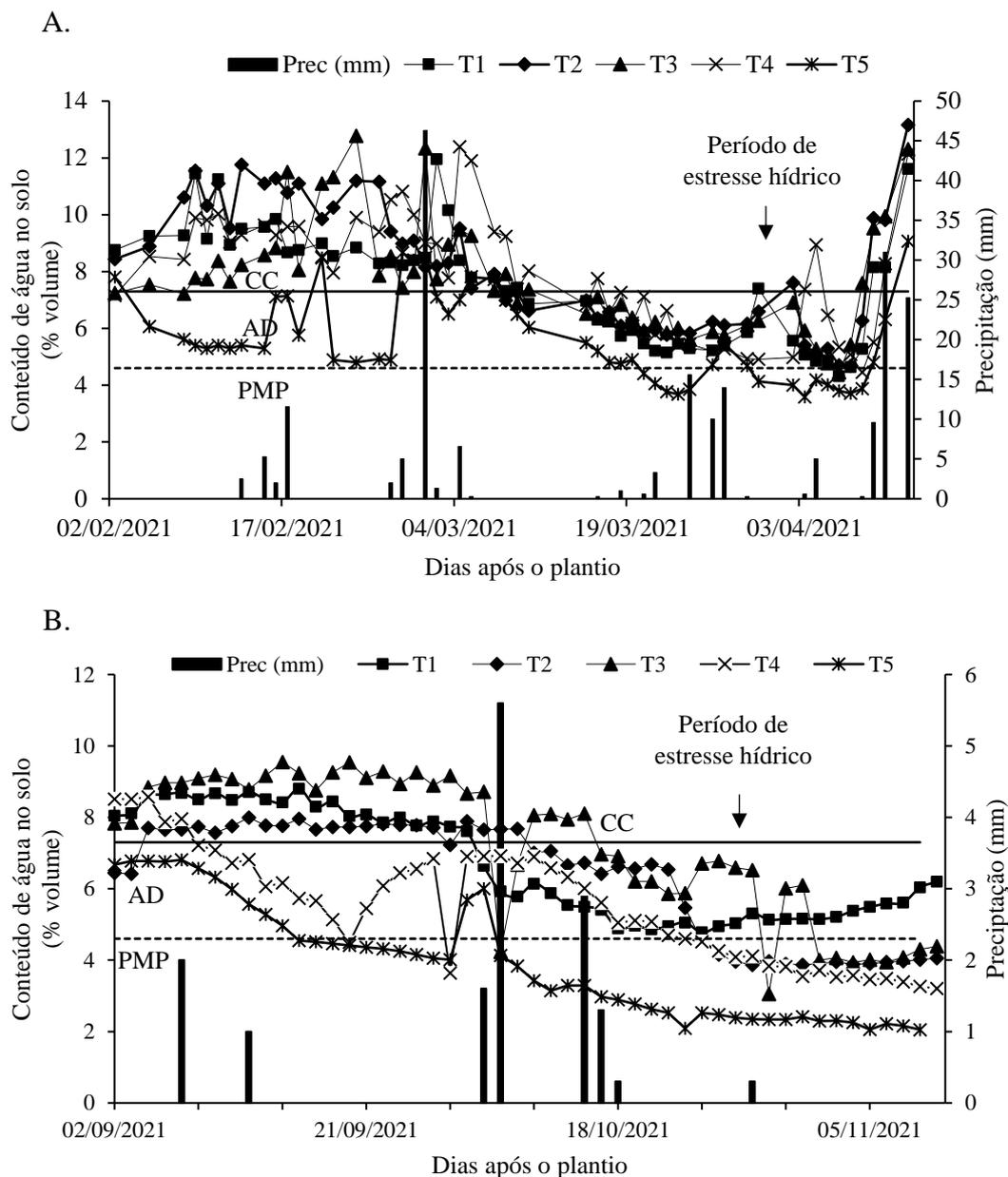
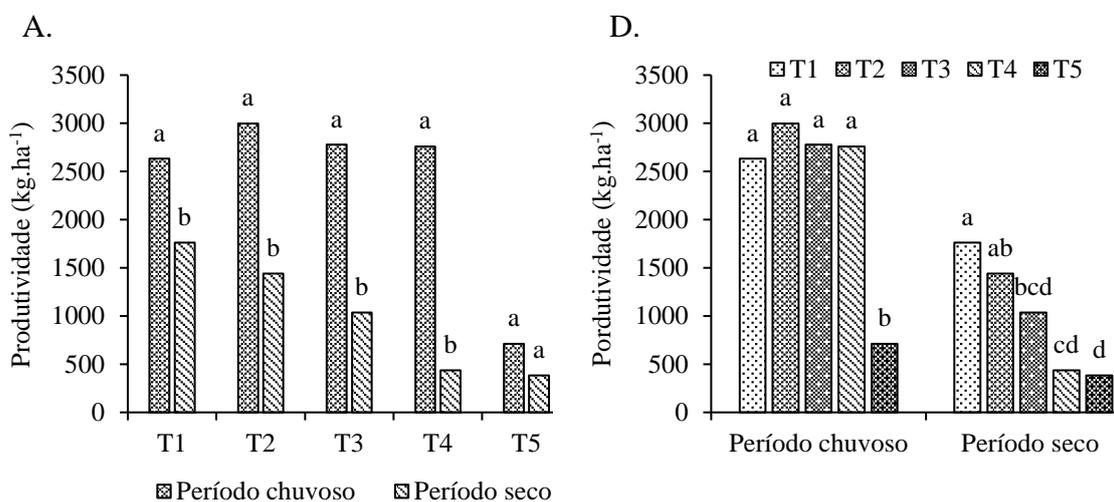


