



JOSIMAR SOARES DA SILVA JÚNIOR

**DESEMPENHO PRODUTIVO DO FEIJÃO-CAUPI SOB
DIFERENTES DENSIDADES DE PLANTAS E REGIMES
HÍDRICOS**

TERESINA – PI

2018

JOSIMAR SOARES DA SILVA JÚNIOR

**DESEMPENHO PRODUTIVO DO FEIJÃO-CAUPI SOB DIFERENTES DENSIDADES DE
PLANTAS E REGIMES HÍDRICOS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Piauí, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Agricultura Tropical para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Orientador: Dr. Edson Alves Bastos
Coorientador: Dr. Milton José Cardoso

**TERESINA – PI
2018**

FICHA CATALOGRÁFICA
Universidade Federal do Piauí
Biblioteca Setorial do Centro de Ciências Agrárias
Serviço de Processamento Técnico

S586d Silva Junior, Josimar Soares da
Desempenho produtivo do feijão-caupi sob diferentes densidades
de plantas e regimes hídricos / Josimar Soares da Silva Junior –
2018.
69 f. : il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Piauí, Progra-
ma de Pós-Graduação em Agronomia, Teresina, 2018.
Orientação: Prof. Dr. Edson Alves Bastos

1. *Vigna unguiculata* 2. Lâminas de irrigação 3. Eficiência de uso
da água I. Título.

CDD 635.659 2


JOSIMAR SOARES DA SILVA JÚNIOR

**DESEMPENHO PRODUTIVO DO FEIJÃO-CAUPI SOB DIFERENTES
POPULAÇÕES DE PLANTAS E REGIMES HÍDRICOS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal do Piauí, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Agricultura Tropical, para obtenção do título de Mestre em Ciências.

APROVADA em 08 de junho de 2018.

Comissão Julgadora:



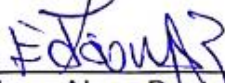
Dr. Antônio Aécio de Carvalho Bezerra – CCA/UFPI



Dr. Carlos José Gonçalves de Souza Lima –CCA/UFPI



Dr. Valdemício Ferreira de Sousa – Embrapa Meio-Norte



Dr. Edson Alves Bastos – Embrapa Meio-Norte
(Orientador)

TERESINA-PI

2018

OFEREÇO

Aos meus pais Josimar e Salvelina.

Ao meu irmão Tássio e minha querida irmã Tamara.

Aos meus avós.

Aos demais amigos e familiares.

Que sempre serviram de motivação a essa conquista.

DEDICO

*Aos Professores Edson Bastos
e Regina Lúcia
que foram essenciais ao início,
andamento e desfecho deste trabalho.*

AGRADECIMENTOS

Acima de tudo a Deus, pelo dom da vida e por sua misericórdia infinita sempre e em todo lugar.

Aos meus pais Maria Salvelina de Oliveira Soares e Josimar Soares da Silva, por serem incansáveis na luta por todas minhas conquistas. Ao meu irmão Tássio de Oliveira Soares, por servir de inspiração e estar ao meu lado sempre que precisasse. À minha irmã Tamara de Oliveira Soares, que mesmo dentro de suas limitações nos transmite força pra jamais desistirmos.

À minha namorada Mariana Nascimento, pelo companheirismo, atenção e compreensão sempre que necessário.

Ao Dr. Edson Alves Bastos, pela orientação, atenção, serenidade, humildade, pela transmissão de conhecimentos e pela paciência sem igual. Ainda, pelo exemplo de homem, de pai, de professor e de amigo que é.

Ao Dr. Aderson Soares de Andrade Júnior e Dr. Milton José Cardoso, pelo apoio prestado e pelos ensinamentos transmitidos.

Aos pesquisadores da EMBRAPA Meio-Norte, Valdenir Queiroz Ribeiro, Candido Athayde Sobrinho, Francisco de Brito Melo e aos Professores da UFPI, Carlos José Gonçalves de Souza Lima, Francisco Edinaldo Pinto Mousinho e Antônio Aécio de Carvalho Bezerra, que, de forma direta ou indireta, contribuíram para a conclusão deste trabalho.

Aos técnicos da Embrapa Meio-Norte, Anchieta Fontenele, Antônio Vieira Paz e Francisco Gustavo Carvalho Sousa, e aos funcionários do campo Francisco “Mandi”, Edimar, Sebastião, Rocha, Airton, Sr. Manoel, Abreu, Alfredo e demais, pelo apoio na implantação, execução do experimento e colaboração nas análises.

Aos colegas bolsistas, Marcos Vinícius e Ananda França, que foram essenciais à condução deste trabalho, Marco Willame, Marinete Martins, Sara Raissa, Elizandra dos Santos, Alzeneide da Silva, Josiane Fonteneles pela amizade e contribuição no trabalho.

Aos amigos do Mestrado, Carlos Diego, Adriano Venícius, Leonardo Teixeira, Andrea Brasil, Theuldes Oldenrique e Nadja Nara pelo apoio prestado uns aos outros.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Agricultura Tropical (PPGA-AT), da Universidade Federal do Piauí, pela oportunidade concedida.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Meio-Norte), pela disponibilização de toda estrutura física e mão de obra necessária à condução deste trabalho.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de mestrado.

*“Oh! Deus, se eu não rezei direito o Senhor me perdoe,
Eu acho que a culpa foi
Desse pobre que nem sabe fazer oração”*

Gordurinha

RESUMO

O feijão-caupi é uma leguminosa de grande importância socioeconômica para as regiões Norte e Nordeste do Brasil. Entretanto, ainda necessita de estudos que avaliem seu desempenho produtivo quando cultivado em regime irrigado e sob diferentes densidades de plantas. O presente trabalho teve por objetivo de avaliar os efeitos de diferentes regimes hídricos e diferentes densidades de plantas sobre a produtividade de grãos, componentes de produção e eficiência do uso de água, bem como a correlação da produtividade de grãos com os componentes de produção do feijão-caupi, cultivar BRS Tumucumaque. O experimento foi conduzido na área experimental da Embrapa Meio-Norte, localizada no município de Teresina, Piauí, no período de junho a setembro de 2017, em um Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico. O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados (DBC), no esquema de parcelas subdivididas com quatro repetições, em que as lâminas de irrigação são as parcelas (187,7; 233,5; 263,5 e 288,7 mm) e as densidades de plantas, as subparcelas (12; 16; 20 e 24 plantas m⁻²). Avaliaram-se o número de vagens por planta (NVP), o número de vagens por metro quadrado (NVPM2), o comprimento de vagem (COMPV), o peso de vagens (PV), a produtividade de grãos secos (PROD) e a eficiência de uso da água (EUA). O NVP atingiu um valor máximo de 6,4 vagens planta⁻¹, obtido com a aplicação de uma lâmina de 288,7 mm associada a uma densidade de 12 plantas m⁻². O valor máximo de NVPM2 foi de 101,4 vagens m⁻², alcançado com uma lâmina de 288,7 mm em conjunto com uma densidade de 19,4 plantas m⁻². O COMPV máximo foi de 20,5 cm, atingido com uma lâmina de 288,7 mm e a densidade de 12 plantas m⁻². O maior PV foi de 939,9 g área útil⁻¹, obtido com a lâmina de 288,7 mm associada a densidade de 18,8 plantas m⁻². A máxima PROD alcançada foi de 1.694,46 kg ha⁻¹, com a aplicação da lâmina de 288,7 mm e a densidade de 20,4 plantas m⁻². E o maior valor de EUA foi de 5,8 kg ha⁻¹ mm⁻¹, que foi obtido com a lâmina de 288,7 mm e a densidades de 19,5 plantas m⁻².

Palavras-chave: *Vigna unguiculata*, lâminas de irrigação, eficiência de uso da água.

ABSTRACT

Cowpea is a legume has and presents socioeconomic importance for the North and Northeast regions of Brazil. However, studies in order to evaluate its productive performance when cultivated under irrigated regime and under different plant densities were necessary. The present research aim the productive performance evaluation, yield components and water use efficiency, BRS Tumucumaque cowpea' cultivar, under different plant densities and water regimes. The experiment was carried out at Embrapa Meio-Norte experimental area , in Teresina, Piauí State , from June to September, 2017, in a Red-Yellow eutrophic soil. The experimental design was a complete randomized block, in subdivided parcels in four replications, which the irrigation depths were the plots (187.7 , 233.5, 263.5 and 288.7 mm), and the plant densities, subplots (12; 16; 20 and 24 plants m⁻²). The number of pods per plant (NPP), number of pods per square meter (NPPM2), pod length (PL), pod weight (PW), dry grain yield (DGY) and efficiency of water use (EWU) were evaluated. The NPP component reached a maximum value of 6.4 plant⁻¹ pods, obtained with 288.7 mm associated with a density of 12 plants m⁻². The maximum value of NPPM2 was 101.4 m⁻² pods, reached with 288.7 mm with a density of 19.4 plants m⁻². The maximum PL was 20.5 cm, reached with a 288.7 mm and the density of 12 plants m⁻². The highest PW was 939.9 g area⁻¹, obtained with 288.7 mm associated with the density of 18.8 plants m⁻². The maximum DGY reached was 1,694.46 kg ha⁻¹, with the application of the 288.7 mm and the density of 20.4 plants m⁻². The highest EWU value was 5.8 kg ha⁻¹ mm⁻¹, which was obtained with a 288.7 mm and 19.5 plants m⁻².

Keywords: *Vigna unguiculata*, irrigation depth, water use efficiency.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Mapa de Teresina - PI, e imagem de satélite destacando a localização da área experimental da Embrapa Meio-Norte.....28
- Figura 2.** Esquema da distribuição das lâminas de irrigação e densidades populacionais nas parcelas e subparcelas, e localização dos tubos do Diviner.....30
- Figura 3.** Detalhes das plântulas retiradas da sementeira para transplântio (A) e das plantas desbastadas (B).....31
- Figura 4.** Localização dos coletores em relação aos aspersores e à área plantada.....33
- Figura 5.** Valores das temperaturas do ar máxima (T_{máx}), média (T_{méd}) e mínima (T_{mín}) ao longo do ciclo do feijão-caupi, cv BRS Tumucumaque, Teresina, PI, 2017.....39
- Figura 6.** Variação da umidade relativa máxima e mínima do ar ao longo do ciclo do feijão-caupi. Teresina, PI, 2017.....40
- Figura 7.** Registro de precipitação pluviométrica (mm) ao longo do ciclo do feijão-caupi. Teresina, PI, 2017.....41
- Figura 8.** Variação da umidade do solo para profundidade de 0 – 20 cm, em função das lâminas de irrigação aplicadas (L1, L2, L3 e L4) com base em diferentes percentuais da ET_c (50%, 75%, 100% e 125%). Teresina, PI, 2017.....43
- Figura 9.** Variação da umidade do solo para profundidade de 20 – 40 cm, em função das lâminas de irrigação aplicadas (L1, L2, L3 e L4) com base em diferentes percentuais da ET_c (50%, 75%, 100% e 125%). Teresina, PI, 2017.....44
- Figura 10.** Superfície de resposta do número de vagens por planta (NVP) do feijão-caupi, cultivar BRS Tumucumaque, em função de lâminas de irrigação e densidade de plantas. Dados transformados para \sqrt{x} . Teresina, PI, 2017.....47
- Figura 11.** Superfície de resposta do número de vagens por metro quadrado (NVPM²) do feijão-caupi, cultivar BRS Tumucumaque, em função de lâminas de

irrigação e densidade de plantas. Dados transformados para \sqrt{x} . Teresina, PI, 2017.....	49
Figura 12. Superfície de resposta do comprimento de vagem (COMPV) do feijão-caupi, cultivar BRS Tumucumaque, em função de lâminas de irrigação e densidade de plantas. Teresina, PI, 2017.....	51
Figura 13. Superfície de resposta do peso de vagens (PV) por parcela do feijão-caupi, cultivar BRS Tumucumaque, em função de lâminas de irrigação e densidade de plantas. Teresina, PI, 2017.....	52
Figura 14. Superfície de resposta da produtividade de grãos (PROD) do feijão-caupi, cultivar BRS Tumucumaque, em função de lâminas de irrigação e densidade de plantas. Teresina, PI, 2017.....	54
Figura 15. Superfície de resposta da eficiência do uso da água (EUA) do feijão-caupi, cultivar BRS Tumucumaque, em função de lâminas de irrigação e densidade de plantas. Teresina, PI, 2017.....	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Resultado da análise química do solo da área experimental, nas camadas de 0 a 10 e 10 a 20 cm. Teresina, PI, 2017.....	29
Tabela 2. Análise granulométrica do solo da área experimental. Embrapa Meio-Norte. Teresina, PI, 2015.....	29
Tabela 3. Espaçamento (m) entre plantas dentro da fileira (EDF) e número de plantas por metro linear e por metro quadrado em função do arranjo populacional avaliado no estudo.....	32
Tabela 4. Valores de Kc para o feijão-caupi, em diferentes fases do ciclo.....	33
Tabela 5. Equações obtidas com a calibração da sonda de capacitância Diviner 2000® em diferentes camadas e para todo o perfil do solo da área experimental....	35
Tabela 6. Lâminas totais de irrigação (mm) aplicadas em decorrência dos regimes hídricos avaliados e precipitação pluviométrica total (mm) durante o período experimental.....	42
Tabela 7. Resumo da análise de variância (quadrados médios) do feijão-caupi cultivar BRS Tumucumaque, referentes aos componentes de produção: número de vagens por planta (NVP), número de vagens por metro quadrado (NVPM2), peso de vagem (PV), comprimento de vagem (COMPV), produtividade (PROD) e eficiência do uso da água (EUA), avaliadas em plantio convencional, em Teresina, PI, 2017.....	45
Tabela 8. Equações de resposta do número de vagens por planta (NVP), número de vagens por metro quadrado (NVPM2), comprimento de vagem (COMPV; cm), peso de vagens (PV; g), produtividade de grãos (PROD; kg ha ⁻¹) e eficiência do uso da água (EUA) em função das lâminas de irrigação (L) e densidade de plantas (D) de feijão-caupi, cultivar BRS Tumucumaque, Teresina-PI, 2017.....	46
Tabela 9. Estimativa dos coeficientes de correlação de Pearson da produtividade de grãos em relação ao número de vagens por planta (NVP), número de vagens por m ² (NVPM2), comprimento de vagem (COMPV), peso de vagens (PV) e eficiência do uso da água (EUA) do feijão-caupi cultivar BRS Tumucumaque. Teresina, PI.....	57

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	15
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	17
2.1	Classificação botânica e origem.....	17
2.2	Importância socioeconômica.....	17
2.3	Ecofisiologia do feijão-caupi.....	19
2.4	Cultivar BRS Tumucumaque.....	21
2.5	Densidade de plantas.....	22
2.6	Disponibilidade hídrica.....	24
2.7	Eficiência do uso da água.....	26
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	28
3.1	Localização da área experimental.....	28
3.2	Características do solo.....	29
3.3	Tratamentos e delineamento experimental.....	29
3.4	Preparo do solo, adubação e semeadura.....	31
3.5	Tratos culturais e controle fitossanitário.....	32
3.6	Sistema de Irrigação.....	32
3.7	Aplicação dos regimes hídricos.....	33
3.8	Monitoramento climático.....	34
3.9	Monitoramento do conteúdo de água no solo.....	34
3.10	Características avaliadas.....	36
3.10.1	Componentes de produção e produtividade de grãos.....	36
3.10.2	Eficiência do uso da água (EUA)	37
3.11	Análise estatística.....	37
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	39
4.1	Dados climáticos.....	39
4.2	Lâminas de irrigação aplicadas durante o período experimental e conteúdo de água no solo.....	41
4.3	Componentes de produção, produtividade de grãos e eficiência do uso da água.....	45
4.3.1	Numero de vagens por planta (NVP)	46
4.3.2	Número de vagens por metro quadrado (NVPM2)	48
4.3.3	Comprimento de vagens (COMPV)	50
4.3.4	Peso de vagens (PV)	51

4.3.5	Produtividade de grãos (PROD)	53
4.3.6	Eficiência do uso da água (EUA)	55
4.4	Coeficiente de correlação.....	57
5	CONCLUSÕES.....	59
	REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	60

1 INTRODUÇÃO

O feijão-caupi é uma leguminosa cultivada em grande parte do globo terrestre, principalmente nas regiões tropicais, regiões de alta instabilidade pluviométrica e que apresentam baixo nível tecnológico no sistema de produção. No Brasil, é cultivado principalmente nas regiões Norte e Nordeste, onde se constitui como uma das principais culturas da base alimentar das famílias de baixa renda.

Explorado tradicionalmente nos sistemas agrícolas familiares, em cultivo de sequeiro e com baixo nível tecnológico, o feijão-caupi cultivado nessas regiões ainda possui baixa produtividade de grãos, porém, tem sido pesquisado mais intensamente nas últimas décadas. Fato que tem contribuído para melhorar sua produtividade e rentabilidade, onde, associado a outros fatores, vêm despertando o interesse de médios e grandes produtores pela cultura.

O aumento da produção do feijão-caupi em áreas com altas tecnologias, como no cerrado do Centro Oeste brasileiro, tem gerado uma demanda por cultivares com características específicas que atendam às necessidades dos sistemas de produções tecnificados, dentre elas, o alto potencial de produtividade de grãos, a resistência à pragas e doenças, características relacionadas ao porte e arquitetura da planta, que possibilitem o maior adensamento e a mecanização da cultura, inclusive a colheita (BEZERRA et al., 2009).

Os arranjos e as densidades populacionais influenciam o desenvolvimento do feijão-caupi, dependendo das condições de plantio, das características morfológicas e fisiológicas e da capacidade produtiva das cultivares (TÁVORA et al., 2000).

Outro fator que exerce forte influência nos componentes de produção e na produtividade de grãos de feijão-caupi é a disponibilidade hídrica, onde a aplicação de água ao solo no momento e na quantidade correta pode proporcionar a maximização da produtividade de grãos, garantindo um rendimento economicamente viável, principalmente nas regiões mais secas do Brasil.

