



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
NÚCLEO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA/PRODUÇÃO
VEGETAL**

MANOEL DE JESUS NUNES DA COSTA JUNIOR

**DESEMPENHO AGRONÔMICO DO FEIJÃO-CAUPI SOB DIFERENTES
LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO E ESPAÇAMENTOS ENTRE FILEIRAS**

**TERESINA – PI
2015**

MANOEL DE JESUS NUNES DA COSTA JUNIOR

**DESEMPENHO AGRONÔMICO DO FEIJÃO-CAUPI SOB DIFERENTES
LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO E ESPAÇAMENTOS ENTRE FILEIRAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, da Universidade Federal do Piauí – UFPI, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Agronomia, área de concentração: Produção Vegetal.

Orientador: Dr. Edson Alves Bastos

Co-orientador: Dr. Milton José Cardoso

**TERESINA – PI
2015**

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

C837d Costa Junior, Manoel de Jesus Nunes da
Desempenho agrônômico do feijão-caupi sob diferentes lâmi-
nas de irrigação e espaçamentos entre fileiras / Manoel de Jesus
Nunes da Costa Junior - 2015.
70 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Fede-
ral do Piauí, Teresina, 2015.

Orientação: Dr. Edson Alves Bastos

Co-orientação: Dr. Milton José Cardoso

1. *Vigna unguiculata* 2. Produtividade de grãos 3. Manejo de
de irrigação 4. Arranjo de plantas I.Título

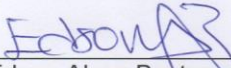
CDD 635.659 2

**DESEMPENHO AGRONÔMICO DO FEIJÃO-CAUPI SOB DIFERENTES
LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO E ESPAÇAMENTOS ENTRE FILEIRAS**


Manoel de Jesus Nunes da Costa Junior
Engenheiro Agrônomo

Aprovado em 31 / 07 / 2015

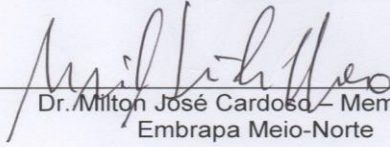
Comissão Julgadora:



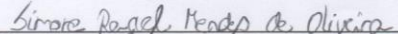
Dr. Edson Alves Bastos - Presidente
Embrapa Meio-Norte



Dr. Aderson Soares de Andrade Júnior - Membro Interno
Embrapa Meio-Norte



Dr. Milton José Cardoso - Membro Externo
Embrapa Meio-Norte



Prof.^a Dr.^a Simone Raquel Mendes de Oliveira - Membro Externo
CTT/CCA/UFPI

“Toda a nossa ciência, comparada com a realidade, é primitiva e infantil e, no entanto, é a coisa mais preciosa que temos.

(Albert Einstein, 1879 – 1955)

Aos meus pais, Manoel e Graça.
Aos meus familiares, que aí incluem irmãos, amigos e colegas.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Especialmente à Deus, pois Nele confiei, Nele conquistei, por isso, Deus é tudo na minha vida.

Ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Produção Vegetal (PPGA/PV), da Universidade Federal do Piauí, pela oportunidade concedida.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Piauí (FAPEPI) pela concessão da bolsa de estudos.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Meio-Norte), pela oportunidade de estágio, apoio e suporte logístico na realização da pesquisa.

Ao meu orientador, o Engenheiro Agrônomo Dr. Edson Alves Bastos e co-orientador Dr. Milton José Cardoso, pelo apoio, competência, paciência e principalmente pela orientação durante todo o tempo de realização desse trabalho.

Ao Dr. Aderson Soares de Andrade Júnior pela ajuda, paciência, compreensão e contribuição.

Aos professores do curso de Pós-Graduação em Agronomia.

À Profa. Dr. Poliana Rocha D'Almeida Mota Soares, pela contribuição, ensinamentos e oportunidade vividos durante o estágio docência.

Aos meus pais, pois não tenho palavras suficientes para demonstrar todo o meu agradecimento e imenso amor, pois vocês, são meus pilares, obrigado por acreditarem e confiarem que eu posso ir muito mais adiante.

Aos meus irmãos Rondinelli, Rondinara, Roberta, Rondineia e Emanuella por me entenderem e ao mesmo tempo me darem força. Em especial minha sobrinha-afilhada Maria Clara.

Aos amigos Rodrigo Brito, Carolina Santana, Keyla Cosme, Francinalva de Moraes, Monica Sousa pelo companheirismo e incentivo e não deixando de citar os demais colegas da turma do mestrado por esta jornada tão difícil, o meu imenso agradecimento. Vocês foram fundamentais nessa caminhada. Aprendi muito com cada um durante o curso.