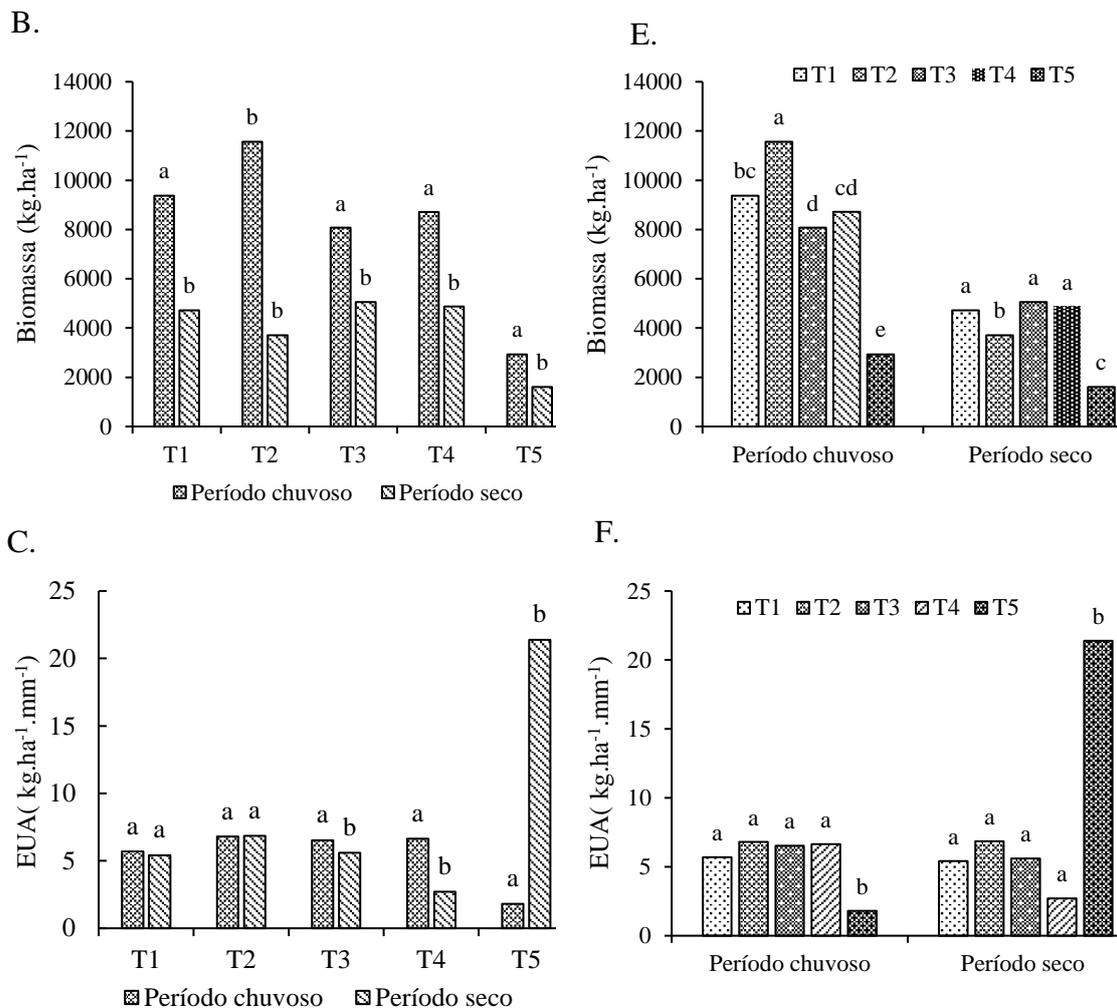
Figura 2. Conteúdo de água no solo e chuva durante o período chuvoso (A) e período seco (B). CC - capacidade de campo, PMP - ponto de murchar permanente e AD – água prontamente disponível para a profundidade de 0 - 0,4 m.

Após análise do relatório da ANOVA, verificou-se que houve interferência do período de plantio e do estresse hídrico sobre a produtividade de grãos (P), biomassa (B) e eficiência do uso da água (EUA) para cultura do feijão-caupi, procedeu-se então a comparação de médias para esses parâmetros agrônômicos pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade, e os resultados podem ser observados na Figura 3.

Os valores produtividades de grãos e de biomassa foram superiores no período chuvoso, isso ocorreu devido às diferenças nas características meteorológicas entre os períodos de cultivo (Figura 1). A produtividade média de grãos no período chuvoso, foi em média 56% superior ao período seco, no tratamento 4 essa superioridade foi de 84%. A maior produtividade de grãos, apesar do estresse hídrico, foi atingida no tratamento 2 no período chuvoso, quase 3000 kg.ha⁻¹ e a menor produtividade alcançada no tratamento de sequeiro, 385 kg.ha⁻¹. Anyia e Herzog (2004) explicam que quando as plantas experimentam o estresse durante a fase reprodutiva, após o restabelecimento da irrigação há um ganho superior de produtividade e biomassa do que em plantas que não sofreram estresse hídrico.

A eficiência do uso da água variou de 2 a 21 (kg.ha⁻¹.mm⁻¹), valores referentes aos tratamentos de sequeiro do período chuvoso e seco, respectivamente. A EUA média para os tratamentos no período chuvoso foi 6,4 kg.ha⁻¹.mm⁻¹ e de 5,1 kg.ha⁻¹.mm⁻¹ para o período seco. Costa et al. (2021) encontram valores de EUA para o feijão-caupi em função do estresse hídrico variando de 6,9 a 9,9 kg.ha⁻¹.mm⁻¹, porém com redução da reposição de água durante todo o ciclo da cultura, e não com a suspensão total de água como na atual pesquisa.





Médias seguidas de mesma letra, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Figure 3. Produtividade de grãos, biomassa, eficiência do uso da água em função da época de plantio (A, B e C) e do estresse hídrico (D, E e F) do feijão-caupi cultivado em sistema de plantio direto. Campina Grande-PB, 2021.

Os valores dos parâmetros não conservativos obtidos após calibração do modelo AquaCrop são mostrados na Tabela 3. Os parâmetros não-conservativos obtidos pela simulação do AquaCrop são resultados da interação água-solo-planta-atmosfera, que se baseia no balanço de água do solo como seu principal processo condutor do desenvolvimento da cultura, sendo esse processo influenciado pelo estresse hídrico (RAES et al., 2009).