Embora o feijão-caupi seja considerado espécie tolerante à seca, sua capacidade de adaptação varia dentro da espécie. Portanto, para o manejo adequado dessa cultura, visando à produtividade, é importante conhecer a sua capacidade de resposta aos níveis de déficit hídrico, bem como a relação entre consumo de água e produtividade.

O manejo de irrigação deve considerar a população de plantas, uma vez que, quanto maior o número de plantas maior a extração de água do solo e há poucos estudos contemplando esse tema. Nesse contexto, essa pesquisa teve o objetivo de avaliar os efeitos de diferentes regimes hídricos e diferentes densidades de plantas sobre a produtividade de grãos, componentes de produção e eficiência do uso de água, bem como a correlação da produtividade de grãos com os componentes de produção, em uma cultivar de feijão-caupi de porte semi-ereto, em Teresina, Piauí.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Classificação botânica e origem

O feijão-caupi, também conhecido como feijão-macassar e feijão-de-corda, na região Nordeste; feijão-de-praia, feijão-da-colônia e feijão-de-estrada, na região Norte; feijão-miúdo, na região Sul, pertence à classe Dicotiledônea, ordem Fabales, família Fabaceae, subfamília Faboideae, tribo Phaseoleae, subtribo Phaseolinae, gênero *Vigna*, secção Catiang, espécie *Vigna unguiculata* (L.) Walp. e ssp. *unguiculata* (FREIRE FILHO et al., 2011; ONOFRE, 2008).

O gênero *Vigna* compreende 170 espécies, das quais 120 ocorrem na África (66 endêmicas), 22 na Índia e sudeste da Ásia (16 endêmicas), havendo poucas espécies descritas para as Américas e a Austrália (FARIS, 1965; GHAFFOR et al., 2001).

A cultura do feijão-caupi, amplamente cultivada no globo terrestre, encontra-se principalmente nas regiões tropicais devido às semelhantes condições edafoclimáticas do seu provável local de origem, a África. Por isso, é cultivada predominantemente na região semiárida do Brasil (MOUSINHO, 2005).

Freire Filho (1988) relata que sua introdução no Brasil ocorreu pelo estado da Bahia, a partir do qual, o feijão-caupi foi distribuído pelos colonizadores para outras áreas da região Nordeste e para outras regiões do país.

2.2 Importância socioeconômica

O feijão-caupi apresenta uma composição nutricional com altos teores proteicos (23 a 25% em média), além de possuir todos os aminoácidos essenciais, carboidratos (62%, em média), vitaminas, minerais, grande quantidade de fibras dietéticas, baixa quantidade de gordura (teor de óleo de 2%, em média) e não contém colesterol (RIBEIRO, 2002). Logo, constitui a principal fonte proteica vegetal das famílias de baixa renda da região Nordeste, que normalmente a cultivam como cultura da base alimentar, comercializando a produção excedente (MOUSINHO, 2005).

O consumo humano do feijão-caupi pode ser feito na forma de vagem verde, grãos verdes e grãos secos. Como vagem verde a colheita é feita quando estas estão bem desenvolvidas, mas antes da maturação. Como grão verde, são colhidas no início da maturação e na forma de grão seco, as vagens são colhidas secas (VIEIRA et al., 2000). Além da sua utilização na alimentação humana, o feijão-caupi pode ser utilizado na alimentação animal, como forragem verde, feno, ensilagem e farinha (OLIVEIRA e CARVALHO, 1998).

Apesar de no Brasil serem cultivadas várias espécies de feijão, para efeito de regulamento técnico, o Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) só considera como feijão as espécies *Phaseolus vulgaris* (L.) e *Vigna unguiculata* (L.) Walp., feijão comum e feijão-caupi, respectivamente (BRASIL, 2008). Essas duas espécies são as mais importantes social e economicamente no país (FREIRE FILHO et al., 2011).

De acordo com o levantamento do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2016), o feijão, em geral, é a cultura com a terceira maior área plantada e a quinta maior produção do Brasil, entre cereais, leguminosas e oleaginosas. Embora os dados do levantamento do IBGE (2016) englobem a produção das espécies *Vigna unguiculata* e *Phaseolus vulgaris*, dados da Conab (2016) referentes à primeira e segunda safra do feijão, revelam que 51,12% da área plantada total é ocupada por feijão-caupi (1.197.300 ha), e que 87,35% da área total de feijão-caupi se encontra nas regiões Norte e Nordeste (1.045.800 ha).

A predominância da área plantada do feijão-caupi nas regiões Norte e Nordeste, principalmente no sertão nordestino, se deve ao fato do feijão-caupi se constituir a principal cultura da base alimentar da população que ali reside (MOUSINHO, 2005; SALES et al. 1988).

Por ser cultivado principalmente por pequenos agricultores, geralmente o feijão-caupi é plantado em sistema consorciado com outras culturas, fato que afeta negativamente a produtividade de grãos, independente do sistema usado, quando comparado ao monocultivo (ALVES et al., 2009; ALBUQUERQUE et al., 2012).

No entanto, essa realidade vem se modificando ao longo dos anos com a adoção de tecnologias mais avançadas, como o uso de cultivares melhoradas, resistentes às doenças e com tolerância à seca, e o cultivo sobre palhada ou plantio direto, que em conjunto com um sistema de irrigação eficiente possibilitam a obtenção de altas produtividades, tanto para agricultores familiares quanto para

empresariais, garantindo emprego, renda e alimento à população (LOCATELLI, et al. 2014).

Nota-se uma crescente demanda produtiva do feijão-caupi nas áreas de cerrado do Centro-Oeste brasileiro. Em que, por meio do cultivo tecnificado associado a cultivares adaptadas às condições climáticas locais, tem-se garantido produtividades satisfatórias. De acordo com Freire Filho et al. (2005), o feijão-caupi tem despertado o interesse de agricultores que praticam agricultura empresarial principalmente na região do Cerrado, em que o feijão-caupi é cultivado em grandes áreas, especialmente no estado de Mato Grosso, no outono-inverno, em substituição ao milho safrinha, cujos índices de produtividades ultrapassam 1.000 kg ha^{-1} .

Texeira et al. (2010) avaliando as características agronômicas e qualidade fisiológica de sementes de diferentes cultivares de feijão-caupi nas condições edafoclimáticas do Cerrado goiano, mais especificamente na cidade de Catalão-GO, alcançaram patamares de produtividades de 2.211 e 2.196 kg ha^{-1} com as cultivares BRS Guariba e BR 17-Gurguéia, respectivamente, demonstrando assim, inicialmente, boa adaptação destas às condições edafoclimáticas da região do estudo.

Resultado semelhante foi observado por Santos et al. (2014), que ao avaliarem o desempenho agrônomo e a divergência genética entre 20 genótipos de feijão-caupi no município de Aquidauana, MS, região pertencente à zona de transição entre o Cerrado e o Pantanal, obtiveram alta produtividade de grãos com a cultivar BR 17-Gurgueia, que apresentou 2.197 kg ha^{-1} . Fato que evidência o alto grau de adaptabilidade desta cultivar às mais diversas condições edafoclimáticas, que vão desde o semiárido nordestino, passando pela região do Cerrado, até a região do ecótono Cerrado/Pantanal.

2.3 Ecofisiologia do feijão-caupi

Conhecer os aspectos da ecofisiologia do feijão-caupi é de considerável relevância, tendo em vista diminuir os impactos de condições climáticas desfavoráveis, a fim de proporcionar maior produtividade de grãos. Dentre os elementos do clima que afetam o desenvolvimento e a produtividade de grãos do

feijão-caupi destacam-se a precipitação, umidade relativa do ar, a temperatura do ar e a radiação solar.

A exigência hídrica da cultura varia com o seu estágio de desenvolvimento. O consumo de água aumenta de um valor mínimo na germinação até um valor máximo na floração e na formação de vagens, e decresce a partir do início da maturação (NÓBREGA et al., 2001). A cultura do feijão-caupi, sem que haja a necessidade de irrigação, exige um mínimo de 300 mm de precipitação para que produza satisfatoriamente. Regiões cujas cotas pluviométricas oscilem entre 250 e 500 mm anuais são consideradas aptas para a implantação da cultura. No entanto, a maior limitação em relação à exigência hídrica do feijão-caupi encontra-se mais diretamente ligada à distribuição do que propriamente à quantidade de chuvas ocorridas no período (RIBEIRO, 2002).

Bastos et al., (2008) buscando determinar a evapotranspiração e o K_c do feijão-caupi, variedade BR 17 Gurguéia, durante os diferentes estágios de desenvolvimento, utilizando um lisímetro de pesagem eletrônico, no município de Alvorada do Gurguéia, PI, chegaram à conclusão que a ET_c da cultura ao longo de todo o ciclo foi de 288,5 mm, correspondente a um valor médio de 4,1 mm dia⁻¹, e que o estágio fenológico de maior demanda hídrica foi o reprodutivo, com 5,4 mm dia⁻¹.

A faixa de temperatura mais adequada para o desenvolvimento do feijão-caupi é de 18 a 34°C, podendo tal cultura ser cultivada em quase todos os tipos de solos. Temperaturas elevadas prejudicam o crescimento e o desenvolvimento da planta de feijão-caupi, pois exercem influência sobre o abortamento de flores, o vingamento e a retenção final de vagens, conseqüentemente, afetando também o número de sementes por vagem (ELLIS et al., 1994; CRAUFURD et al., 1996). De outro modo, temperaturas igual ou menores que 20°C podem causar a paralisação do desenvolvimento das plantas, aumentando o ciclo da cultura (OLIVEIRA; CARVALHO, 1998).

Simulações realizadas em Teresina - PI indicaram que, para o cultivo irrigado, o plantio do feijão-caupi deve se restringir até o mês de julho, pois quando realizado após o mês de agosto, há uma redução significativa da produtividade de grãos, devido ao abortamento de flores, causado pela elevada temperatura do ar na região durante o florescimento (BASTOS et al., 2000).

Por ser uma planta C3, satura-se fotossinteticamente as intensidades de luz, relativamente baixas, em torno de 10.000 e 40.000 lux (CARDOSO, 2000).

2.4 Cultivar BRS Tumucumaque

A cultivar BRS Tumucumaque apresenta crescimento indeterminado, porte semiereto, e um bom nível de resistência ao acamamento, característica importante pois facilita tanto a colheita manual quanto a mecanizada, com o uso de dessecante neste último caso. Os grãos são brancos, com alto teor de ferro e zinco; e as vagens, quando secas, são roxas e possui ciclo de 65 a 75 dias. (CAVALCANTE et al., 2014; OLIVEIRA et al., 2014).

Em relação ao potencial produtivo desta cultivar, a mesma foi avaliada em plantação de sequeiro, em 28 ensaios de valor de cultivo e uso (VCU) nas regiões Norte e Nordeste, e 5 ensaios na região Centro-Oeste, distribuídos nos ecossistemas de Caatinga, transição Caatinga-Cerrado, Cerrado, Tabuleiros Costeiros e Amazônico. Nas três regiões, obtiveram-se produtividade média de 1.100 kg ha⁻¹ e comprimento médio de vagem de 21 cm. Considerando-se a média geral das três regiões, a cultivar BRS Tumucumaque apresentou um ganho de 9% em relação à cultivar BRS Guariba (CAVALCANTE et al., 2014).

Nota-se que essa cultivar possui ampla adaptação a diversos ambientes do país, sendo recomendada para cultivo nos estados de Roraima, Pará, Rondônia, Amazonas, Maranhão, Piauí, Rio Grande do Norte, Pernambuco, Alagoas, Sergipe e Mato Grosso (CAVALCANTE et al., 2014).

Essa cultivar apresenta número médio de grão por vagem de 15, massa média de 100 sementes de 19,5 gramas. Possui hilo do tipo pequeno, anel do hilo de cor marrom claro forma da semente levemente reniforme. As principais características nutricionais são: 25,53% de proteína, 60,57 mg kg⁻¹ de ferro, 51,63 mg kg⁻¹ de zinco e tempo de cozimento de 13 minutos e 23 segundos (CAVALCANTE et al., 2014).

2.5 Densidade de plantas

Para que o feijão-caupi possa expressar seu potencial produtivo é necessária uma combinação favorável de um conjunto de fatores. Entre eles, destaca-se a densidade populacional, que influencia diretamente as características morfofisiológicas e de rendimentos de grãos. Outros fatores como aproveitamento dos recursos tecnológicos, ambientais e de manejo também devem ser considerados (BEZERRA et al., 2012).

Bezerra et al. (2009) demonstraram em seus resultados a capacidade da linhagem estudada em manter um alto potencial de produção de grãos, quando submetida a diferentes densidades de plantas.

Tanto nos sistemas tradicionais de cultivo quanto nos mais tecnificados, é necessário ter informações acerca das alterações ocorridas nos componentes de produção e na morfofisiologia das variedades modernas de feijão-caupi, quando cultivadas em diferentes densidades populacionais (BEZERRA et al., 2012).

Cardoso, Ribeiro e Melo (2013), avaliando o efeito de densidades de plantas no feijão-caupi em variedades de porte ereto (E), semi-ereto (SE) e semi-prostrado (SP) nas condições de solo e clima do Maranhão, obtiveram valores de rendimentos de grãos máximos das cultivares de portes E e SE de 2.114 kg ha⁻¹ (18,2 plantas m⁻²) e 2.582 kg ha⁻¹ (16,9 plantas m⁻²), respectivamente, e para a variedade de porte SP, 1.282 kg ha⁻² com 11,3 plantas m⁻².

Santos e Araújo (2000), avaliando a produtividade e morfologia de genótipos de feijão-caupi de diferentes portes sob diferentes densidades populacionais em sistemas de cultivo irrigado e de sequeiro, no município de Petrolina, obtiveram produções máximas de grãos de 1.126 kg ha⁻¹ e 2.330 kg ha⁻¹ para o genótipo IT 86D-472 (porte semi-ereto) com densidades de 203.051 plantas ha⁻¹ e 207.328 plantas ha⁻¹, nos sistemas sequeiro e irrigado, respectivamente. Para o genótipo Epace 10 (porte semi-ramador) as produtividades máximas de grãos nos ambientes de sequeiro e irrigado foram de 1.048 kg ha⁻¹ e 2.694 kg ha⁻¹ nas densidades de 154.413 plantas ha⁻¹ e 182.416 plantas ha⁻¹, respectivamente. Os autores ainda concluem que sob condições irrigadas, a densidade populacional do feijão-caupi, e na maioria das culturas, deve ser superior à usada sob condições de sequeiro.

Cardoso, Melo e Ribeiro (2018), avaliando o desempenho produtivo de cultivares de feijão-caupi em função da densidade populacional, na região do MATOPIBA, encontraram valores máximos para número de vagens por área de 70,12 vagens m^{-2} com 19,6 plantas m^{-2} para a cultivar BRS Itaim, de 62,6 vagens m^{-2} com 19,4 plantas m^{-2} para a cultivar BRS Tumucumaque, e de 59,22 vagens m^{-2} com 15,6 plantas m^{-2} para a cultivar BRS Pajeú.

Bezerra et al. (2014), analisando a morfofisiologia e produção de feijão-caupi, cultivar BRS Novaera, em função da densidade de plantas, no município de Alvorada do Gurguéia – PI, sob regime irrigado, verificaram decréscimos lineares no número de vagens por planta em função da densidade de plantas, com redução de 66,48% quando comparadas as densidades de 100 mil e 500 mil plantas ha^{-1} , as quais apresentaram em média 14,62 e 4,90 vagens por planta, respectivamente. Verificaram ainda que o comprimento de vagem e o peso de cem grãos não foram afetados significativamente pelas diferentes densidades de plantas, apresentando médias de 14,99 cm e 24,4 g, respectivamente.

Oliveira et al. (2015), estudando a interação de níveis de água e densidade de plantas no crescimento e produtividade do feijão-caupi em Teresina-PI, constataram que houve significância na interação entre os níveis de irrigação e as densidades de plantas nos componentes de produção: número de vagens por planta, peso de vagens, produtividade de vagens, comprimento de vagem e peso de cem grãos. A produtividade máxima de grãos foi de 1.668,86 $kg ha^{-1}$, obtido com a aplicação da lâmina de 390,88 mm e densidade de 241.000 plantas ha^{-1} .

Monteiro et al. (2017), avaliando os efeitos de regimes hídricos e densidades de plantas sobre os componentes de produção e produtividade de feijão-caupi, em sistemas de cultivo convencional e direto, em uma cultivar de porte ereto, no município de Teresina – PI, encontraram valores de número de vagens por plantas e comprimento de vagens de 5,3 e 15,74 cm, obtidos, respectivamente, com as combinações de lâminas de irrigação e densidades de plantas de 312 mm e 17 plantas m^{-2} e 318 mm e 12 a 14 plantas m^{-2} .

O desempenho produtivo de três cultivares de feijão-caupi de diferentes tipos de porte da planta foi avaliado em função da densidade populacional, na região do MATOPIBA, por Cardoso, Melo e Ribeiro (2018). Os rendimentos máximos de grãos das cultivares de portes ereto (BRS Itaim), semiereto (BRS Tumucumaque) e de porte semiprostrado (BRS Pajeú) foram, respectivamente, de 1.076 $kg ha^{-1}$

(19,5 plantas m^{-2}) e 1.252 kg ha^{-1} (18,7 plantas m^{-2}) e de 755 kg ha^{-1} (14,5 plantas m^{-2}). Os mesmos autores observaram que o componente de produção que mais se correlacionou com o rendimento de grãos foi o número de vagens por área.

Cardoso, Ribeiro e Bastos (2015), avaliando o desempenho produtivo e a eficiência de uso da água de cultivares comerciais de feijão-caupi de porte semiprostado em diferentes densidades de plantas no município de Teresina – PI, encontraram resposta quadrática para o número de vagem por área em relação à densidade de plantas, onde os valores máximos observados foram de 110,2; 92,6 e 92,9 com as densidades de 13,6; 13,3 e 13,3 plantas m^{-2} , respectivamente, para as cultivares BR Gurguéia, BRS Aracê e BRS Juruá. Os mesmo autores observaram, ainda, que o componente de produção número de vagens por área foi o mais correlacionado com o rendimento de grãos.