Observa-se então pela Tabela 3, que a cobertura máxima do dossel e o rendimento em função da água evapotranspirada, foram menores durante o período seco, reflexo direto da restrição hídrica e das condições meteorológicas nesse período. O índice de

colheita (IH), que mede a quantidade de fotoassimilados (biomassa) que foi direcionada para a produção de grãos, apresentou valores menores no período chuvoso, indicando que durante esse período essa conversão não foi tão satisfatória, assim o índice de colheita foi negativamente correlacionado com o excesso de precipitação. Kawano (1990) explica que baixos valores de IC podem indicar uma má adaptação ao ambiente.

Tabela 3. Resultados dos parâmetros não conservativos após a calibração do modelo AquaCrop para cultura do feijão-caupi submetido ao estresse hídrico e cultivado em período chuvoso e período seco. Campina-Grande – PB, 2021.

Parâmetros não conservativos	Período chuvoso					Período seco				
	T1	T2	T3	T4	T5	T1	T2	T3	T4	T5
Cobertura máxima do dossel (CCx) (%)	70,5	92,7	70,1	71	29,9	67,3	53	94	94	25,4
Cobertura do dossel se infestado de ervas daninhas (CCw) (%)	67	88,1	64,2	67,1	20,8	56,3	43,4	77,8	77,8	21,9
Índice de colheita de referência (IH) (%)	28,1	25,9	34,4	31,7	13,1	36,6	38,1	21,2	9,3	22,8
Rendimento produzido em função da água evapotranspirada (WPet) (kg/m ³)	0,98	1,02	1,05	1,02	0,2	0,71	0,64	0,41	0,18	0,45

Após a calibração dos resultados de produtividade de grãos e biomassa pelo *software* AquaCrop foi possível verificar o desempenho do modelo através dos testes estatísticos. As medidas do erro de previsão avaliam o desempenho do modelo, pela comparação entre os valores reais e os valores simulados. Os valores do erro de previsão podem ser positivos, ou seja, o modelo superestima o valor real, e negativos, quando o modelo subestima o valor real. As tabelas 4 e 5, mostram os erros de previsão do modelo AquaCrop na simulação de produtividade de grãos e biomassa para cultura do feijão-caupi nos períodos chuvoso e seco, respectivamente. No geral, as variações dos erros de previsões se encontram dentro do esperado para o rendimento de grãos. O modelo tendeu a superestimar a produção de biomassa final para o tratamento de sequeiro, apresentando superestimação no seu valor em mais 100% no período chuvoso e 5,21% no período seco.

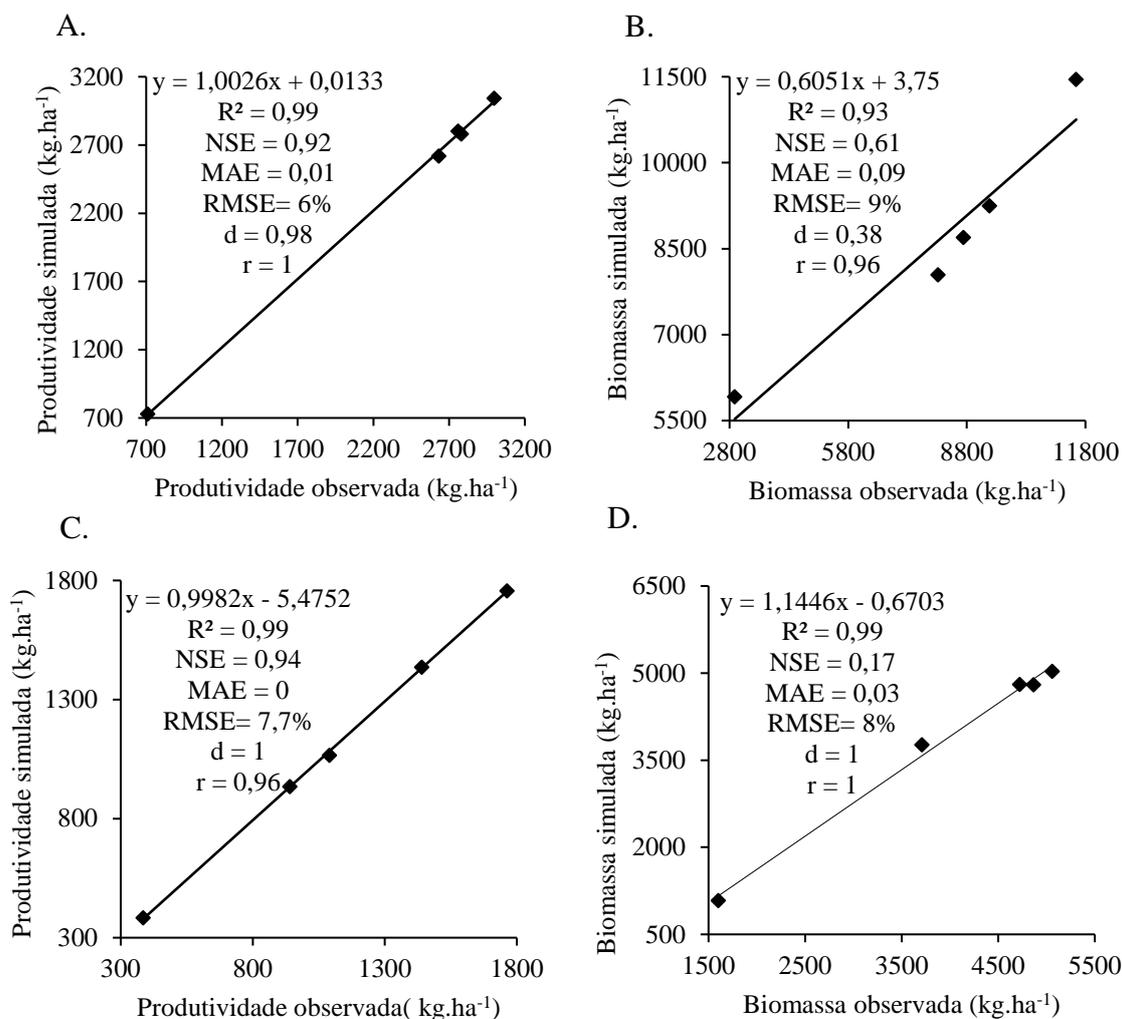
Tabela 4. Resultados dos erros de previsão de produtividade e biomassa após calibração do modelo AquaCrop cultivado em sistema de plantio direto durante o período chuvoso. Campina Grande-PB, 2021.

Tratamento	Período chuvoso					
	Produtividade (kg.ha ⁻¹)			Biomassa (kg.ha ⁻¹)		
	Observado	Simulado	Pe (±%)	Observado	Simulado	Pe (±%)
T1	2,663	2,619	-1,65	9,373	9,525	1,63
T2	2,997	3,044	1,57	11,567	11,458	-0,94
T3	2,780	2,781	0,04	8,075	8,045	-0,37
T4	2,760	2,803	1,56	8,718	8,698	-0,22
T5	0,713	0,725	1,68	2,932	5,919	101,88

Tabela 5. Resultados dos erros de previsão de produtividade e biomassa após calibração do modelo AquaCrop cultivado em sistema de plantio direto durante o período seco. Campina Grande-PB, 2021.

Tratamento	Período seco					
	Produtividade (kg.ha ⁻¹)			Biomassa (kg.ha ⁻¹)		
	Observado	Simulado	Pe (±%)	Observado	Simulado	Pe (±%)
T1	1,763	1,757	-0,31	4,723	4,807	1,79
T2	1,440	1,437	-0,21	3,710	3,770	1,62
T3	1,037	1,067	2,84	5,060	5,034	-0,51
T4	0,943	0,933	-1,06	4,867	4,799	-1,41
T5	0,385	0,384	-0,26	1,602	1,686	5,21

Os resultados dos demais testes estatísticos utilizados para verificar a eficiência do modelo AquaCrop na simulação da produtividade de grãos e biomassa no feijão-caupi submetido ao estresse hídrico em dois períodos de cultivo são mostrados na Figura 4. Observa-se a partir dos valores dos testes estatísticos realizados, que modelo AquaCrop simulou bem a produtividade de grãos e biomassa nas condições de estresse hídrico dos experimentos no período chuvoso e seco, apresentando valores de RMSE de 10% em todas as simulações, conferindo ao modelo um excelente desempenho.



R^2 - coeficiente de determinação, NSE - índice de eficiência Nash-Sutcliffe; MAE - Erro absoluto médio; RSME - erro quadrático médio da raiz normalizado; d - índice de Willmott e; r - coeficiente de correlação de Pearson.

Figura 4. Comparação entre os valores observados e simulados de produtividade de grãos e biomassa seca após calibração, para validação do modelo AquaCrop para cultura do feijão-caupi submetido ao estresse hídrico, cultivado em período chuvoso (A e B) e período seco (C e D) em sistema de plantio direto, respectivamente. Campina Grande - PB, 2021.

Muitos estudos têm mostrado a eficiência do uso do modelo AquaCrop na simulação do rendimento de grãos e da biomassa do feijão-caupi nas mais variadas condições de clima, solo e deficiência hídrica (COSTA et al., 2021; KANDA; SENZANJE; MABHAUDHI, 2021; ALVES et al., 2021).

4. CONCLUSÕES

O modelo AquaCrop apresentou excelente desempenho na simulação da produtividade e biomassa do feijão-caupi cultivado sob condições de estresse hídrico nas estações chuvosa e seca. A maior produtividade de grãos (2.997 kg ha⁻¹) foi observada na estação chuvosa no tratamento que sofreu restrição hídrica de cinco dias. A maior eficiência no uso da água foi verificada no tratamento de sequeiro da estação seca (21 kg ha⁻¹ mm⁻¹).

5. REFERÊNCIAS

- Allen, R. G.; Pereira, L. S.; Raes, D.; Smith M. Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56, FAO-Food and Agriculture Organisation of the United Nations, Rome. Geophysics, p.156-178, 1998.
- Alves, É. D. S.; Rodrigues, L. N.; Cunha, F. F.; Farias, D. B. S. Evaluation of models to estimate the actual evapotranspiration of soybean crop subjected to different water deficit conditions. Anais da Academia Brasileira de Ciências, v.93, p.1-16, 2021, <https://doi.org/10.1590/0001-3765202120201801>
- Anyia, A. O.; Herzog H. Genotypic variability in drought performance and recovery in cowpea under controlled environment. Journal of Agronomy and Crop Science, v.190, p.151-159, 2004. DOI:10.1111/j.1439-037X.2004.00096.x
- Batista, M. C.; Santos, J. P. de O.; Silva Filho, J. A. da; Sousa, J. Í. de; Félix, R. J. da S.; Silva, J. L. C. da. Influence of rainfall variability on bean production (*Phaseolus vulgaris* L.) in a municipality of Brazilian semiarid. Journal of Environmental Analysis and Progress, v.3, p.001-007, 2018. <https://doi.org/10.24221/jeap.3.1.2018.1590.001-007>
- Bernardo, S.; Soares, A. A.; Mantovani, E. C. Manual de irrigação. 8.ed. 2º Reimpressão. Viçosa: UFV, 2009, 596p.