2.6 Disponibilidade hídrica

Para o manejo adequado da cultura do feijão-caupi, quando se visa à produtividade, é importante saber seu potencial de resposta aos níveis de déficit hídrico, como também a relação entre o consumo de água e a produtividade de grãos (NASCIMENTO et al., 2004). De acordo com esses autores o desempenho do crescimento de plantas e de produção do feijão-caupi, cv. IPA 206, foi significativamente influenciado pelos níveis de deficiência hídrica aplicados ao solo.

Tagliaferre et al. (2013), estudando os efeitos de lâminas de irrigação e de níveis de adubação nitrogenada em feijão-caupi inoculado, constataram que não houve interação significativa entre os fatores para as características avaliadas. Porém, analisando a variável número de grãos por vagem em decorrência das lâminas de irrigação, observaram que houve efeito quadrático pra essa característica, em que, de acordo com o modelo, o número máximo de grãos por vagem (11,96) seria obtido ao aplicar uma lâmina de irrigação de 332,63 mm.

Andrade Júnior et al. (2002) observaram valores máximos de número de grãos por vagem (16,2), massa de cem grãos (13,8 g) e de eficiência de uso da água (71,8 kg m^{-3}) por meio da aplicação de 449,1, 194,4 e 317,13 mm, respectivamente, para a cultivar BR 17 Gurguéia. A eficiência do uso da água indica

que apesar do potencial que as cultivares têm de alcançar produtividades maiores com lâminas maiores, tais lâminas devem ser recomendadas economicamente somente se a água não for um fator limitante à produção agrícola.

Avaliando a interação de diferentes lâminas de irrigação com diferentes cultivares de feijão-caupi no cerrado de Roraima, Locatelli et al. (2014) verificaram que para o cultivar BRS Pajeú a produtividade de grãos secos não foi influenciada pelas lâminas de irrigação, obtendo uma média de 1.495,07 kg ha⁻¹. No entanto, os cultivares BRS Guariba e BRS Novaera foram significativamente influenciadas pelas lâminas de irrigação, atingindo a máxima eficiência técnica para as produtividades 1.275,19 e 1.504,98 kg ha⁻¹ com as lâminas 157,27 mm (74,3% da ETo) e 199 mm (94,02% da ETo), respectivamente.

Freitas et al. (2013), estudando a produção de feijão-caupi sob efeito de veranico nos sistemas de plantio direto e convencional em um Argissolo Vermelho-Amarelo Eutrófico, na Região de Mossoró-RN, verificaram significância na interação entre os sistemas de plantio e os períodos de veranico para os componentes de produção: comprimento de vagem, número de grãos por vagem, número de vagens por planta e rendimento de grãos. Onde no menor período de veranico estudado (2 dias), condição semelhante à da ausência de déficit hídrico, verificou-se diferença expressiva na produtividade entre os sistemas de plantio direto e convencional, com produtividades de 2.234,16 e 1.705 kg ha⁻¹, respectivamente.

Avaliando os efeitos de regimes hídricos e densidades de plantas sobre os componentes de produção e produtividade de feijão-caupi, em sistemas de cultivo convencional e direto, na cultivar BRS Itaim, em Teresina – PI, Monteiro et al. (2017) obtiveram, com a conjunção das lâminas de irrigação e densidades de plantas de 320 mm com 28 plantas m⁻² e 270 mm com 28 plantas m⁻², produtividades de grãos de 1.166,36 kg ha⁻¹ (plantio convencional) e 1.610,99 kg ha⁻¹ (plantio direto), respectivamente. Ferreira et al. (2010) observaram valores decrescentes, em função da redução das lâminas de irrigação, dos componentes de produção número de grãos por vagens, comprimento de vagens, produtividade de vagens, produtividade de grãos e peso de grãos por vagem, que alcançaram valores máximos de 3,64; 19,4 cm; 1.991,08 kg ha⁻¹; 1.599,03 kg ha⁻¹ e 2,72 g, respectivamente, todos com a lâmina total de 390,1 mm.

Silva e Neves (2011), em experimentos para avaliar a produção de feijão-caupi semi-prostrado em cultivos de sequeiro e irrigado, obtiveram produtividades

para as cultivares BRS Paraguaçu, BR 17-Gurguéia e BRS Marataoã de 831,3 kg ha⁻¹, 950,8 kg ha⁻¹, 1.025,4 kg ha⁻¹ no cultivo em sequeiro, e de 1.763,2 kg ha⁻¹, 1.298,8 kg ha⁻¹ e 1.311 kg ha⁻¹ no cultivo sob irrigação. Os cultivos sequeiro e irrigado tiveram, respectivamente, 68,1 mm de precipitação pluviométrica e 340 mm de lâmina de irrigação.

2.7 Eficiência do uso da água

O emprego de indicadores da eficiência do uso de água (EUA) é uma das formas que se pode analisar a resposta das culturas às diferentes condições de disponibilidade de água, uma vez que estes relacionam a produção de biomassa seca ou a produção de grãos com a quantidade de água aplicada ou evapotranspirada pela cultura (LIU e STUZEL, 2004; PUPPALA et al., 2005).

O conhecimento da eficiência do uso da água é uma ferramenta de fundamental importância para avaliar se a produção está sendo limitada pelo suprimento de água ou por outros fatores (ANGUS e HERWAARDEN, 2001).

A eficiência do uso da água é um indicador de viabilidade econômica da aplicação de água na irrigação em uma determinada cultura. Sendo que, quando a lâmina de irrigação que proporciona a maior produtividade de grãos da cultura for maior que a lâmina que proporciona a maior eficiência do uso da água, esta primeira só deve ser aplicada quando a água não é um fator limitante na produção ou possuir um baixo custo (ANDRADE JÚNIOR et al., 2002). Contudo, se este fato ocorrer, o mais adequado é fazer uma análise minuciosa em cima dos custos e do retorno econômico previsto de tal aplicação.

Souza et al. (2011), aferindo a resposta produtiva, a eficiência do uso de água e a viabilidade econômica de cultivos de milho e de feijão-caupi em sistemas de plantio exclusivo e consorciado na região semiárida do Nordeste brasileiro, no município de Petrolina – PE, encontraram valores máximos de EUA, para o feijão-caupi em plantio exclusivo, de 3,13 kg ha⁻¹ mm⁻¹, obtidos com a aplicação da lâmina de 420,8 mm.

Oliveira (2013), avaliando a possível interação de níveis de água e densidade de plantas do feijão-caupi sobre os parâmetros de crescimento, trocas gasosas, componentes de produção, produtividade de grãos, eficiência do uso da água e

distribuição da umidade no solo, constatou valor máximo de EUA de $4,78 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ com aplicação da lâmina de 342,97 mm e a densidade populacional de 23,3 plantas m^{-2} .

Andrade Júnior et al. (2002) estudando os efeitos da aplicação de lâminas de irrigação sobre a produção de grãos e seus componentes em cultivares de feijão caupi nas condições edafoclimáticas dos Tabuleiros Costeiros do Piauí, encontraram valores máximos de EUA de $7,18 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ para a cultivar BRS 17 Gurguéia e de $6,0 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ para a cultivar BR 14 Mulato, ambos com a aplicação da lâmina de 317,1 mm.

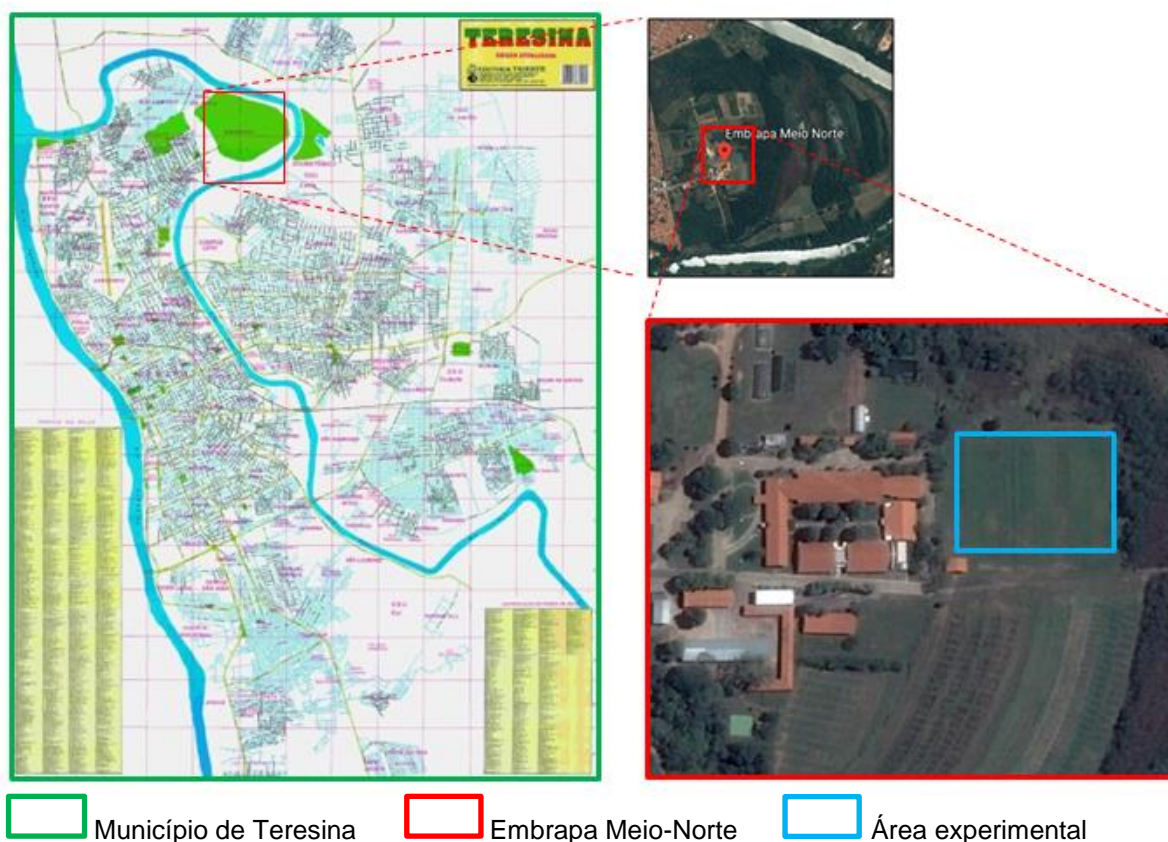
Ao avaliar os componentes de produção, produtividade e eficiência da irrigação do feijão-caupi sob lâminas de irrigação no cerrado de Roraima, Locatelli et al. (2014) constataram que para a eficiência do uso da água o efeito médio das lâminas ajustou-se a uma função polinomial quadrática, onde a maior eficiência para a cultivar BRS Guariba foi de $9,74 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, obtida com a aplicação da lâmina de 107,3 mm.

Ramos et al. (2013), ao avaliarem o efeito de diferentes lâminas de irrigação sobre a produtividade de grãos secos e a eficiência do uso da água no cultivo de feijão-caupi, em Teresina, obtiveram máxima eficiência do uso de água para produtividade de grãos secos de $4,20 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ e $4,29 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, obtidos com a aplicação das lâminas de irrigação 326 mm e 279 mm, respectivamente, para as cultivares BRS Guariba e BRS Paraguaçu.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização da área experimental

O experimento foi desenvolvido no campo experimental da Embrapa Meio-Norte (Figura 1), em Teresina, Piauí, ($5^{\circ}05' S$, $42^{\circ}29' W$ e 72 m de altitude), no período de junho a setembro de 2017, historicamente caracterizado com possibilidade mínima de ocorrer precipitação, afim de não haver interferência de chuvas na diferenciação dos regimes hídricos. O clima do município, de acordo com a classificação climática de Thornthwaite e Mather (1955) é C1sA'a', caracterizado com subúmido seco, megatérmico, com excedente hídrico moderado no verão. As médias anuais de temperatura e índice pluviométrico são de $28,1^{\circ}C$ e 1.342,4 mm, respectivamente, concentrando as maiores precipitações nos meses de janeiro a abril (BASTOS e ANDRADE JÚNIOR, 2016).



Fonte: Google Maps

Figura 1. Mapa de Teresina - PI, e imagem de satélite destacando a localização da área experimental da Embrapa Meio-Norte.

3.2 Características do solo

O solo da área experimental é classificado como Argissolo Vermelho Amarelo eutrófico (MELO et al., 2014). Foram coletadas amostras de solo nas profundidades de 0 a 10 cm e de 10 a 20 cm e realizadas as análises química e física das mesmas, no Laboratório de Solos da Embrapa Meio-Norte, Teresina – PI. As características química e granulométricas do solo da área experimental são apresentados nas tabelas 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1. Resultado da análise química do solo da área experimental, nas camadas de 0 a 10 e 10 a 20 cm. Teresina, PI, 2017

Prof. (cm)	MO g kg ⁻¹	PH H ₂ O	P mg dm ⁻³	mmol dm ⁻³						v (%)	
				K	Na	Ca	Mg	Al	H+Al		CTC
0 - 10	1,5	6,67	36,5	0,25	0,07	4,0	1,0	0,0	1,8	7,2	74,4
10 - 20	1,3	6,54	15,9	0,35	0,07	3,6	1,0	0,0	2,6	7,7	66,4

Fonte: Laboratório de solos da Embrapa Meio-Norte.

Tabela 2. Análise granulométrica do solo da área experimental. Embrapa Meio-Norte. Teresina, PI, 2015

Prof. (cm)	Granulometria (g kg ⁻¹)			
	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila
0 - 20	190,4	451,8	164,5	193,3
20 - 40	180,2	471,3	169,2	178,7

Fonte: Laboratório de solos da Embrapa Meio-Norte,

3.3 Tratamentos e delineamento experimental

Utilizou-se o delineamento experimental de blocos casualizados (DBC), no esquema de parcelas subdivididas com quatro repetições, em que as lâminas de irrigação foram dispostas nas parcelas e as densidades de plantas nas subparcelas. Cada parcela era formada por quatro subparcelas. Cada subparcela era formada por quatro linhas de plantio de 4 m de comprimento, espaçadas entre si por 0,5 m, com uma área total de 8 m², sendo a área útil da subparcela de 4 m², formada pelas duas linhas de plantio centrais.

Os tratamentos foram constituídos pela combinação de quatro lâminas de irrigação: L1 = 50%; L2 = 75%; L3 = 100% e L4 = 125% da evapotranspiração da

cultura (ETc), e quatro densidades de plantas: D1 = 120.000 plantas ha⁻¹; D2 = 160.000 plantas ha⁻¹; D3 = 200.000 plantas ha⁻¹ e D4 = 240.000 plantas ha⁻¹, que diferiram pelo espaçamento entre plantas dentro da linha (Tabela 3). A distribuição das lâminas de irrigação e das densidades populacionais nas parcelas e subparcelas, assim como suas dimensões estão apresentadas na Figura 2.

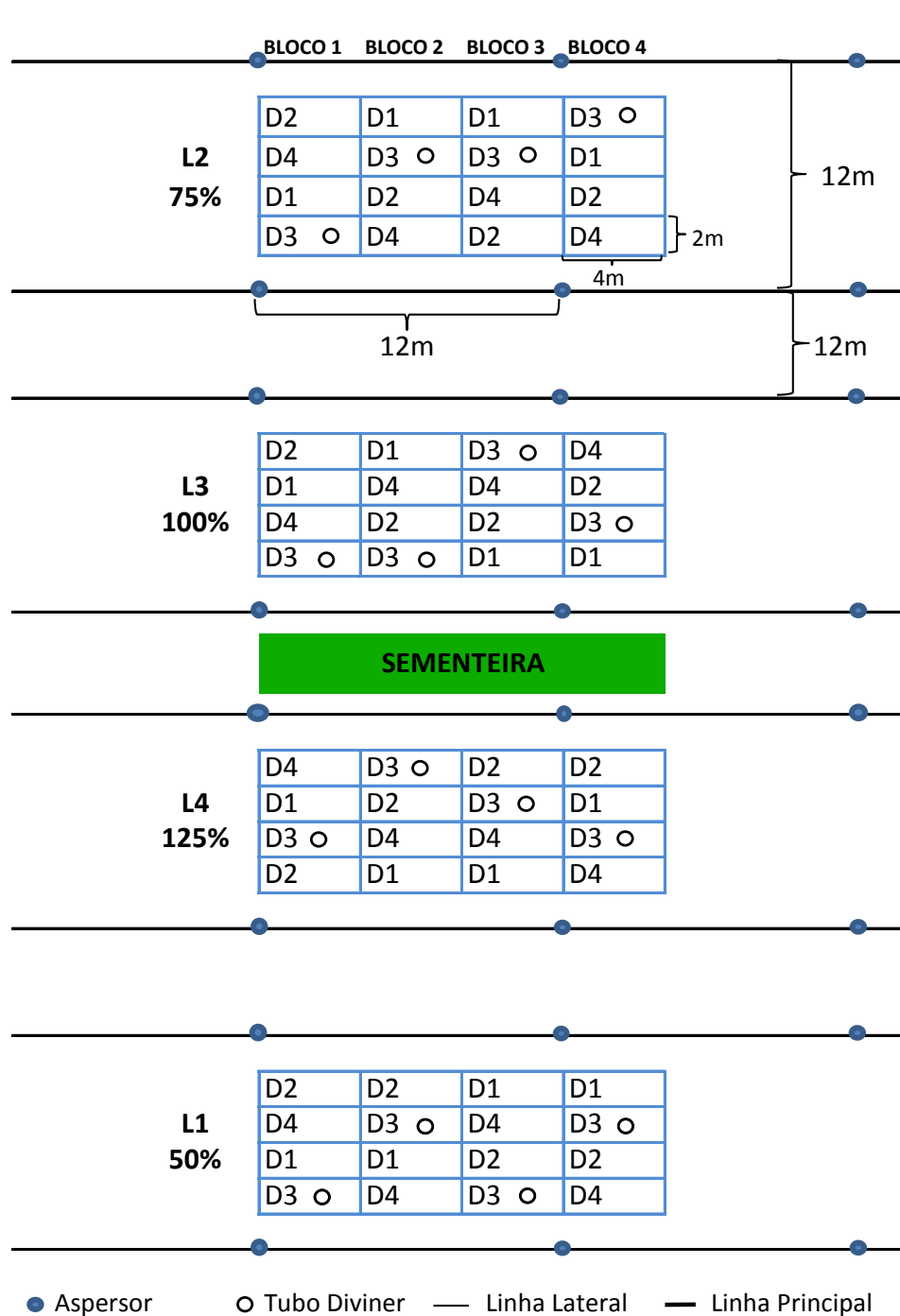


Figura 2. Esquema da distribuição das lâminas de irrigação e densidades populacionais nas parcelas e subparcelas, e localização dos tubos do Diviner.