- Boukar, O.; Belko, N.; Chamarthi, S.; Togola, A.; Batiemo, J.; Owusu, E.; Fatokun, C. Cowpea (*Vigna unguiculata*): Genetics, genomics and breeding. *Plant Breeding*, v.138, p.415-424, 2018. <https://doi.org/10.1111/pbr.12589>
- CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. Acompanhamento da safra brasileira: grãos, v.7, p.31-37, 2020. Available at: <https://www.conab.gov.br/info-agro/safras>. Access on: January 17, 2019.
- Conceição, C. G. da; Robaina, A. D.; Peiter, M. X.; Ben, L. H.; Ferreira, L. D.; Parizi, A. R. C. Performance of the AquaCrop model for corn hybrids under different irrigation strategies. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.26, p.441-450, 2022. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v26n6p441-450>
- Costa, M. S.; Mantovani, E. C.; Jesus, F. L. F. de; Sanches, A. C.; Silva, J. L. B. da; Santos, J. É. de O. Uso do Software AquaCrop para Simular a Resposta do Feijão à Diferentes Regimes de Irrigação. *Irriga*, v.1, p.557-572, 2021. <https://doi.org/10.15809/irriga.2021v1n3p557-572>
- Freitas, R. M. O. de; Dombroski, J. L. D.; Freitas, F. C. L. de; Nogueira, N. W.; Leite, T. S.; Praxedes, S. C. Water use of cowpea under deficit irrigation and cultivation systems in semi-arid region. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.23, p.271-276, 2019. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v23n4p271-276>
- Freire Filho, F. R. Feijão-caupi no Brasil: produção, melhoramento genético, avanços e desafios. Embrapa Meio-Norte-Livro científico (ALICE). 2011.
- Gupta, R. K.; Arya, M.; Kumar, A.; Kumari, P. Study on Genetic Variability in Cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp]. *Current Journal of Applied Science and Technology*, v.33, p.1-8, 2019. <https://doi.org/10.1080/02571862.2015.1014435>
- Hammer, Ø. PAleontological STatistics Version 3.15. Reference manual. Natural History Museum. University of Oslo, 2017.

- Heng, L. K.; Hsiao, T.; Evett, S.; Howell, T.; Steduto, P. Validating the FAO AquaCrop model for irrigated and water deficient field maize. *Agronomy Journal*, v.101, p.488-498, 2009. DOI:10.2134/agronj2008.0029xs
- Hsiao, T. C.; Heng, L.; Steduto, P.; Rojas-Lara, B.; Raes, D.; Fereres, E. AquaCrop- the FAO crop model to simulate yield response to water: III. Parameterization and testing for maize. *Agronomy Journal*, v.101, p.448-459, 2009. <https://doi.org/10.2134/agronj2008.0218s>
- Kanda, E. K.; Senzanje, A.; Mabhaudhi, T. Calibration and validation of the AquaCrop model for full and deficit irrigated cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp). *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, v.124, p.102941, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2020.102941>
- Kawano, K. Harvest index and evolution of major food crop cultivars in the tropics. *Euphytica*, v.46, p.195-202, 1990. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00027218>
- Lonardi, S.; Muñoz-Amatriaín, M.; Liang, Q.; Shu, S.; Wanamaker, S. I.; Lo, S.; Close, T. J. The genome of cowpea (*Vigna unguiculata* [L.] Walp.). *The Plant Journal*, v.98, p.767-782, 2019. DOI: 10.1111/tpj.14349.
- Luna, I. R. G.; Silva, M. R. da; Cartaxo, P. H. de A.; Gonzaga, K. S.; Alves, A. K. S.; Santos, J. P. de O.; Bulhões, L. E. L.; Pereira, D. D.; Araújo, J. R. E. S. Variabilidade Pluviométrica e seus efeitos na produção de Feijão-Caupi em um município do Semiárido Paraibano. *Revista Thêma et Scientia*, v.11, p.255-265, 2021.
- Mantovanelli, B. C.; Chechi, L.; Magalhães, T. F.; Petry, M. T.; Terra, L. G.; Weiler, E. B.; Londero, D. D.; Martins, J. D. Métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para o município de Ibirubá, Rio Grande do Sul. *Revista Cultura Agrônômica*, v.29, p.232-255, 2020. <https://doi.org/10.32929/2446-8355.2020v29n2p232-255>

- MAPA. Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento. Brasília, DF. 2019. Available at: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos/boletim-da-safra-de-graos>>. Access on: January 1st, 2022.
- NOAA. National Oceanic and Atmospheric Administration, 2021. Available at: <https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php> Access on: January 22, 2022.
- Nunes, H. G. G. C.; Farias, V. D. S.; Sousa, D. P.; Costa, D. L. P.; Pinto, J. V. N.; Moura, V. B.; Souza, P. J. O. P. AquaCrop model for cowpea and assessing the impact of sowing dates normally used on yield. *Agricultural Water Management*, v. 252, p. 106880, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.106880>
- Raes, D.; Steduto, P.; Hsiao, T. C.; Fereres, E. AquaCrop—the FAO crop model to simulate yield response to water: II. Main algorithms and software description. *Agronomy Journal*, v.101, p.438-447, 2009. <https://doi.org/10.2134/agronj2008.0140s>
- Rocha, V. de S.; Ferreira, A. de S.; Leite, B. N.; Ferreira, C. C.; Pinto, K. G. D.; Pinheiro, S. C.; Albertino, S. M. F. Dead Cover and Agronomic Characteristics of Cowpea. *Journal of Agricultural Science*, v.12, n.10, 2020. DOI:10.5539/jas.v12n10p175
- Silva, V. de P. R. da; Silva, B. B. da; Bezerra, J. R. C.; Almeida, R. S. R. Consumo hídrico e viabilidade econômica da cultura do feijão-caupi cultivado em clima semiárido. *Irriga*, v.21, p.662-672, 2016. DOI: <https://doi.org/10.15809/irriga.2016v21n4p662-672>
- Silva, J.A.; Neves, J.A. 2011. ‘Produção de feijão-caupi semi-prostrado em cultivos de sequeiro e irrigado’. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, v. 6, n. 1, p.29-36. DOI: <https://doi.org/10.5039/agraria.v6i1a748>

- Steduto, P.; Hsiao, T. C.; Fereres, E.; Raes, D. Crop yield response to water (Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations), 2012.
- Sugiyono. 2017. Matematika: Aproximasi Kesalahan. Modul. Tidak diterbitkan. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada Yogyakarta. Tidak diterbitkan.
- Teixeira, G.K.; Donagemma, A.I; Fontana, W.G. Manual de métodos de análise de solo EMBRAPA (Ed.), Embrapa Solos. Brasília, DF (2017), p. 573 <https://doi.org/1517-2627>
- Vieira, I. C. de O.; Nunes, H. G. G. C.; Sousa, D. de P.; Costa, D. L. P.; Pinto, J. V. de N.; Farias, V. D. da S.; Ferreira, B. G.; Teixeira, E. de O.; Martins, C. G. D.; Silva, M. Y. F.; Souza, P. J. de O. P. de. Uso do Modelo AquaCrop para o Feijão-Caupi Cultivado Sob Diferentes Lâminas de Irrigação em Castanhal-PA. Revista Brasileira de Climatologia, v.27, p.726-746, 2020.

CONCLUSÕES GERAIS

Os resultados desta pesquisa mostraram que o feijão-caupi cv. 'Costela de Vaca', cultivado sob condições climáticas do seminário nordestino, tem sua produtividade fortemente relacionada com a disponibilidade de água e as épocas de cultivo. Contudo, as condições meteorológicas observadas durante os períodos de cultivo não influenciaram no desenvolvimento do feijão-caupi. Dentre todos os parâmetros agronômicos analisados, apenas o índice de colheita não sofreu influência significativa do período de cultivo e do estresse hídrico, ou da interação entre eles.

A produção de biomassa e a eficiência do uso da água sofreram reduções significativas em função do período de cultivo, do estresse hídrico e da interação período de cultivo *versus* estresse hídrico, sendo seus maiores valores observados no período chuvoso. A produção de biomassa foi superior no período chuvoso para todos os tratamentos. O maior valor observado da eficiência do uso da água foi 21,39 kg.ha⁻¹.mm⁻¹ ocorrido no plantio de sequeiro do período seco.

A produtividade do feijão-caupi cv. 'Costela de Vaca' sofreu influência tanto do período de cultivo quanto do estresse hídrico, porém, não da interação entre eles. As maiores produtividades foram advindas do cultivo da cultura na época chuvosa, tendo uma média de produtividade 53% superior ao cultivo realizado no período seco.

A maior produtividade de grãos, cerca de 3000 kg.ha⁻¹ foi observada no período chuvoso para o tratamento que sofreu restrição hídrica de 5 dias, nesse mesmo período o tratamento de sequeiro apresentou valor de 713 kg.ha⁻¹. Para o período seco, o cultivo do a produtividade máxima foi feijão-caupi foi de 1763 kg.ha⁻¹ em condições de irrigação plena, e para o cultivo de sequeiro foi de apenas 385 kg.ha⁻¹. Com isso, evidenciou-se a importância do uso da irrigação para maximizar os resultados produtivos, consequentemente, econômicos do cultivo do feijão-caupi.

O feijão-caupi apresentou resultados positivos de viabilidade econômica em ambos os períodos de cultivo, desde que seja irrigado durante todo seu ciclo, e o estresse hídrico não seja superior a 10 dias em sua fase reprodutiva.

Devido às condições meteorológicas mais desfavoráveis ocorridas durante o cultivo do feijão-caupi cv. 'Costela de Vaca' no período seco, houve maior necessidade de água para a cultura nesse período, com isso, os valores dos coeficientes de cultivo encontrados no período seco foram superiores aos obtidos no período chuvoso.

As práticas agrícolas de plantio direto e uso de cobertura do solo proporcionaram a manutenção da umidade do solo, resultando em maiores produtividades do feijão-caupi, mesmo que seu cultivo tenha sido influenciado negativamente pelas condições climáticas das épocas de cultivo e do estresse hídrico.

O modelo AquaCrop mostrou-se eficiente na simulação do rendimento de grãos e biomassa do feijão-caupi cv. 'Costela de Vaca' em condições de estresse hídrico em sua fase reprodutiva (floração e enchimento de grãos) cultivado em períodos chuvoso e seco, apresentando desempenho excelente de acordo com os testes estatísticos utilizados.

Os resultados obtidos neste estudo revelam-se importante. Contudo, novas pesquisas precisam ser realizadas seguindo a mesma metodologia utilizada, com a finalidade de ajustar melhor os parâmetros, considerando uma gama mais ampla de condições ambientais e variedades crioulas de feijão-caupi, bem como o uso de séries climáticas com mais anos de dados. Apesar disso, o modelo AquaCrop pode ser uma ferramenta útil para auxiliar no manejo da água para agricultura de sequeiro e irrigada, servindo como suporte às tomadas de decisões dos agricultores.

APÊNDICE

Quadro 1. Valores diários de temperatura máxima (T_{máx}), mínima (T_{mín}) e média (T_{méd}), umidade relativa média do ar (UR), velocidade do média do vento (V_v), radiação solar média (R_s), precipitação (Prep) e evapotranspiração de referência (ET₀), observados na estação experimental Est-Agro da Universidade Federal de Campina Grande no estado da Paraíba durante o primeiro experimento realizado no período chuvoso.

Data	Tmax (°C)	Tmin (°C)	Tmed (°C)	URmed (%)	Vv (m/s²)	Rs (W/m²)	Prep (mm)	ET0 (mm/dia)
02/02/2021	31,35	22,47	26,91	69,7	2,08	242	0	4,9
03/02/2021	31,23	22,65	26,94	69,1	2	252	0	5
04/02/2021	31,96	22,47	27,22	69,1	1,99	277	0	5,3
05/02/2021	32,38	22,47	27,43	68,5	1,75	303	0	5,6
06/02/2021	33,17	22,41	27,79	69,2	1,44	277	0	5,2
07/02/2021	33,47	22,59	28,03	69,7	1,79	320	0	6
08/02/2021	33,17	23,02	28,10	69,2	1,82	295	0	5,6
09/02/2021	31,66	22,83	27,25	68,4	1,51	230	0	4,5
10/02/2021	32,99	22,9	27,95	69,4	1,88	255	0	5,1
11/02/2021	31,29	23,26	27,28	70,8	1,79	205	0	4,3
12/02/2021	31,96	22,65	27,31	69,5	1,58	252	0	4,8
13/02/2021	26,58	22,9	24,74	82,5	1,21	125	2,5	4,6
14/02/2021	32,08	20,78	26,43	73,7	1,41	263	0	4,9
15/02/2021	31,54	22,77	27,16	77,7	1,42	223	5,3	4,3
16/02/2021	30,93	22,29	26,61	74,4	1,1	225	2	4,2
17/02/2021	31,11	22,53	26,82	73,3	1,18	250	11,6	4,6

Continuação...