3.4 Preparo do solo, adubação e semeadura

O preparo do solo foi realizado por meio de roço e duas gradagens cruzadas, a fim de destorroar e nivelar o solo para facilitar e aumentar a eficiência do plantio.

A adubação foi feita com base na análise de solo e segundo as exigências nutricionais do feijão-caupi. A adubação de fundação foi realizada a lanço, manualmente, aplicando 50 kg de P_2O_5 ha^{-1} e 40 kg de K_2O ha^{-1} . Também foi realizada uma adubação de cobertura, aplicando 20 kg de N ha^{-1} , a lanço, manualmente, utilizando sulfato de amônio, aos 15 dias após a emergência (DAS).

A semeadura da cultivar BRS Tumucumaque foi realizada no dia 12 de junho de 2017, utilizando uma plantadeira, marca Semeato, tracionada por trator, regulada na maior densidade entre os tratamentos (24 plantas m^{-2}), num espaçamento de 0,5 m entre fileiras e a uma profundidade de 0,03 m. Aos 8 DAS fez-se o transplântio (Figura 3A), das plantas de uma sementeira instalada entre duas faixas de plantio (Figura 2), semeada no mesmo dia das parcelas, aos pontos das parcelas que apresentaram falhas por ocasião do plantio. Aos 14 e 15 DAS foi realizado o desbaste (Figura 3B) com o intuito de padronizar as densidades avaliadas no estudo (Tabela 3).



Figura 3. Detalhes das plântulas retiradas da sementeira para transplântio (A) e das plantas desbastadas (B).

Tabela 3. Espaçamento (m) entre plantas dentro da fileira (EDF) e número de plantas por metro linear e por metro quadrado em função do arranjo populacional avaliado no estudo

Densidade de plantas ha ⁻¹	EDF (m)	Plantas m ⁻²	Plantas m ⁻¹
120.000	0,167	12	6
160.000	0,125	16	8
200.000	0,100	20	10
240.000	0,083	24	12

3.5 Tratos culturais e controle fitossanitário

O controle de plantas daninhas foi realizado por meio de uma capina manual. O controle fitossanitário de pragas foi realizado com inseticida à base de Thiamethoxam) para a prevenção do pulgão na dose de 1 g L_{H2O}⁻¹ e com o fungicida à base de Carbendazim na dose de 1,5 mL L_{H2O}⁻¹. Periodicamente fizeram-se observações nas plantas para constatação do aparecimento de possíveis doenças.

3.6 Sistema de Irrigação

As irrigações foram efetuadas por meio de um sistema de aspersão convencional fixo com aspersores espaçados em 12 x 12 m, com bocais de 4,4 x 3,2 mm, vazão de 1,59 m³ h⁻¹ e a uma pressão de serviço de 30 mca. Operavam-se duas linhas laterais por vez, possibilitando, dessa forma, irrigar diferenciadamente as faixas de plantio com regimes hídricos distintos.

Para medir as lâminas de água aplicada em cada tratamento, foram instalados 16 coletores em cada faixa de plantio (regime hídrico), totalizando 64 coletores na área experimental. Os coletores foram espaçados de 3 x 3 m de modo uniforme no centro de quatro aspersores na região mediana da linha lateral (Figura 4). As medições da água nos coletores eram realizadas imediatamente após a irrigação e os dados obtidos eram lançados em uma planilha para quantificar, posteriormente, a lâmina média total aplicada em cada parcela.

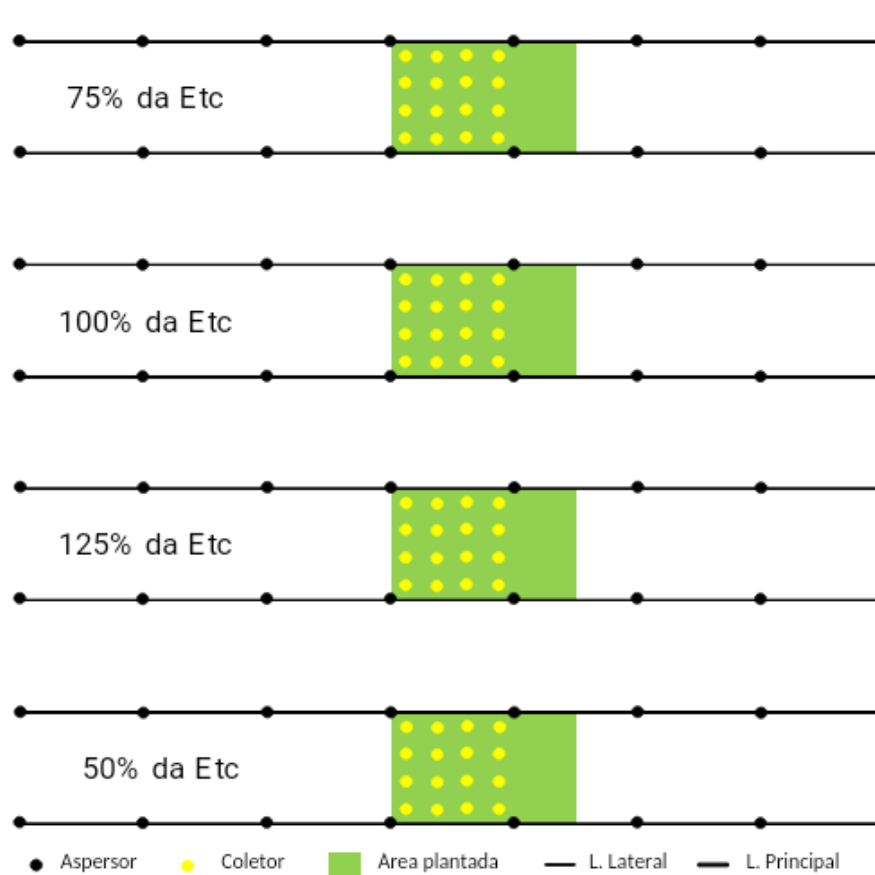


Figura 4. Localização dos coletores em relação aos aspersores e à área plantada.

3.7 Aplicação dos regimes hídricos

A diferenciação dos regimes hídricos foi feito com base no coeficiente de cultivo (K_c) do feijão caupi (Tabela 4), recomendado por Andrade Júnior (2000), e na evapotranspiração de referência (E_{To}), estimada pelo método de Penman-Monteith (ALLEN et al., 1998) .

Tabela 4. Valores de K_c para o feijão-caupi, em diferentes fases do ciclo

Fase do Ciclo	DAS	K_c
I	0 – 15	0,5
II	16 – 34	0,8
III	35 – 53	1,2
IV	54 – 67	0,8

Até os 18 DAS as lâminas foram aplicadas em quantidades iguais para todas as faixas, três vezes por semana, às segundas, quartas e sextas, repondo-se a ETc acumulada, de forma que não provocasse estresse hídrico e garantisse a germinação e o desenvolvimento inicial uniforme das plantas.

A partir dos 25 DAS, foram aplicados os regimes hídricos com a diferenciação das lâminas aplicadas, de acordo com a variação da ETc em função das lâminas pré-definidas.

3.8 Monitoramento climático

Os dados climáticos de temperatura máxima, média e mínima do ar, de umidade relativa do ar máxima e mínima e de precipitação foram coletados na estação agrometeorológica automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada na Embrapa Meio-Norte, a uma distância de 500 da área experimental. O monitoramento foi realizado desde a semeadura até a colheita da cultura.

3.9 Monitoramento do conteúdo de água no solo

O monitoramento do conteúdo de água no solo (% de volume) foi realizado por meio de uma sonda de capacitância modelo Diviner 2000® da Sentek Pty Ltda, Austrália. Para tal, instalou-se aos 22 dias após a semeadura, 16 tubos de acesso de PVC, 4 em cada regime hídrico (Figura 2), próprios para leitura do equipamento, com 0,7 m de comprimento. As leituras de frequência relativa (FR) foram realizadas de segunda à sexta-feira, pela manhã antes da irrigação e nas sextas no fim da tarde, após a irrigação. O equipamento media e registrava as frequências em camadas de solo de 0,1 em 0,1 m até a profundidade de 0,6 m.

Os valores de frequência relativa foram convertidos em percentagem de água no solo por meio da equação 1.

$$\theta_v = a FR^b \quad (1)$$

Em que:

θ_v = Umidade volumétrica ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$);

FR = Frequência relativa medida pela sonda, adimensional;

a e b = Coeficientes gerados pela regressão.

As equações de calibração, para todo o perfil em diferentes camadas foram obtidas por meio da calibração no solo da área experimental, apresentadas na Tabela 5 (SILVA et al., 2006).

Tabela 5. Equações¹ obtidas com a calibração da sonda de capacitância Diviner 2000® em diferentes camadas e para todo o perfil do solo da área experimental

Horizonte (m)	a*	b	R ²	Erro-Padrão ⁽²⁾	N	Umidade ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$)	
						Mínimo	Máximo
0,1	0,742	3,782	0,98	0,011	5	0,067	0,233
0,2	0,503	3,144	0,98	0,009	6	0,098	0,247
0,3	0,457	2,553	0,98	0,009	6	0,099	0,264
0,4	0,484	2,596	0,99	0,007	6	0,101	0,252
0,5	0,506	2,707	0,93	0,017	6	0,104	0,242
0,6	0,542	2,923	0,97	0,011	6	0,104	0,238
0,7	0,524	2,923	0,94	0,014	6	0,104	0,221
0,8	0,476	2,640	0,92	0,013	6	0,116	0,216
0,9	0,527	3,051	0,90	0,012	6	0,116	0,210
1,0	0,503	2,813	0,56	0,021	6	0,121	0,198
0 - 1,0	0,492	2,757	0,93	0,014	59	0,067	0,264

¹ Regressões feitas com o programa computacional Table Curve v.5.01 (SYSTAT, Software Inc.); (2) Erro-padrão de estimativa = $\sqrt{\text{quadrado médio dos resíduos}}$; *Os coeficientes “a” e “b” são da calibração $\theta_v = aFR^b$, em que FR, θ_v e N são a frequência relativa, umidade volumétrica ($\text{m}^3 \text{m}^{-3}$) e número de amostras usadas por análise, respectivamente.

Fonte: Silva et al. (2006)

3.10 Características avaliadas

3.10.1 Componentes de produção e produtividade de grãos

A colheita foi realizada nos dias 17 e 18 de agosto de 2017 de forma manual, aos 66 e 67 dias após a semeadura. Foram colhidas as vagens das duas fileiras centrais de cada subparcela. Foram avaliados os seguintes componentes de produção: número de vagens por planta (NVP); número de vagens por m² (NVPM2), comprimento de vagem (COMPV), peso de vagem (PV) e produtividade de grãos (PROD) corrigida para 13% de umidade, os quais foram obtidos da seguinte forma:

- NVP: equivale ao número total de vagens colhidas na área útil da subparcela dividido pelo número de plantas da mesma área;
- NVPM2: é a relação entre o número de vagens colhidas na área útil da subparcela e a área, em m², da mesma;
- COMPV: comprimento médio, em cm, de dez vagens escolhidas ao acaso na área útil da subparcela;
- PV: corresponde ao peso total das vagens secas da área útil da subparcela, em gramas;
- PROD: a produtividade real de grãos, em kg ha⁻¹, foi estimada por meio da equação 2. Em seguida mediu-se a umidade dos grãos e fez-se a correção da produtividade para um valor de umidade padrão de 13%, usando-se a equação 3.

$$PROD_R = \frac{10000 * MG}{AU} \quad (2)$$

Em que:

PROD_R = Produtividade de grãos real, em kg ha⁻¹.

MG = Massa de grãos da área útil da subparcela, em kg.

AU = Área útil da subparcela, em m².

$$PROD_C = \frac{(100-U_a)*PROD_R}{100-U_d} \quad (3)$$

Em que:

PROD_C: Produtividade de grãos corrigida, em kg ha⁻¹.

PROD_R: Produtividade de grãos real, em kg ha⁻¹.

U_a: Umidade atual dos grãos, em %.

U_d: Umidade desejada, nesse caso é igual à 13%.

3.10.2 Eficiência do uso da água (EUA)

A EUA, em kg ha⁻¹ mm⁻¹, foi calculada relacionando as produtividades de grãos secos (kg ha⁻¹) pelas lâminas de irrigação aplicadas (mm) em cada tratamento, conforme a equação 4.

$$EUA = \frac{PG_C}{L} \quad (4)$$

Em que:

EUA = Eficiência do uso de água, kg ha⁻¹ mm⁻¹;

PG_C = Produtividade de grãos corrigida, kg ha⁻¹;

L = Lâmina de irrigação aplicada (mm).

3.11 Análise estatística

Antes de proceder a análise estatística dos dados, realizou-se uma análise de resíduos dos dados para todos os caracteres, com a finalidade de avaliar a existência de dados discrepantes, a heterocedasticidade de variância e o ajuste dos erros a uma distribuição aproximadamente normal, segundo Nogueira (2007).

Utilizou-se a regressão na análise de variância seguindo o método proposto por Custódio et al. (2000), Pimentel Gomes (1990), Zimmermann (2014).

A fim de facilitar a análise e a interpretação dos resultados, adotou-se um modelo reduzido constituído por nove parâmetros contendo os efeitos isolados linear e quadrático e pelas interações duplas de primeiro e segundo grau, a seguir:

$$Y = b_0 + b_1A + b_2A^2 + b_3B + b_4B^2 + b_5AB + b_6AB^2 + b_7A^2B + b_8A^2B^2$$

Em que:

Y: variável dependente;

b0: constante da regressão;

b1, b2, ..., b8: coeficientes da regressão; e

A e B: variáveis independentes, constituídas pelos níveis de lâminas irrigação e densidade de planta, respectivamente.

Em função do teste t , obteve-se a seleção do melhor modelo com o auxílio das significâncias de cada parâmetro, aceitando nível de significância até o limite de 15% de probabilidade (CONAGIN e JORGE, 1982).

A solução mais adequada é função também da interpretação biológica dos gráficos da função de resposta.

As análises de variância e de regressão foram realizadas utilizando-se o software SAS (SAS INTITUTE, 2015).

Fez-se a determinação dos coeficientes de correlação de Pearson entre os componentes de produção (número de vagens por planta, número de vagens por m², comprimento de vagens, peso de vagens e eficiência do uso da água) e a produtividade de grãos, usando o software estatístico "R" (R CORE TEAM, 2018).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Dados climáticos

Os dados climáticos de temperatura máxima, mínima e média do ar, umidade relativa máxima e mínima do ar e precipitação pluviométrica, durante o período de condução do experimento, encontram-se nas Figuras 5, 6 e 7, respectivamente.

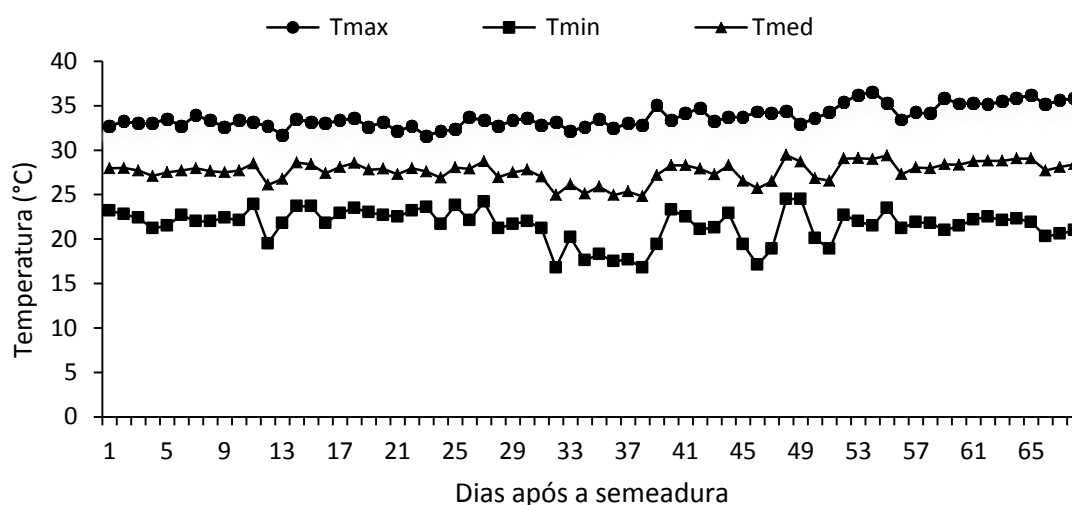


Figura 5. Valores das temperaturas do ar máxima (Tmáx), média (Tméd) e mínima (Tmín) ao longo do ciclo do feijão-caupi, cv BRS Tumucumaque, Teresina, PI, 2017.

Durante a condução do experimento a temperatura média do ar variou de 24,8 a 29,5 °C, se mantendo dentro da faixa adequada ao bom desenvolvimento da cultura do feijão-caupi que é de 18 a 34 °C (RIBEIRO, 2002). A temperatura máxima do ar teve uma variação de 31,6 a 36,5 °C. Segundo Cardoso et al., (2005), temperaturas elevadas podem afetar negativamente a fotossíntese líquida e, conseqüentemente, o crescimento e desenvolvimento do feijão-caupi, como também podem resultar na redução do número de grãos por vagem e na produtividade de grãos. A temperatura mínima variou de 16,8 a 24,5 °C. Temperaturas abaixo de 19°C podem influenciar negativamente a produtividade de grãos do feijão-caupi, retardando o aparecimento de flores e, conseqüentemente, aumentando o ciclo da cultura (LEITE et al., 1997). Apesar da temperatura máxima do ar ter atingido valores acima da faixa considerada como ideal ao feijão-caupi, provavelmente, esta não afetou significativamente o desenvolvimento e a produtividade de grãos da

cultura, uma vez que a máxima produtividade obtida ($1.694,5 \text{ kg ha}^{-1}$) está acima do potencial produtivo dessa variedade (1.110 kg ha^{-1}) avaliada por Cavalcante et al., (2014), em diversos ensaios VCU's nas regiões Norte, Nordeste e Centro-oeste.

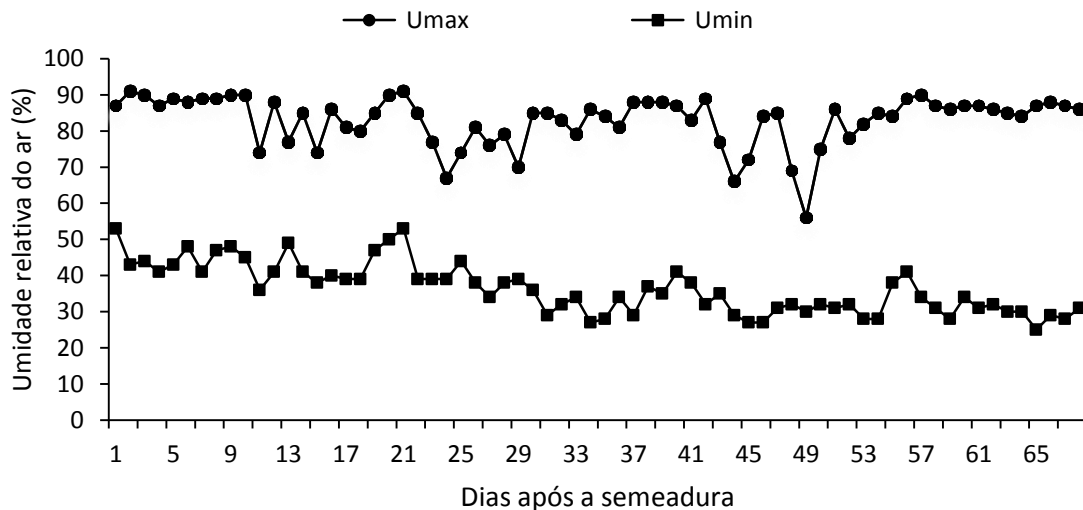


Figura 6. Variação da umidade relativa máxima e mínima do ar ao longo do ciclo do feijão-caupi. Teresina, PI, 2017.

Os dados referentes à umidade relativa do ar durante o período experimental (Figura 6) mostram uma grande variação nos valores desta, com registros de máximas de 91% (13/06 e 02/07) no 1º DAS e aos 20 DAS, e de mínima de 25% (15/08) aos 64 DAS. Quanto mais baixos os valores de umidade relativa do ar, maior a demanda evapotranspirativa. Ressalte-se que valores muito baixos, na faixa dos 20%, podem ocasionar fechamento de estômatos o que diminui a fotossíntese e a produtividade de grãos. Entretanto, esses baixos valores de UR não foram verificados durante a condução do experimento, não afetando negativamente a produtividade de grãos e os componentes de produção nos tratamentos em estudo.

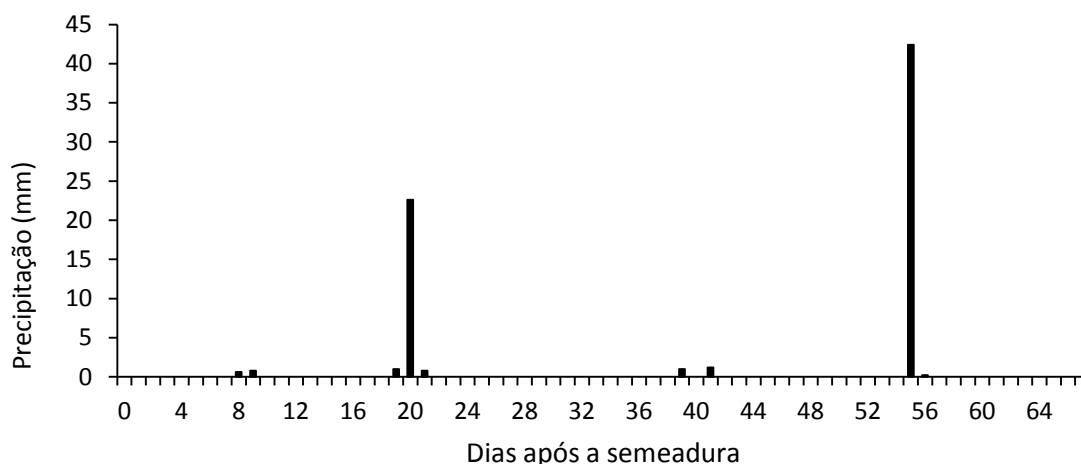


Figura 7. Registro de precipitação pluviométrica (mm) ao longo do ciclo do feijão-caupi. Teresina, PI, 2017.

Apesar de o experimento ter sido realizado em período que, historicamente, é caracterizado por não ocorrer altas precipitações pluviométricas, explorando os dados de registros de precipitação pluviométrica (Figura 7), observa-se que houve, ao longo do ciclo da cultura, um acúmulo de 70,6 mm de água decorrente de chuvas, com concentrações aos 20 e 55 DAS de 22,6mm e 42,4 mm, respectivamente.

A chuva que ocorreu aos 20 DAS (22,6 mm) não prejudicou o desenvolvimento do trabalho, tendo em vista, que esta ocorreu antes do início da diferenciação dos tratamentos de lâmina. Embora, a que ocorreu aos 55 DAS tenha precipitado um grande volume de água (42,4 mm), esta não interferiu no alcance do objetivo do trabalho, tendo em vista que coincidiu com o final da fase reprodutiva, além da cultura já ter sido submetida a 35 dias de diferenciação dos tratamentos.

4.2 Lâminas de irrigação aplicadas durante o período experimental e conteúdo de água no solo

Os valores das lâminas de irrigação aplicadas antes e durante a aplicação dos tratamentos de lâminas, bem como a precipitação pluviométrica e o total aplicado durante o ciclo da cultura são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. Lâminas totais de irrigação (mm) aplicadas em decorrência dos regimes hídricos avaliados e precipitação pluviométrica total (mm) durante o período experimental

Fases / Lâminas (mm)	L1	L2	L3	L4
Antes da diferenciação ¹	68,5	72,1	71,7	67,7
Durante a diferenciação ²	48,7	90,8	121,2	150,3
Precipitação pluviométrica	70,6	70,6	70,6	70,6
Total aplicado	187,7	233,5	263,5	288,7

¹ Período compreendido entre a semeadura e os 18 dias após semeadura (DAS); ² Período dos 25 DAS aos 68 DAS. As lâminas L1, L2, L3 e L4 foram aplicadas com base em diferentes percentuais da ETc (50%, 75%, 100% e 125%)

Até os 18 DAS buscou-se aplicar lâminas de irrigação uniformes, repondo-se a ETc dos dias anteriores não irrigados, o que garantiu a germinação e o desenvolvimento inicial das plantas do feijão-caupi sem provocar estresse hídrico às plantas.

A partir dos 25 DAS iniciou-se a diferenciação das lâminas com base em diferentes percentuais da ETc: 50% (L1), 75% (L2), 100% (L3) e 125% da ETc (L4), que resultaram nas lâminas de 48,7; 90,8; 121,2 e 150,3 mm, respectivamente. Considerando como 100% a lâmina 3 (121,2 mm) as lâminas 1, 2 e 4 corresponderam a 40%, 75% e 124%, respectivamente, portanto bem próximo do percentual de variação preestabelecido para as lâminas. Esses percentuais foram suficientes para proporcionar uma nítida variação de umidade do solo entre os tratamentos e permitir diferenças significativas entre produtividade de grãos e componentes de produção (Tabela 8).

Nas Figuras 8 e 9 encontram-se as variações da umidade do solo nos diferentes regimes hídricos em função da ETc, respectivamente, nas camadas de 0 a 20 cm e de 20 a 40 cm de profundidade.

Observa-se que aos 22 DAS, quando se iniciaram as medições de umidade do solo, os teores de água em todas as faixas encontravam-se próximos. Tal fato ocorreu devido dois fatores, até então não tinha sido feita nenhuma diferenciação de lâminas nas faixas e devido à chuva de 22,6 mm que aconteceu dois dias antes. Logo que se iniciou a aplicação da diferenciação das lâminas, se pôde observar a diferenciação, também, dos teores de água no solo.

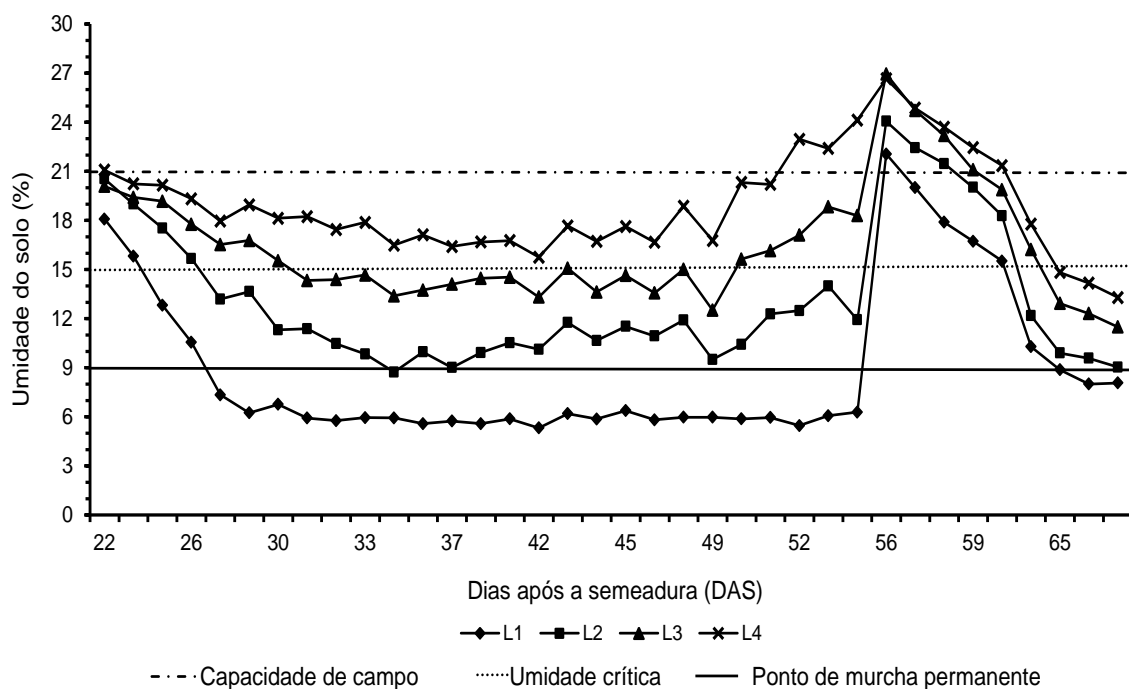


Figura 8. Variação da umidade do solo para profundidade de 0 – 20 cm, em função das lâminas de irrigação aplicadas (L1, L2, L3 e L4) com base em diferentes percentuais da ETc (50%, 75%, 100% e 125%). Teresina, PI, 2017.

Portanto, a umidade do solo na faixa de maior lâmina (L4) ficou entre a umidade crítica (UC) e a capacidade de campo (CC), na maior parte deste período. As faixas intermediárias L2 e L3 se concentraram entre a umidade crítica (CC) e o ponto de murcha permanente (PMP), sendo que a L2 atingiu em alguns dias valores de umidade abaixo do PMP. E a faixa de menor percentagem da ETc (L1), que caracterizou o maior déficit hídrico, apresentou umidade baixa, se mantendo abaixo do PMP. No entanto, as plantas desse tratamento sobreviveram e produziram mesmo nessas condições, por conta da umidade mais elevada nas camadas mais profundas do solo (Figura 9), já que o sistema radicular do feijão-caupi atinge profundidades superiores à 20 cm.

Constata-se uma elevação e uniformização da umidade em todas as faixas no 56° DAS. Esse fato é explicado pela precipitação de 42,4 mm que aconteceu no dia anterior (Figura 7). Os resultados do trabalho não foram afetados por essa chuva, pois a mesma ocorreu no final da fase reprodutiva do feijão-caupi, marcada pela senescência das plantas (BASTOS et al., 2008) e, segundo Bezerra et al. (2003), a fase mais crítica da cultura ao estresse hídrico é a de enchimento de grãos.

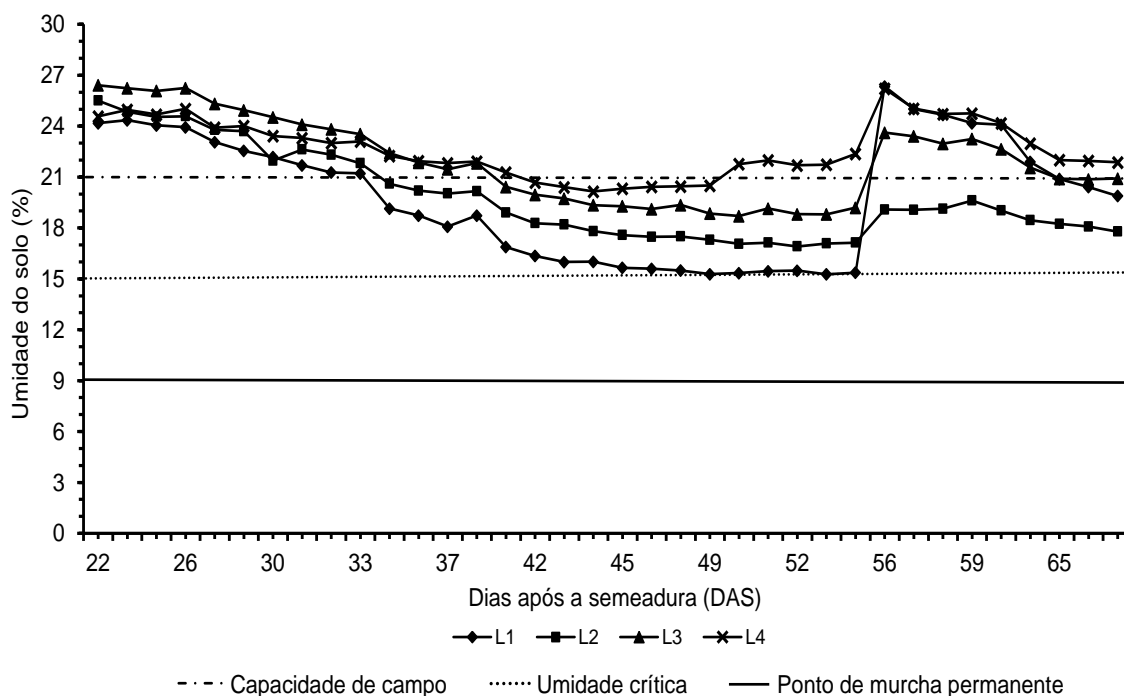


Figura 9. Variação da umidade do solo para profundidade de 20 – 40 cm, em função das lâminas de irrigação aplicadas (L1, L2, L3 e L4) com base em diferentes percentuais da ET_c (50%, 75%, 100% e 125%). Teresina, PI, 2017.

Na Figura 9, pode-se verificar que as diferenças de umidade entre os tratamentos nas camadas inferiores do solo (20 a 40 cm de profundidade) foram menores que as observadas nas camadas mais próximas à superfície do solo (0 a 20 cm de profundidade). Isso ocorreu devido à menor dinâmica da água nas camadas mais profundas do solo.

Constata-se que o teor de água no solo nessa camada, em todos os regimes hídricos atingiram valores próximos ou superiores à umidade crítica (15%). Umidade do solo em camadas mais profundas estimula o crescimento das raízes para aumentar sua capacidade em absorção de água. Provavelmente, isso justifica a sobrevivência e produtividade das plantas submetidas ao regime hídrico baseado em 50% da ET_c , cuja umidade do solo nas camadas superiores chegou a valores abaixo do ponto de murcha permanente (9%).

4.3 Componentes de produção, produtividade de grãos e eficiência do uso da água

Quadrados médios e coeficientes de variação (CV) para número de vagens por planta (NVP), número de vagens por m² (NVPM2), peso de vagens (PV; em g), comprimento de vagens (COMPV; em cm), produtividade de grãos (PROD; em kg ha⁻¹) e eficiência do uso da água (EUA; em kg ha⁻¹ mm⁻¹), em função das lâminas de irrigação (L; em mm) e densidades de plantas (D; em plantas m⁻²) (Tabela 7).

Tabela 7. Resumo da análise de variância (quadrados médios) do feijão-caupi cultivar BRS Tumucumaque, referentes aos componentes de produção: número de vagens por planta (NVP), número de vagens por metro quadrado (NVPM2), peso de vagem (PV), comprimento de vagem (COMPV), produtividade (PROD) e eficiência do uso da água (EUA), avaliadas em plantio convencional, em Teresina, PI, 2017

FV	GL	Quadrados médios ¹					
		NVP	NVPM2	PV	COMPV	PROD	EUA
Bloco	3	0,0410 ^{ns}	0,7430 ^{ns}	13320,547 ^{ns}	0,3349 ^{ns}	45234,798 ^{ns}	0,6854 ^{ns}
Lâminas (L)	3	1,6631 ^{**}	29,1835 ^{**}	686720,182 ^{**}	2,2716 [*]	1880428,98 ^{**}	6,2348 [*]
Erro (a)	9	0,0301	0,5569	19567,405	0,6888	62787,299	1,0091
Densidade (D)	3	0,4527 ^{**}	2,1818 ^{**}	37653,516 ^{**}	0,4531 ^{ns}	112983,435 ^{**}	2,1132 ^{**}
L x D	9	0,0249 ^{ns}	0,4081 [*]	4028,516 ^{ns}	1,2164 [*]	9142,253 ^{ns}	0,1729 ^{ns}
Erro (b)	36	0,0152	0,1864	3087,543	0,4585	11651,454	0,2122
CV (a)	-	8,9293	9,1454	21,4458	4,2277	20,5905	20,3284
CV (b)	-	6,3423	5,2916	8,5189	3,4495	8,8699	9,3212

¹: NVP e NVPM2, dados transformados para \sqrt{x} .