18/02/2021	31,78	21,38	26,58	70,3	1,28	283	0	5,1
19/02/2021	32,93	22,17	27,55	70,3	1,42	295	0	5,4
20/02/2021	31,54	22,83	27,19	70,7	1,72	278	0	5,2
21/02/2021	30,39	23,02	26,71	69,9	2,05	218	0	4,5
22/02/2021	31,9	22,47	27,19	68,2	1,71	312	0	5,7
23/02/2021	32,44	22,71	27,58	71,3	1,56	258	0	5
24/02/2021	31,78	23,26	27,52	71,2	1,76	247	0	4,8
25/02/2021	30,21	23,38	26,80	74,6	1,65	222	0	4,4
26/02/2021	24,95	21,51	23,23	85,3	1,08	126	2	2,4
27/02/2021	28,21	20,9	24,56	81,5	1,04	193	5	3,5
28/02/2021	28,33	20,78	24,56	76,9	1,32	215	0	3,9
01/03/2021	25,61	22,11	23,86	87	1,21	146	46,3	2,7
02/03/2021	28,64	22,23	25,44	76,8	1,59	230	1,3	4,3
03/03/2021	29,12	21,23	25,18	73,1	1,21	205	0	3,8
04/03/2021	28,82	21,75	25,29	79,6	1,00	155	6,6	3,1
05/03/2021	29,66	22,17	25,92	74,2	1,15	203	0,3	3,8
06/03/2021	29,84	22,11	25,98	74,5	1,38	247	0	4,5
07/03/2021	30,75	22,77	26,76	72,7	1,48	267	0	4,9
08/03/2021	30,87	22,96	26,92	71,5	1,54	255	0	4,8
09/03/2021	31,29	21,71	26,50	72,5	1,64	250	0	4,8
10/03/2021	30,87	22,71	26,79	72,2	1,58	235	0	4,5
11/03/2021	30,39	23,02	26,71	72,8	1,92	232	0	4,6
12/03/2021	30,93	22,9	26,92	70,5	1,85	247	0	4,8
13/03/2021	31,35	22,9	27,13	73	1,72	247	0	4,7

Continuação...

14/03/2021	30,15	22,53	26,34	69,7	1,45	215	0	4,1
15/03/2021	31,54	21,32	26,43	70,6	1,15	228	0	4,2
16/03/2021	32,08	21,93	27,01	40,5	1,1	235	0,3	4,3
17/03/2021	32,14	20,36	26,25	67,2	1,18	293	0	5,1
18/03/2021	28,16	21,45	24,81	75,5	1,25	222	1	4
19/03/2021	28,51	22,83	25,67	75,2	1,51	175	0	3,5
20/03/2021	29,48	21,2	25,34	73,2	1,17	237	0,6	4,2
21/03/2021	28,27	20,66	24,47	75,5	0,95	140	3,3	2,8
22/03/2021	31,23	20,72	25,98	72,5	1	255	0	4,5
23/03/2021	31,23	21,63	26,43	72,1	1,27	227	0	4,2
24/03/2021	27	21,87	24,44	84	0,93	161	15,6	2,9
25/03/2021	28,7	19,93	24,32	75,3	0,97	230	1	3,9
26/03/2021	29,72	20,96	25,34	75,9	0,83	187	10	3,4
27/03/2021	27,31	21,26	24,29	88,3	0,34	105	14	2
28/03/2021	28,21	20,48	24,35	82,6	0,61	156	0	2,8
29/03/2021	29,6	22,23	25,92	80,1	1,11	210	0,3	3,8
30/03/2021	30,33	22,71	26,52	78	1,21	210	0	3,9
31/03/2021	30,27	22,17	26,22	74,6	1,34	208	0	3,9
01/04/2021	30,57	22,9	26,74	70,2	1,31	248	0	4,5
02/04/2021	29,6	19,45	24,53	82,8	1,12	187	0	3,4
03/04/2021	29,84	20,72	25,28	78,7	1,25	212	0,6	3,8
04/04/2021	28,45	22,71	25,58	80,4	1,46	192	5	3,6
05/04/2021	30,51	19,81	25,16	72,8	0,97	237	0	4,1
06/04/2021	30,33	21,87	26,10	71,9	1,15	215	0	3,9

Continuação...

07/04/2021	30,51	22,41	26,46	70,8	1,39	207	0	4
08/04/2021	29,18	21,57	25,38	73,1	1,02	127	0,3	3,3
09/04/2021	26,82	21,08	23,95	84,1	0,66	143	9,6	2,6
10/04/2021	27,85	21,02	24,44	87,2	0,57	135	31	2,4
11/04/2021	28,09	20,12	24,11	83,9	0,77	188	3	3,2
12/04/2021	29,12	21,81	25,47	82,9	0,98	185	25,3	3,3
13/04/2021	28,21	23,2	25,71	85,9	1,15	200		3,5

Quadro 2. Valores diários de temperatura máxima (T_{máx}), mínima (T_{mín}) e média (T_{méd}), umidade relativa média do ar (UR), velocidade do média do vento (V_v), radiação solar média (R_s), precipitação (Prep) e evapotranspiração de referência (E_{T0}), observados na estação experimental Est-Agro da Universidade Federam de Campina Grande no estado da Paraíba durante o segundo experimento realizado no período seco.