*: significativo a (0,01 < p ≤ 0,05); **: significativo a (p ≤ 0,01); ^{ns}: não significativo a (p > 0,05), pelo teste F.

Verifica-se que houve interação significativa (0,01 < p ≤ 0,05) entre os fatores lâmina de irrigação e densidade de plantas apenas para NVPM2 e COMPV. Contudo, Pimentel-Gomes (1990) afirma que quando pelo menos um dos fatores em estudo é constituído por níveis quantitativos, deve-se estimar equações de resposta para as demais. Logo, no presente estudo, onde os dois fatores em questão são quantitativos, foram estimadas as equações de respostas dos caracteres avaliados e os respectivos níveis de significâncias de seus coeficientes.

Na Tabela 8 estão apresentadas as equações de resposta das características avaliadas em função das lâminas de irrigação e das densidades de plantas, bem como os valores de lâmina (L) e densidades (D) que proporcionaram os respectivos

valores máximos estimados dentro do limite estudado e, ainda, o valor do coeficiente de determinação (R^2), indicando o quanto o modelo consegue explicar os valores observados.

Tabela 8. Equações de resposta do número de vagens por planta (NVP), número de vagens por metro quadrado (NVPM2), comprimento de vagem (COMPV; cm), peso de vagens (PV), produtividade de grãos (PROD) e eficiência do uso da água (EUA) em função das lâminas de irrigação (L) e densidade de plantas (D) de feijão-caupi, cultivar BRS Tumucumaque, Teresina-PI, 2017¹

Características	Equação de regressão em função das lâminas de irrigação e densidades de plantas	L	D	Valor estimado	R^2
NVP	$y = 5,60546 - 0,04095^{\circ}L + 0,04305^{ns}D + 0,00010294^{\circ}L^2 - 0,0121^*D^2 + 0,0000885^*LD^2 - 0,00000019^*L^2D^2$	288,7	12,0	2,537	0,98**
iNVPM2	$y = 3,06305 + 1,86553^*D - 0,09083^*D^2 - 0,01449^*LD + 0,0007285^*LD^2 + 0,00003645^{**}L^2D - 0,00000166^*L^2D^2$	288,7	19,4	10,07	0,98**
COMPV	$y = -19,485 + 0,15^{\circ}L + 6,21478^{***}D - 0,2056^{**}D^2 - 0,03289^{**}LD + 0,00121^*LD^2 + 0,00003465^{\circ}L^2D - 0,00000159^{\Delta}L^2D^2$	288,7	12,0	20,53	0,70**
PV	$y = 44,14062 + 244,05286^*D - 10,72356^*D^2 - 2,15805^*LD + 0,09571^*LD^2 + 0,00569^{**}L^2D - 0,00023328^{**}L^2D^2$	288,7	18,8	939,89	0,94**
PROD	$y = 1500,10356 - 19,78591^{ns}L + 0,05748^{\circ}L^2 + 109,28874^{***}D - 2,67681^{**}D^2$	288,7	20,4	1694,46	0,93**
EUA	$y = 9,66047 - 0,08384^{\Delta}L + 0,00021449^{\circ}L^2 + 0,25377^{**}D - 0,00002258^{**}LD^2$	288,7	19,5	5,804	0,70**

¹: NVP e NVPM2, dados transformados para \sqrt{x} .

Níveis de significância dos coeficientes da equação de regressão: ***: significativo ($P \leq 0,001$); **: significativo ($0,01 \geq P > 0,001$); *: significativo ($0,05 \geq P > 0,01$); ^o: significativo ($0,10 \geq P > 0,05$); ^{\Delta}: significativo ($0,15 \geq P > 0,10$); ^{ns}: não significativo ($P > 0,15$), pelo teste "t". Níveis de significância para o coeficiente de determinação (R^2): *: significativo ($0,01 \geq P > 0,05$); **: significativo ($P \leq 0,01$); ^{ns}: não significativo ($P > 0,05$), pelo teste "F".

4.3.1 Numero de vagens por planta (NVP)

Dentre os componentes de produção do feijão-caupi, o NVP é o um dos mais importantes, pois Andrade Júnior et al. (2002), analisando níveis de irrigação para a cultura, constatou que este é o que mais influencia a produtividade.

O componente NVP apresentou valor máximo de 6,4 com a combinação da lâmina de 288,7 mm e a densidade de 12 plantas m^{-2} (Figura 10). Observa-se que essa combinação é resultado da maior lâmina de água com a menor densidade populacional em estudo.

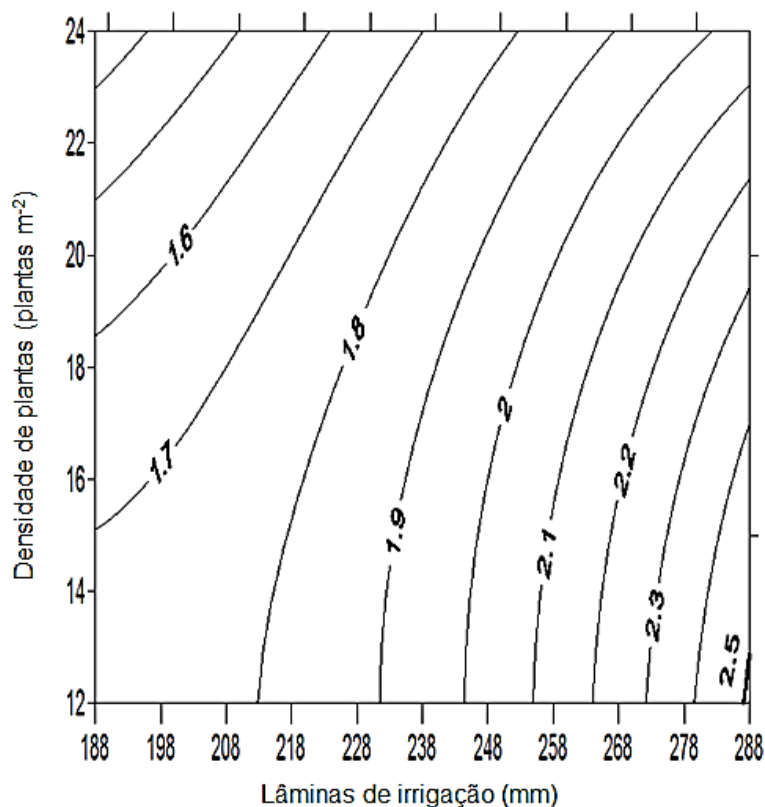


Figura 10. Superfície de resposta do número de vagens por planta (NVP) do feijão-caupi, cultivar BRS Tumucumaque, em função de lâminas de irrigação e densidade de plantas. Dados transformados para \sqrt{x} . Teresina, PI, 2017.

Constata-se que, quanto maior a população de plantas, menor a produção de vagens por planta, fato observado por diversos autores (BEZERRA et al, 2014; OLIVEIRA et al., 2015 e MONTEIRO et al., 2017). Isto é justificado pela alta competição entre e intraplanta nas altas densidades populacionais, fato que é relacionado ao abortamento de flores e à redução do número de ramos laterais, e, segundo Bezerra et al. (2009), a grande maioria das vagens de feijão-caupi é produzida nos ramos laterais. Além disso, o déficit hídrico reduz o crescimento foliar, afetando de forma negativa a produção de fotoassimilados e, conseqüentemente, reduzindo o número de vagens.

Segundo Leite et al. (2000), este comportamento pode ser explicado como um dos mecanismos de tolerância à seca utilizado pela cultura, em busca de melhores condições para superar a falta de água, produzindo menor quantidade de vagens.

Resultado semelhante ao do presente trabalho foi observado por Oliveira et al. (2015), que ao estudarem a interação de níveis de água e densidade de plantas no crescimento e na produtividade de grãos do feijão-caupi, BRS Itaim, em Teresina-

PI, observaram valores máximos de 5,01 vagens por planta, obtidas com uma lâmina de 393,53 mm e densidade de aproximadamente 110.000 plantas ha⁻¹, obtidos com a combinação da maior lâmina de irrigação e da menor densidade de plantas estudada pelos mesmos.

Redução do NVP com aumento da densidade de plantas, também foi observado por Cardoso, Melo e Ribeiro (2018), que ao avaliarem o desempenho produtivo de três cultivares de feijão-caupi de diferentes tipos de portes em função da densidade populacional, na região do MATOPIBA, concluíram que o número de vagens por planta respondeu de maneira linear decrescente ao aumento da densidade de plantas indicando que para o aumento de uma planta por metro quadrado, havia um decréscimo de 0,213, 0,166 e 0,378 vagens por planta para as cultivares de porte ereto, semiereto e semiprostrado, respectivamente.

Tagliaferre et al. (2013), estudando o efeito de diferentes lâminas de irrigação e doses de nitrogênio sobre as características agronômicas do feijão-caupi inoculado (BRS Guariba), obtiveram efeito quadrático para a variável NVP em função das lâminas de irrigação, onde, o maior NVP foi de 16,6, com a aplicação da lâmina de irrigação de 498,66 mm. O alto valor de NVP obtido pelos autores, em relação ao presente trabalho (6,4), pode estar associado à baixa densidade de plantas utilizada (5,7 plantas m⁻²).

4.3.2 Número de vagens por metro quadrado (NVPM2)

Para NVPM2 obteve-se o maior valor de 10,07 vagens m⁻² (correspondente a 101,4 vagens m⁻²) com a combinação da lâmina de 288,7 mm e a densidade de 19,4 plantas m⁻² (Figura 11). Nota-se que, dentro do intervalo estudado, o NVPM2 é maior, quanto maior for a lâmina de irrigação aplicada, no entanto, o mesmo não acontece em relação à densidade de plantas, onde o NVPM2 tende a crescer até uma determinada densidade (19,4 plantas m⁻²), e depois, volta a decrescer.

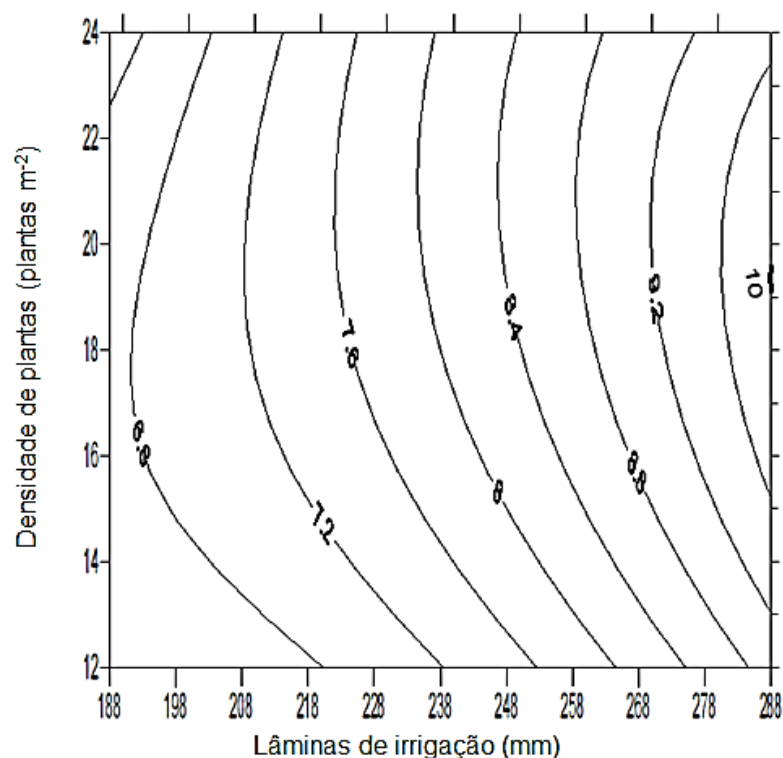


Figura 11. Superfície de resposta do número de vagens por metro quadrado (NVPM2) do feijão-caupi, cultivar BRS Tumucumaque, em função de lâminas de irrigação e densidade de plantas. Dados transformados para \sqrt{x} . Teresina, PI, 2017.

Diferente do NVP, o NVPM2 cresce com o aumento da densidade até um ponto ótimo e tende a cair, porque, embora a maior densidade populacional de plantas promova redução na produção de fotoassimilados (competição intraespecífica) e, conseqüentemente, no número de vagens por planta, nesse caso, verifica-se um equilíbrio em decorrência do maior número de plantas por unidade de área, logo, apesar das plantas produzirem menos vagens, existem mais plantas por área plantada.

Cardoso, Melo e Ribeiro (2018), avaliando o desempenho produtivo de cultivares de feijão-caupi de diferentes portes constataram que o número de vagens por área foi o caráter mais correlacionado com o rendimento de grãos, independentemente do tipo de porte da planta, e que o mesmo atingiu um máximo de 70,12 vagens m^{-2} , com uma densidade de 19,6 plantas m^{-2} , na cultivar de porte ereto e de 62,6 vagens m^{-2} , com 19,4 plantas m^{-2} , na cultivar de porte semiereto. Resultados inferiores aos do presente trabalho, onde o valor máximo para esta variável (101,4 vagens m^{-2}) foi obtido com a mesma densidade de plantas (19,4 plantas m^{-2}). Estes valores menores podem ser explicados pela ocorrência de estresse hídrico durante as fases de florescimento e de enchimento de vagens.

Valores semelhantes ao do presente estudo, foram obtidos por Monteiro et al. (2017), ao avaliarem os efeitos de regimes hídricos e densidades de plantas sobre os componentes de produção e produtividade de grãos de feijão-caupi, em dois sistemas de cultivo, onde encontraram um valor máximo de 105 vagens m^{-2} , em plantio direto, com a associação de 28 plantas m^{-2} e lâmina de 256 mm. Nesse caso, valor semelhante de NVPM2 foi alcançado com uma densidade de plantas maior. Este fato pode estar associado ao porte da planta, onde variedades de porte ereto possibilitam uma maior densidade de plantas.

4.3.3 Comprimento de vagens (COMPV)

A superfície de resposta para o comprimento de vagens é apresentada na Figura 12. Observa-se que o valor máximo para tal componente foi de 20,5 cm, onde foi obtido com a conjunção da lâmina de 288,7 mm e a densidade de 12 plantas m^{-2} , concordando com as características da cultivar BRS Tumucumaque (21 cm) apresentadas por Cavalcante et al. (2014).

O menor valor de COMPV observado foi de 18,9 cm, obtido com a lâmina de 188 mm e a mesma densidade de plantas que proporcionou o valor máximo (12 plantas m^{-2}). Logo, percebe-se que o COMPV foi mais influenciado pelas lâminas de irrigação do que pelas densidades de plantas. Corroborando com Bezerra et al. (2014), que constataram que o comprimento de vagem não foi afetado significativamente pelas densidades de plantas. Tal resultado pode ser explicado pelo fato desse componente estar mais relacionado às características genéticas da cultivar do que aos fatores associados ao ambiente.

Valores crescentes de COMPV com o aumento da lâmina de irrigação também foram observados por Costa Junior (2015) ao pesquisar o desempenho agrônomo do feijão-caupi sob diferentes regimes hídricos e espaçamentos entre fileiras de plantas.

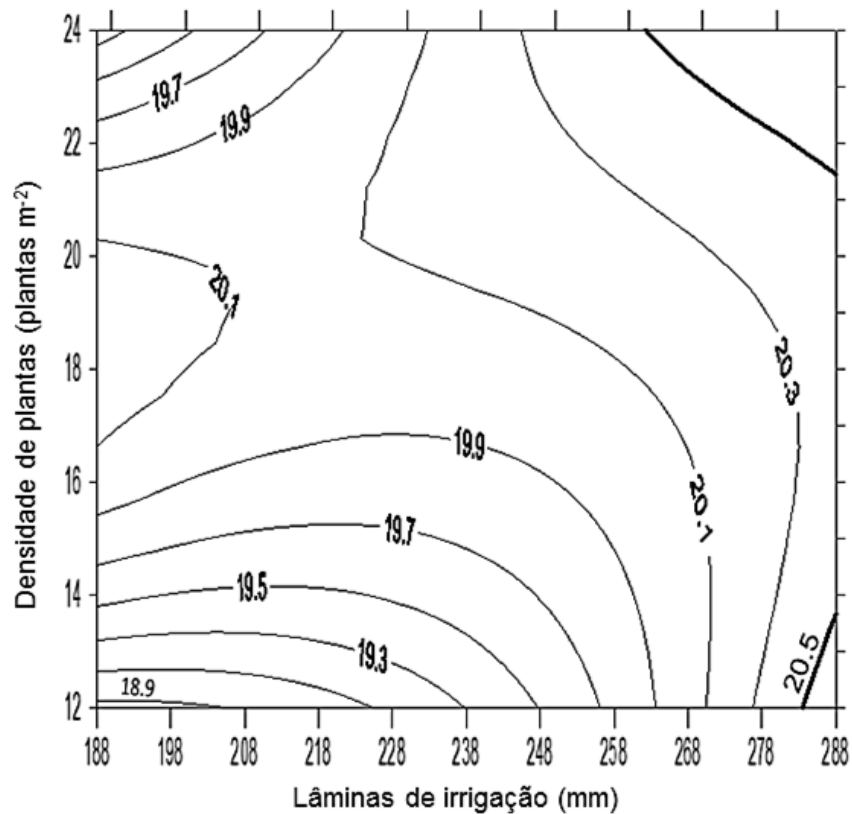


Figura 12. Superfície de resposta do comprimento de vagem (COMPV) do feijão-caupi, cultivar BRS Tumucumaque, em função de lâminas de irrigação e densidade de plantas. Teresina, PI, 2017.

Os resultados encontrados, em geral, foram semelhantes aos encontrados por Silva e Neves (2011), que avaliaram 20 cultivares de feijão-caupi e relataram comprimento médio de vagem de 19,7 cm.