Data	Tmax (°C)	Tmin (°C)	Tmed (°C)	URmed (%)	Vv (m/s²)	Rs (W/m²)	Prep (mm)	ET0 (mm/dia)
01/09/2021	28,58	21,51	25,05	72,7	1,34	208	0	3,8
02/09/2021	27,73	21,26	24,50	74,2	1,34	200	0	3,6
03/09/2021	29,24	18,24	23,74	68,9	0,98	260	0	4,3
04/09/2021	28,15	18,54	23,35	75,9	1,18	167	0	5,6
05/09/2021	28,88	23,26	26,07	76,4	1,85	188	0	5,2
06/09/2021	29,36	22,59	25,98	78,0	1,52	188	0	6
07/09/2021	29,78	22,65	26,22	72,8	1,58	267	0	5,6
08/09/2021	29,78	20,66	25,22	70,8	1,44	232	0	4,5
09/09/2021	28,94	22,47	25,71	73,7	1,29	208	2	5,1

Continuação...

10/09/2021	29,66	19,21	24,44	71,8	1,18	262	0	4,3
11/09/2021	30,27	19,69	24,98	71,1	1,21	272	0	4,8
12/09/2021	29,42	21,87	25,65	70,4	1,18	250	0	4,6
13/09/2021	28,76	21,51	25,14	72,2	1,19	195	1	4,9
14/09/2021	29,54	22,11	25,83	71,9	1,25	227	0	4,3
15/09/2021	30,39	21,87	26,13	71,1	1,15	217	0	4,2
16/09/2021	29,36	22,29	25,83	72,2	1,35	177	0	4,6
17/09/2021	30,21	21,99	26,10	70,4	1,22	227	0	5,1
18/09/2021	30,69	22,41	26,55	70,4	1,48	262	0	5,4
19/09/2021	29,9	22,96	26,43	68,8	1,64	255	0	5,2
20/09/2021	30,63	22,17	26,40	69,6	1,56	293	0	4,5
21/09/2021	29,96	22,90	26,43	71,3	1,66	222	0	5,7
22/09/2021	31,29	20,90	26,10	69,6	1,29	288	0	5
23/09/2021	32,87	23,56	28,22	71,3	1,28	273	0	4,8
24/09/2021	31,35	22,53	26,94	70,5	1,45	240	0	4,4
25/09/2021	27,97	23,44	25,71	78,7	1,45	140	0	2,4
26/09/2021	30,03	22,59	26,31	73,5	1,52	208	0	3,5
27/09/2021	26,47	23,32	24,90	88,0	1,02	45	0	3,9
28/09/2021	29,18	24,22	26,70	65,8	1,44	252	0	2,7
29/09/2021	30,03	23,38	26,71	66,0	1,18	193	0	4,3
30/09/2021	29,78	22,71	26,25	73,9	1,12	167	0	3,3
01/10/2021	30,51	23,68	27,10	74,2	1,68	212	0,3	4,2
02/10/2021	30,57	23,26	26,92	73,1	1,76	240	1,6	4,6
03/10/2021	30,15	23,80	26,98	74,9	1,75	225	5,6	4,4

Continuação

04/10/2021	29,6	23,56	26,58	71,5	1,90	228	0	4,4
05/10/2021	29,84	23,38	26,61	71,8	1,88	218	0	4,3
06/10/2021	30,75	23,14	26,95	71,2	1,76	258	0	4,9
07/10/2021	31,41	23,32	27,37	71,2	1,58	277	0	5,1
08/10/2021	32,02	22,47	27,25	70,3	1,44	273	0	5
09/10/2021	32,44	23,62	28,03	72,5	1,61	272	0	5,1
10/10/2021	31,23	22,59	26,91	71,1	1,66	283	0	5,2
11/10/2021	30,51	19,27	24,89	73,6	1,54	265	0	4,7
12/10/2021	31,9	23,32	27,61	71,6	1,73	273	0	5,1
13/10/2021	31,11	23,38	27,25	70,3	1,81	265	0	5
14/10/2021	31,41	23,26	27,34	70,8	1,92	300	0	5,5
15/10/2021	28,15	23,68	25,92	83,7	1,58	128	3	2,7
16/10/2021	30,15	23,50	27,28	73,1	1,38	220	1,3	4,2
17/10/2021	31,05	23,08	27,01	73,0	1,49	265	3	4,9
18/10/2021	30,93	22,59	26,70	72,9	1,37	257	0,3	4,7
19/10/2021	30,81	23,08	27,49	70,7	1,81	267	0	5
20/10/2021	31,9	23,32	27,52	70,5	1,59	285	0	5,3
21/10/2021	31,72	23,98	28,03	71,6	1,64	253	0	4,8
22/10/2021	32,08	23,98	27,85	71,5	1,44	220	0	4,4
23/10/2021	31,72	23,86	27,94	72,7	1,39	228	0	4,4
24/10/2021	32,02	24,04	27,40	72,4	1,61	253	0	4,9
25/10/2021	30,75	24,04	27,91	71,7	1,83	207	0,6	4,3
26/10/2021	31,78	23,80	26,61	69,9	1,93	300	0	5,6
27/10/2021	29,42	25,50	28,01	69,3	1,51	232	0	4,4

Continuação

28/10/2021	30,51	22,05	26,52	68,5	1,39	253	0	4,6
29/10/2021	30,99	20,48	25,95	67,8	1,29	257	0,3	4,6
30/10/2021	31,41	22,29	26,85	70,1	1,45	265	0	4,9
31/10/2021	32,2	21,69	26,95	68,1	1,45	298	0	5,3
01/11/2021	30,51	23,62	27,07	69,0	1,81	252	0	4,8
02/11/2021	30,51	23,92	27,22	72,5	2,00	247	0	4,8
03/11/2021	31,84	23,80	27,82	72,1	1,62	240	0	4,7
04/11/2021	32,68	24,10	28,39	70,2	1,58	253	0	4,9
05/11/2021	33,41	24,47	28,94	69,6	1,58	287	0	5,5
06/11/2021	33,53	24,10	28,82	68,9	1,48	270	0	5,2
07/11/2021	33,53	24,14	28,84	70,3	1,61	277	0	5,3
08/11/2021	33,11	24,47	28,79	70,6	1,79	273	0	5,3
09/11/2021	31,90	24,10	28,00	69,9	1,95	257	0	5,1