Silva et al. (2013), ao avaliarem o potencial de cultivares de feijão-caupi irrigado para a produção de grãos verdes nas condições de Serra Talhada – PE, encontraram valores de COMPV próximos ao do presente estudo (20,5 cm), que foram de 20,91; 20,78 e 20,24 cm para as cultivares BRS Tumucumaque, Sempre-verde e BRS Guariba, respectivamente.

4.3.4 Peso de vagens (PV)

A superfície de resposta para o componente peso de vagens é apresentada na Figura 13. Nota-se que o valor máximo foi de 939,89 g área útil⁻¹ (equivalente a

2.349,7 kg ha⁻¹), alcançado com a aplicação da lâmina de 288,7 mm e a densidade de 18,8 plantas m⁻².

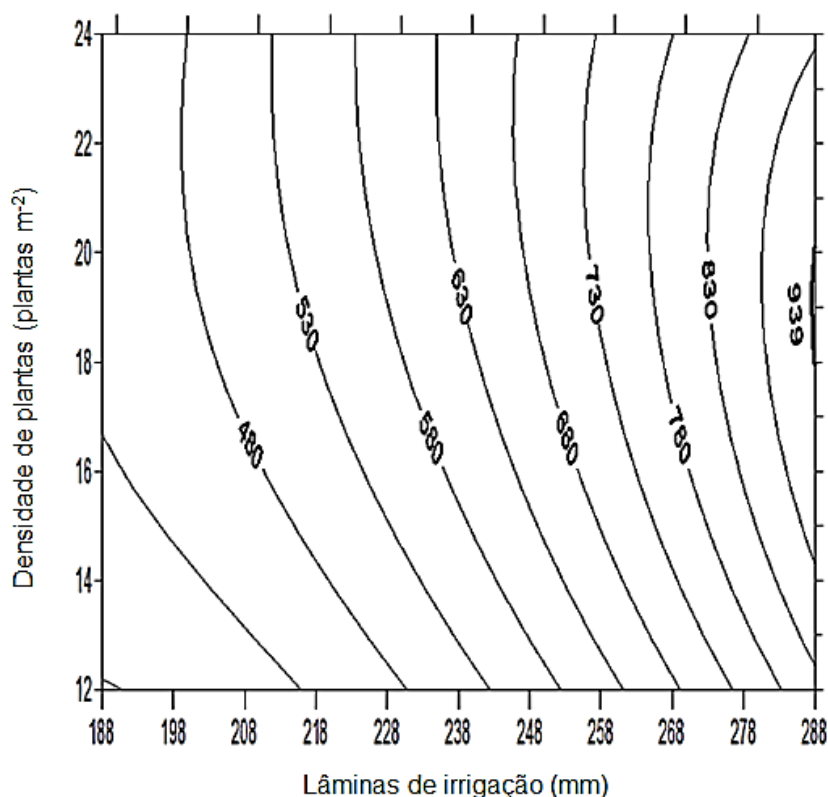


Figura 13. Superfície de resposta do peso de vagens (PV) por parcela do feijão-caupi, cultivar BRS Tumucumaque, em função de lâminas de irrigação e densidade de plantas. Teresina, PI, 2017.

Oliveira et al. (2015), avaliando a influência de níveis de água e densidade de plantas no crescimento e produtividade de grãos do feijão-caupi, cultivar BRS Itaim, na mesma área experimental da Embrapa Meio-Norte, encontraram resultado semelhante para o componente PV, em que obtiveram 2.248,16 kg ha⁻¹ com a lâmina de irrigação de 393,53 mm e densidade de plantas de 25,4 plantas m⁻².

Resultado semelhante foi encontrado por Ferreira et al. (2010), que aferindo o desempenho produtivo e a eficiência do uso de água do consórcio milho – feijão caupi em resposta à disponibilidade hídrica do solo, encontraram efeito linear para este componente em função das lâminas aplicadas no cultivo solteiro do feijão-caupi, onde o valor máximo de PV obtido foi de 1.991,08 kg ha⁻¹, aplicando-se uma lâmina de 390,1 mm.

Santos (2013) encontrou valores de PV inferiores aos encontrados no presente estudo, quando avaliou o efeito da densidade de plantas sobre o

rendimento de grãos e componentes de produção do feijão-caupi, BRS Marataoã, em condição de sequeiro, no Agreste Paraibano, onde a máxima produtividade de vagens secas foi de 1.321 kg ha⁻¹, alcançada com a densidade de 176 mil plantas por hectare. Houve um incremento de 27,93 % dessa em relação à menor densidade de plantas (20 mil plantas ha⁻¹). Incremento muito baixo, tendo em vista que o aumento da densidade foi de 880%. Este resultado pode ser explicado pelo fato do trabalho ter sido conduzido em regime de sequeiro, onde a água pode ter sido um fator limitante à produtividade de vagens secas, mesmo com o aumento da densidade populacional.

4.3.5 Produtividade de grãos (PROD)

A superfície de resposta para a produtividade de grãos é apresentada na Figura 14. O valor máximo foi de 1.694,5 kg ha⁻¹, obtido com a combinação da lâmina de 288,7 mm e a densidade de 20,4 plantas m⁻².

Examinando a superfície de resposta deste componente é notório que o mesmo foi mais influenciado pelas lâminas de irrigação do que pelas densidades de plantas. Isso pode ser constatado porque as isolinhas de 1.000, 1.100, 1.200, 1.300, 1.400 e 1.500 kg ha⁻¹ são obtidas com densidades variando de 12 a 24 plantas m⁻². Resultados contrastantes foram observados por Bezerra et al. (2012) e Bezerra et al. (2014), onde mostraram que a produtividade de grãos apresentou efeito linear decrescente em função da densidade de plantas, com redução nas médias de 1.774,5 a 730,5 kg ha⁻¹ e de 1.274,91 e 509,35 kg ha⁻¹, respectivamente, ao comparar as densidades de 100 e 500 mil plantas ha⁻¹ em ambos os trabalhos. Essas reduções verificadas nas produtividades de grãos em resposta ao adensamento são consequências do aumento da competição intraplanta imposta nas maiores densidades (500.000 plantas ha⁻¹), que por sua vez, foram duas vezes maiores que as densidades adotadas neste trabalho (240.000 plantas ha⁻¹).

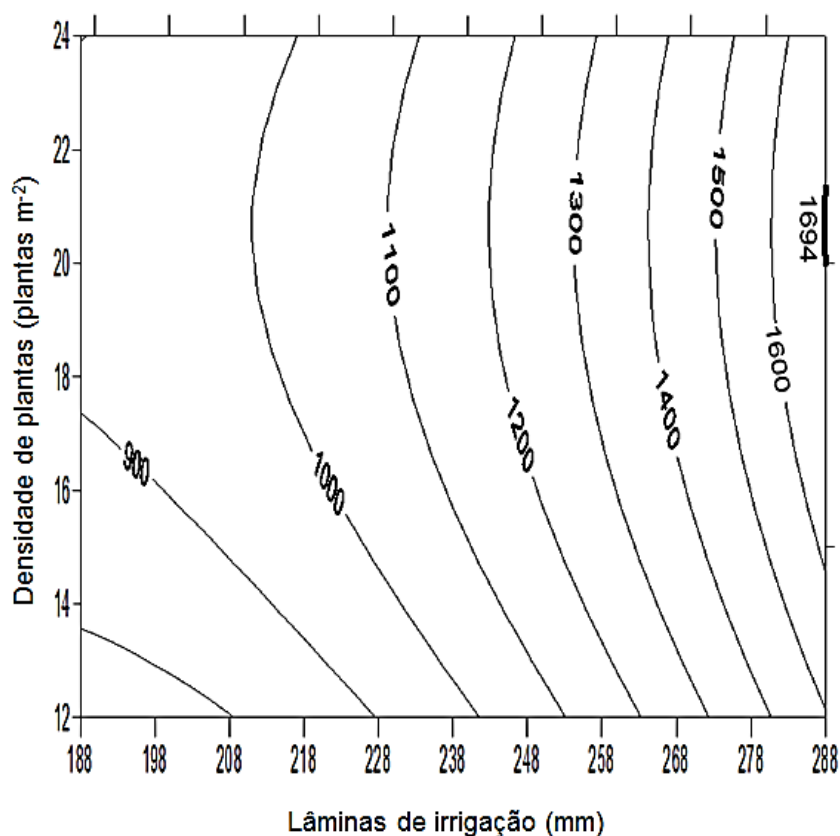


Figura 14. Superfície de resposta da produtividade de grãos (PROD) do feijão-caupi, cultivar BRS Tumucumaque, em função de lâminas de irrigação e densidade de plantas. Teresina, PI, 2017.

As maiores produtividades de grãos foram obtidas com as maiores lâminas de irrigação. Tal fato pode ser explicado pelo efeito deletério do déficit hídrico imposto pelas menores lâminas, reduzindo o potencial hídrico das plantas, diminuindo a condutância estomática e a transpiração foliar, onde, conseqüentemente, há aumento da temperatura foliar e redução na produção de fotoassimilados, causando redução na produtividade da cultura (TAIZ e ZEIGER, 2013).

Corroborando com os resultados deste trabalho, Costa Junior (2015) obteve PROD de 365,9 kg ha⁻¹ e 1.519,1 kg ha⁻¹, respectivamente com a aplicação dos tratamentos de menor (198,3 mm) e maior lâmina (376,4 mm) e Ferreira et al. (2010) obtiveram produtividade de grãos mínima e máxima de 470,78 e 1.599,03 kg ha⁻¹, com as lâminas de 259,1 e 390,1 mm, respectivamente.

Locatelli et al. (2014) analisando a interação de diferentes cultivares de feijão-caupi com lâminas de irrigação no cerrado roraimense, concluíram que não houve influência das lâminas de irrigação para a cultivar BRS Pajeú. Todavia, as cultivares BRS Guariba e BRS Novaera sofreram efeito significativo das lâminas de irrigação, e

obtiveram produtividades de grãos de 1.275,19 e 1.504,98 kg ha⁻¹ com as lâminas 157,27 mm e 199 mm, respectivamente. Este efeito da cultivar BRS Pajeú pode estar relacionado ao sistema de cultivo sobre a palhada, utilizado no referido trabalho, em que, segundo consta no mesmo, a cobertura de palhada reduz em até 50% a evaporação do solo.

Nascimento et al. (2011), ao avaliarem o efeito do déficit hídrico sobre as características fisiológicas e produtivas do feijão-caupi para selecionarem genótipos tolerantes à seca em dois experimentos (um com déficit hídrico e outro sem) nas condições de solo e clima de Teresina – PI, constataram que a produtividade média de grãos foi influenciada pelo déficit hídrico em todos os genótipos estudados, e que a PROD média dos genótipos sob irrigação plena alcançou 1.167 kg ha⁻¹, enquanto no experimento sob deficiência hídrica a PROD foi de 466 kg ha⁻¹, o que resultou em uma redução de 60% na PROD, quando comparado os dois tipos de cultivo. Redução superior ao do presente trabalho, que foi de 46%, quando comparada as PROD's obtidas com a aplicação da maior (1.694 kg ha⁻¹) e da menor lâmina (927 kg ha⁻¹) em estudo, associadas à densidade que proporcionou maior PROD (20,4 plantas m⁻²).

4.3.6 Eficiência do uso da água (EUA)

A superfície de resposta para a eficiência do uso da água (EUA) é apresentada na Figura 15. Observa-se que o valor máximo alcançado nesta variável foi de 5,8 kg ha⁻¹ mm⁻¹, que foi obtido com a lâmina de 288,7 mm e a densidade de 19,5 plantas m⁻², ou seja, em um hectare, para cada milímetro de água aplicado, produziu-se 5,8 kg de grãos secos de feijão-caupi.

Nota-se que os valores máximos de EUA e de PROD foram obtidos com a aplicação da mesma lâmina de irrigação e com densidades bem próximas, 19,5 e 20,4 plantas ha⁻¹, respectivamente. Contudo, vale ressaltar que nem sempre os tratamentos que proporcionam as maiores produtividades de grãos são os mesmos que viabilizam os maiores valores de eficiência do uso da água.

Andrade Júnior et al. (2002) afirmam que quando o valor máximo de EUA é obtido com uma lâmina inferior àquela que proporciona maior produtividade de grãos, a aplicação de lâminas visando o maior rendimento de grãos só deve ser

economicamente recomendada caso a água não seja um fator limitante à produção agrícola ou tiver baixo custo.

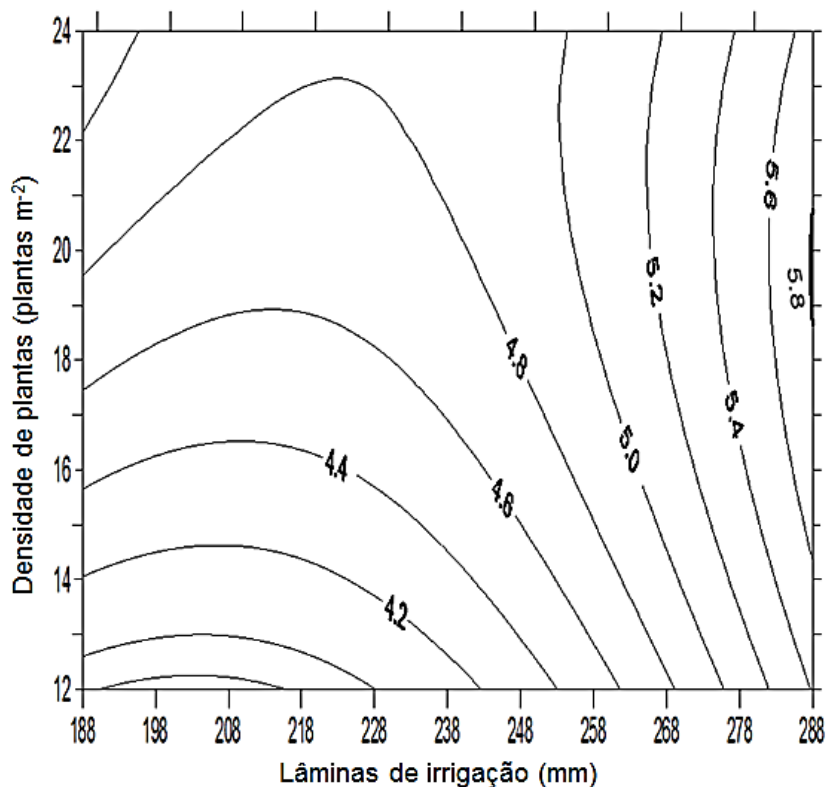


Figura 15. Superfície de resposta da eficiência do uso da água (EUA) do feijão-caupi, cultivar BRS Tumucumaque, em função de lâminas de irrigação e densidade de plantas. Teresina, PI, 2017.

Costa Júnior (2015) observou resultado semelhante, ao avaliar o desempenho agrônômico do feijão-caupi, cultivar BRS Tumucumaque, verificou um valor máximo de eficiência de uso da água de $5,4 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, com a aplicação da lâmina de 305,4 mm.

Resultados semelhantes ao do presente trabalho foram observados por Andrade Júnior et al. (2002), que observaram valor máximo de EUA de $6,6 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, com aplicação da lâmina de 306,3 mm, considerando a média de duas cultivares.

Resultados análogos foram obtidos por Oliveira (2013), que obteve o valor máximo de eficiência do uso da água de $4,78 \text{ kg ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$, aplicando a lâmina de 342,97 mm e a densidade populacional de 233.000 plantas ha⁻¹.

4.4 Coeficiente de correlação

Os coeficientes de correlação entre os componentes de produção e a produtividade de grãos estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 9. Estimativa dos coeficientes de correlação de Pearson da produtividade de grãos em relação ao número de vagens por planta (NVP), número de vagens por m² (NVPM2), comprimento de vagem (COMPV), peso de vagens (PV) e eficiência do uso da água (EUA) do feijão-caupi cultivar BRS Tumucumaque. Teresina, PI

Componente de produção	Coeficiente de correlação
NVP	0,77**
NVPM2	0,96**
COMPV	0,57*
PV	0,99**
EUA	0,87**

* significativo a (0,01 < p ≤ 0,05); **: significativo a (p ≤ 0,01), pelo teste t.

Os coeficientes de correlação obtidos possuem valores mínimos e máximos de 0,57 e 0,99, para os componentes comprimento de vagens e peso de vagens, respectivamente.

A baixa correlação do componente COMPV com a PROD se deve ao fato dos resultados deste estar mais associado às características genéticas da cultivar do que à aplicação dos tratamentos. Logo, o mesmo não responde de maneira correlata à produtividade de grãos quando submetido aos tratamentos em estudo.

A alta correlação do PV se dá pelo fato da produtividade de grãos estar diretamente ligada ao desempenho de tal componente, onde é simples compreender que quanto maior for o peso de vagens, maior será a produtividade de grãos, independente do índice de grãos (relação entre o peso de grãos e o peso de vagens).

O mesmo se aplica ao NVPM2, pois quanto mais vagens se têm por unidade de área, maior será o peso de vagens, conseqüentemente, como mencionado anteriormente, quanto maior o peso de vagens, maior a produtividade de grãos. Nota-se, que o mesmo não ocorre com o NVP, pois um alto NVP não implica, necessariamente, em altas produtividades, tendo em vista que uma planta pode ter

várias vagens, no entanto, simultaneamente, pode haver poucas plantas por unidade de área.

Resultado semelhante foi observado por Cardoso, Melo e Ribeiro (2018), que ao avaliarem o desempenho produtivo de três cultivares de feijão-caupi de diferentes tipos de porte da planta, em função da densidade populacional, na região do MATOPIBA, observaram que o componente de produção que mais se correlacionou com o rendimento de grãos foi o número de vagens por área.

Cardoso, Ribeiro e Bastos (2015), avaliando o desempenho produtivo e a eficiência de uso da água de cultivares de feijão-caupi de porte semiprostado em diferentes densidades de plantas no município de Teresina – PI, também concluíram que o componente de produção número de vagens por área foi o mais correlacionado com o rendimento de grãos.

5 CONCLUSÕES

Todas as características avaliadas são influenciadas pelas lâminas de irrigação.

Todas as características avaliadas, exceto o comprimento de vagens, são influenciadas pelas densidades de plantas.

A interação entre os regimes hídricos e as densidades de plantas influencia apenas o número de vagens por metro quadrado e o comprimento de vagens.

Todas as características avaliadas apresentam valores máximos com a aplicação da lâmina de irrigação de 288,7 mm.

Os maiores valores de produtividade e de eficiência do uso da água são alcançados com as densidades de 20,4 e 19,5 plantas m^{-2} , respectivamente.

Os componentes de produção que mais se correlacionaram com a produtividade foram o peso de vagens e o número de vagens por metro quadrado.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ALBUQUERQUE, J. de A. A.; SEDIYAMA, T.; ALVES, J. M. A.; SILVA, A. A. da; UCHOA, S. C. P. Cultivo de mandioca e feijão em sistemas consorciados realizado em Coimbra, Minas Gerais, Brasil. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 3, p. 532-538, 2012.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO, 1998. 328p. (FAO Irrigation and Drainage Papers, 56).

ALVES, J. M. A., et al. Avaliação agroeconômica da produção de cultivares de feijão-caupi em consórcio com cultivares de mandioca em Roraima. **Revista Agro@ambiente**, v. 3, n. 1, p. 15-30, 2009.

ANDRADE JÚNIOR, A. S.; RODRIGUES, B. H. N.; BASTOS, E. A. Irrigação. In: CARDOSO, M. J. (Org.). **A cultura do feijão-caupi no Meio-Norte do Brasil**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2000. p. 127 – 154. (Embrapa Meio-Norte. Circular Técnica, 28).

ANDRADE JÚNIOR, A. S.; RODRIGUES, B. H.; FRIZZONE, J. A.; CARDOSO, M. J.; BASTOS, E. A.; MELO, F. B. Níveis de irrigação na cultura do feijão caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental.**, v. 6, n. 1, 2002.

ANGUS, J. F.; van HERWAARDEN, A. F. Increasing water use and water use efficiency in dryland wheat. **Agronomy Journal**, 93. p. 290-298, 2001.

BASTOS, E. A.; ANDRADE JUNIOR, A. S. **Boletim Agrometeorológico de 2015 para o município de Teresina, Piauí**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2016. 38p. (Documentos / Embrapa Meio-Norte, ISSN 0104 - 866X; 239).

BASTOS, E. A.; FERREIRA, V. M.; SILVA, C. R. da; ANDRADE JÚNIOR, A. S. de. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo do feijão-caupi no vale do Gurguéia, PI. **Irriga**, v.13, n. 2, p.182-190, 2008.

BASTOS, E. A.; FOLEGATTI, M. V.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; CARDOSO, M. J.; FARIA, R. T. Manejo econômico da irrigação do feijão caupi via modelo de simulação. **Irriga**, Botucatu , v. 5, n. 2, p. 84-98, 2000.

BEZERRA, A. A. de C.; ALCÂNTARA NETO, F. de; NEVES, A. C. das; MAGGIONI, K. Comportamento morfoagronômico de feijão-caupi, cv. BRS Guariba, sob diferentes densidades de plantas. **Revista Ciências Agrárias**, v. 55, n. 3, p. 184-189, 2012.

BEZERRA, A. A. DE C.; NEVES, A. C.; ALCÂNTARA NETO, F. de; SILVA JÚNIOR, J. V. da. Morfofisiologia e produção de feijão-caupi, cultivar brs novaera, em função da densidade de plantas. **Revista Caatinga**, Mossoró, v.27, n.4, p.135-141, out.–dez., 2014.

BEZERRA, A. A. de C.; TÁVORA, F. J. F.; FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q. Características de dossel e de rendimento em feijão- caupi ereto em diferentes densidades populacionais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 44, n. 10, p. 1239-1245, 2009.

BEZERRA, F. M. L.; ARARIPE, M. A. E.; TEÓFILO, E. M.; CORDEIRO, L. G.; SANTOS, J. J. A. Feijão-caupi e déficit hídrico em suas fases fenológicas. **Ciência Agrônômica**, v.34, p.5-10, 2003.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 12 de 28 mar. 2008. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 31 mar. 2008. Seção 1, p. 11-14.

CARDOSO, J. M.; MELO, F. B.; LIMA, M. G. Ecofisiologia e manejo de plantio. In: FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. A.; RIBEIRO, V. Q. **Feijão caupi: avanços tecnológicos**. Brasília: EMBRAPA, 2005. Cap. 5, p.213-225.

CARDOSO, M. J. (Org.) **A cultura do feijão caupi no Meio-Norte do Brasil**. Embrapa/Meio-Norte. Teresina, PI. 264 p.,2000 (Circular técnica, 28).

CARDOSO, M. J.; MELO, F. de B.; RIBEIRO, V. Q. Population density on cowpea cultivars with different growth habits in the matopiba region. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 31, n. 1, p. 235 – 239, 2018.

CARDOSO, M. J.; RIBEIRO, V. Q.; BASTOS, E. A. **Densidades de plantas de feijão-caupi de porte semi-prostrado sob irrigação**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2015. 21 p. (Embrapa Meio-Norte. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 110).

CARDOSO, M. J.; RIBEIRO, V. Q.; MELO, F. de B. Performance da densidade de plantas em cultivares comerciais de feijão-caupi nos cerrados do leste maranhense. In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI – CONAC, 3., 2013, Recife. **Anais...** Recife, 2013.

CAVALCANTE, E. da S.; FREIRE FILHO, F. R.; ROCHA, M. de M.; GOES, A. C. P.; RIBEIRO, V. Q.; SILVA, K. J. D. **BRS Tumucumaque**: Cultivar de Feijão-Caupi para o Amapá e Outros Estados do Brasil. Macapá: EMBRAPA Amapá, 2014. 5 p. (Comunicado Técnico 124).

CONAB, Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. Brasília: Conab, 2016.

CONAGIN, A.; JORGE, J. P. N. de. Delineamento (1/5)(5x5x5) em blocos. Campinas - S.P. **Bragantia**, Campinas, v.41, n.16, p. 155-168. 1982.

COSTA JUNIOR, M. J. N. **Desempenho agrônômico do feijão-caupi sob diferentes lâminas de irrigação e espaçamentos entre fileiras**. 2015. 73 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2015.

CRAUFURD, P. Q.; QI, A.; ELLIS, R. H.; SUMMERFIELD, R. J.; ROBERTS, E. H. Development in cowpea (*Vigna unguiculata*) II. Effect of temperature and saturation

deficit on time to flowering in photoperiod insensitive genotypes. **Experimental Agriculture**, London, v. 32, n. 1, p. 13-28, 1996.

CUSTÓDIO, T. N.; MORAIS, A. R. de; MINIZ, J. A. Superfície de resposta em experimento com parcelas subdivididas. **Ciência agrotecnologia**, Lavras, v.24, n.4, p. 1008-1023, dez., 2000.

ELLIS, R. H.; LAWER, R. J.; SUMMERFIELD, R. J.; ROBERTS, E. H.; CHAY, P. M.; BROUWER, J. B.; ROSE, J. L.; YEATES, S. J. Towards the reliable prediction of time to flowering in six annual crops. III. Cowpea (*Vigna unguiculata*). **Experimental Agriculture**, London, v. 30, n. 1, p. 17-29, 1994.

FARIS, D.G. The origin and evolution of the cultivated forms of *Vigna sinensis*. **Canadian Journal of Genetis and Cytology**, Ottawa, n.7, p. 433-452, 1965.

FERREIRA, V. M.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; CARDOSO, M. J.; RIBEIRO, V. Q.; MORAIS, E. L. C. Performance produtiva do consórcio milho-feijão caupi e disponibilidade hídrica do solo. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 5, n. 2, p. 177-186, 2010.

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; ALCÂNTARA, J. dos P.; BELARMINO FILHO, J.; ROCHA, M. de M. BRS Marataoã: nova cultivar de feijão-caupi com grão tipo sempre-verde. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 52, n. 303, p. 771-777, 2005.

FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q.; ROCHA, M. de M.; SILVA, K. J. D.; NOGUEIRA, M. do S. da R.; RODRIGUES, E. V. **Feijão-caupi no Brasil: produção, melhoramento genético, avanços e desafios**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2011. 84p.

FREIRE-FILHO, F.R. Cowpea taxonomy and introduction to Brazil. In: WATT, E. E.; ARAÚJO, J. P. P. **Cowpea research in Brazil**. IITA, EMBRAPA, Brasília, 1988. p.3-10.

FREITAS, R. M. O. et al. Produção de feijão-caupi sob efeito de veranico nos sistemas de plantio direto e convencional. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 34, n. 6, p. 3683-3690, 2013.

GHAFOOR, A.; SHARIF, A.; AHMAD, Z.; ZAHID, M. A.; RABBANI, M. A. Genetic diversity in blackgram (*Vigna mungo* L. Hepper). **Field Crops Research**, n.69, p.183-190, 2001.

IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Levantamento sistemático da produção agrícola**. Rio de Janeiro: IBGE, 2016.

LEITE, M. L.; RODRIGUES, J. D.; VIRGENS FILHO, J. S. Avaliação de cultivares de caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) quanto à produtividade e componentes de produtividade, sob condições de estufa plástica. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v. 72, n. 3, p. 375-385, 1997.

LEITE, M.L.; RODRIGUES, J.D.; VIRGENS FILHO, J.S. Efeitos do déficit hídrico sobre a cultura do caupi, cv. EMAPA-821. III - Produção. **Revista de Agricultura**. Piracicaba, v.75, n.1, p.9-20, 2000.

LIU, F.; STÜTZEL, H. Biomass partitioning, specific leaf area, and water use efficiency of vegetable amaranth (*Amaranthus* spp.) in response to drought stress. **Scientia Horticulturae**, v.102, p.15-27, 2004.

LOCATELLI, V.da E.R.; MEDEIROS, R.D. de; SMIDERLE, O. J.; ALBUQUERQUE, J. de A. A.; ARAÚJO, W. F.; SOUZA, K. T. S. de. Componentes de Produção, produtividade e eficiência da irrigação do feijão-caupi no cerrado de Roraima. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 6, p. 574–580, 2014

MELO, F.B.; ANDRADE JÚNIOR, A.S.; PESSOA, B.L.O. **Levantamento, Zoneamento e Mapeamento Pedológico Detalhado da Área experimental da Embrapa Meio-Norte em Teresina, PI**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2014. 47 p. (Documentos / Embrapa Meio-Norte, ISSN 0104-866X; 231).

MONTEIRO, M. M. de S.; BASTOS, E. A.; CARDOSO, M. J.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; RIBEIRO, V. Q. Effect of water regimes and plant densities on cowpea production. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v.47, n.4, p.432-439, 2017.

MOUSINHO, F. P. E. **Viabilidade econômica da irrigação do feijão-caupi no estado do Piauí**. 2005. 103 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

NASCIMENTO, J.T.; PEDROSA, M.B.; TAVARES SOBRINHO, J. Efeito da variação de níveis de água disponível no solo sobre o crescimento e produção de feijão caupi, vagens e grãos verdes. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.22, n.2, p.174-177, 2004.

NASCIMENTO, S. P. do; BASTOS, E. A.; ARAUJO, E. C. E.; FREIRE FILHO, F. R.; SILVA, E. M. da. Tolerância ao déficit hídrico em genótipos de feijão-caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.8, p.853-860, 2011.

NÓBREGA, J. Q.; RAO, T. V. R.; BELTRÃO, N. E. de.; FIDELIS FILHO, J. Análise de crescimento do feijoeiro submetido a quatro níveis de umidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.5, n.3 p. 437-443, 2001.

NOGUEIRA, M. C. S. **Experimentação Agrônômica I: conceitos, planejamento e análise estatística**. Piracicaba: M. C. S. Nogueira, 2007. 479p.

OLIVEIRA, I. J. de; FONTES, J. R. A.; SILVA, K. J. D. e; ROCHA, M. M. **BRS Tumucumaque**: cultivar de feijão-caupi com valor nutritivo para o Amazonas. Manaus: Embrapa Amazônia Ocidental, 2014. 4 p. (Comunicado Técnico 106).

OLIVEIRA, I. P.; CARVALHO, A. M. A cultura do caupi nas condições de clima e solo dos trópicos úmidos de semi-árido do Brasil. In: ARAUJO, J.P.P.; WATT. E.E. (Org.) **O caupi no Brasil**. Brasília, DF: Embrapa-CNPAP; Ibada: IITA, 1998, p.63-96.

OLIVEIRA, S. R. M. de. **Densidade populacional do feijão-caupi sob níveis de irrigação**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Ceará. Fortaleza, 103 f., 2013.

OLIVEIRA, S. R. M. de; ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; RIBEIRO, V. Q.; BRITO, R. R. de; CARVALHO, M. W. Interação de níveis de água e densidade de plantas no crescimento e produtividade do feijão-caupi, em Teresina, PI. **Irriga**, Botucatu, v. 20, n. 3, p. 502-513, 2015.

ONOFRE, A. V. C. **Diversidade genética e avaliação de genótipos de feijão-caupi contrastantes para resistência aos estresses bióticos e abióticos com marcadores SSR, DAF, e ISSR. 2008**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2008.

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15. Ed. Piracicaba. ESALQ, 1990. 451p. (Biblioteca de ciências agrárias “Luiz de Queiroz”, 15).

PUPPALA, N.; FOWLER, J.L.; JONES, T.L.; GUTSCHICK, V.; MURRAY, L. Evapotranspiration, yield, and water-use efficiency responses of *Lesquerella fendleri* at different growth stages. **Industrial Crops and Products**, v.21, p.33-47, 2005.

R CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2018. Disponível em <<https://www.R-project.org/>>. Acesso em 31 mai. 2018.

RAMOS, H. M. M.; BASTOS, E. A.; ANDRADE JUNIOR, A. S.; CARDOSO, M. J.; NASCIMENTO, F. N. Eficiência do uso da água e produtividade de grãos do feijão-caupi sob diferentes regimes hídricos. In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI – CONAC, 3., 2013, Recife. **Anais...** Recife, 2013.

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

SALES, M.G.; RODRIGUES, M.A.C. **Consumo, qualidade nutricional e métodos de preparo do Caupi...** In: ARAÚJO, J. P. P.; WATT, E. E (Org.). **O caupi no Brasil**. Brasília: IITA; EMBRAPA, cap. 24, p.697-722, 1988.

SANTOS, C. A. F.; ARAUJO, F. P. de. Produtividade e morfologia de genótipos de caupi em diferentes densidades populacionais nos sistemas irrigado e de sequeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.10, p.1977-1984, 2000.

SANTOS, J. A. da S.; TEODORO, P. E.; CORREA, A. M.; SOARES, C. M. G.; RIBEIRO, L. P.; ABREU, H. K. A. de. Desempenho agrônômico e divergência genética entre genótipos de feijão-caupi cultivados no ecótono Cerrado/Pantanal. **Bragantia**, Campinas, v. 73, n. 4, p. 377-382, 2014.

SANTOS, J. F. dos. Resposta do feijão-caupi a diferentes densidades de plantas em Neossolo Regolítico no Agreste Paraibano. **Tecnologia & Ciência Agropecuária**, João Pessoa, v.7, n.4, p.37-41, 2013.

SAS INTITUTE. **SAS/STAT® 14,1 User's Guide**. Cary, 2015. Disponível em: <http://support.sas.com/documentation/cdl/en/statug/68162/PDF/default/statug.pdf>. Acesso em: 26 jan. 2016.

SILVA, C. R.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; MELO, F. B.; SOUSA, A. B.; SOUZA, C. F. **Calibração da sonda de capacitância Diviner 2000® em um Argissolo**. XXXV CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 2006, João Pessoa, PB, Resumos Expandidos.

SILVA, E. F. da; BARROS JÚNIOR, A. P.; SILVEIRA, L. M. da.; SANTANA, F. M. de S.; SANTOS, M. G. dos. Avaliação de cultivares de feijão-caupi irrigado para produção de grãos verdes em Serra Talhada – PE. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 26, n. 1, p. 21-26, jan.-mar, 2013.

SILVA, J. A. L.; NEVES, J. A. Produção de feijão-caupi semi-prostrado em cultivos de sequeiro e irrigado. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 6, n. 1, p. 29-36, 2011.

SOUZA, L. S. B.; MOURA, M. S. B.; SEDIYAMA, G. C.; SILVA, T. G. F. Eficiência do uso da água das culturas do milho e do feijão-caupi sob sistemas de plantio exclusivo e consorciado no semiárido brasileiro. **Bragantia**, v. 70, n. 3, p.715-721, 2011.

TAGLIAFERRE, C.; SANTOS, T. J.; , SANTOS, L. da C.; SANTOS NETO, I. J. dos; ROCHA, F. A.; PAULA, A. de. Características agronômicas do feijão-caupi inoculado em função de lâminas de irrigação e de níveis de nitrogênio. **Revista Ceres**, v. 60, n. 2, p. 242-248, 2013.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 954 p.

TÁVORA, F. J. A. F.; CARVALHO, W. P.; PINHO, J. L. N. de; PITOMBEIRA, J. B. Densidade de plantio na cultura do feijão-de-corda irrigada. II. Componentes de produção e rendimento de grãos. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v.31, p.20-26, 2000.

TEIXEIRA, I. R.; SILVA, G. C da.; OLIVEIRA, J. P. R. de.; SILVA, A. G. da.; PELÁ, A. Desempenho agronômico e qualidade de sementes de cultivares de feijão-caupi na região do cerrado. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 1, p. 300-307, 2010.

THORNTON, C. W., MATHER, J. R. **The water balance**. Drexel Institute of Technology, New Jersey, USA. 104 p., 1955.

VIEIRA, R. F.; VIEIRA, C.; CALDAS, M. T. Comportamento do feijão-fradinho na primavera-verão na zona da mata de Minas Gerais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.35, n.7, p.1359-1365, 2000.

ZIMMERMANN, F.J.P. **Estatística aplicada à pesquisa agrícola**. 2. ed. rev. ampl. Brasília. DF: Embrapa; Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2014. 582p.