À todas as pessoas que de forma direta ou indireta me ajudaram e me auxiliaram durante a pós-graduação.

SUMÁRIO

Lista de Figuras.....	ix
Lista de Tabelas.....	x
RESUMO.....	xii
ABSTRACT.....	xiii
1 INTRODUÇÃO.....	14
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	16
2.1 Aspectos gerais da cultura do feijão-caupi.....	16
2.2 Ecofisiologia.....	18
2.3 Cultivar BRS Tumucumaque.....	18
2.4 Déficit hídrico no solo.....	20
2.5 Resposta do feijão-caupi à irrigação.....	23
2.6 Resposta do feijão-caupi ao espaçamento entre fileiras.....	24
2.7 Índice de área foliar (IAF).....	25
2.8 Eficiência do uso da água (EUA).....	28
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	30
3.1 Clima da área experimental e características do solo.....	30
3.2 Preparo do solo.....	31
3.3 Semeadura.....	31
3.4 Tratos culturais e controle fitossanitário.....	32
3.5 Sistema de irrigação.....	32
3.6 Monitoramento do teor de água no solo.....	33
3.7 Tratamentos e delineamento experimental.....	33
3.8 Avaliações.....	35
3.8.1 Variáveis produtivas.....	35
3.8.2 Índice de área foliar (IAF).....	36
3.9 Análise estatística.....	36
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	37
4.1 Dados climáticos.....	37
4.2 Lâminas de irrigação aplicadas durante o período experimental e conteúdo de água no solo.....	39
4.3 Componentes de produção e produtividade de grãos.....	42
4.4 Correlação entre componentes de produção e produtividade de grãos.....	51

4.5 Índice de área foliar (IAF).....	52
4.6 Eficiência de uso da água (EUA).....	56
5 CONCLUSÕES	58
REFERÊNCIAS	59

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.** Identificação dos coletores para a coleta das lâminas de irrigação.. 32
- Figura 2.** Localização dos tubos de acesso de PVC para monitoramento do conteúdo de água no solo 34
- Figura 3.** Variação das temperaturas máxima (Tmax), média (Tméd) e mínima (Tmín) do ar ao longo do ciclo do feijão-caupi cv. BRS Tumucumaque em Teresina, PI, 2014 37
- Figura 4.** Variação da umidade relativa do ar ao longo do ciclo do feijão-caupi cv. BRS Tumucumaque em Teresina, PI, 2014 38
- Figura 5.** Variação da precipitação pluviométrica ao longo do ciclo do feijão-caupi cv. BRS Tumucumaque em Teresina, PI, 2014..... 39
- Figura 6.** Variação do teor de água no solo nas profundidades de 0,0 m a 0,2 m, ocorrido do 23^o ao 65^o dias após a semeadura do feijão-caupi cv. BRS Tumucumaque em função das lâminas de irrigação aplicadas. Teresina, PI, 2014 41
- Figura 7.** Variação do teor de água no solo nas profundidades de 0,2 – 0,4 m, ocorrido do 23^o ao 65^o dias após a semeadura do feijão-caupi em função das lâminas de irrigação aplicadas. Teresina, PI, 2014 41
- Figura 8.** Comprimento de vagens em função das lâminas de irrigação para o feijão-caupi cv. BRS Tumucumaque. Teresina, PI. 2014 43
- Figura 9.** Número de vagens por planta em função das lâminas de irrigação para o feijão-caupi cv. BRS Tumucumaque. Teresina, PI. 2014..... 44
- Figura 10.** Número de grãos por vagens em função das lâminas de irrigação para o feijão-caupi cv. BRS Tumucumaque. Teresina, PI. 2014..... 45
- Figura 11.** Massa de cem grãos em função das lâminas de irrigação para o feijão-caupi cv. BRS Tumucumaque. Teresina, PI. 2014 47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características nutricionais e culinárias do feijão-caupi cv. BRS Tumucumaque	19
Tabela 2. Características físico-hídricas do solo da área experimental da Embrapa Meio-Norte. Teresina, PI, 2014	30
Tabela 3. Características químicas do solo da área experimental da Embrapa Meio-Norte. Teresina, PI, 2014	30
Tabela 4. Número de plantas de feijão-caupi, cv. BRS Tumucumaque na área útil com os respectivos espaçamentos avaliados entre fileiras de plantas.....	31
Tabela 5. Lâminas de irrigação (mm) aplicadas por cada fase durante o período experimental. Teresina, 2014.....	39
Tabela 6. Resumo da análise de variância para o comprimento de vagens (CVg), número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV), peso de cem grãos (PCG), produtividade de grãos (PG), relação grão-vagem (RGV) e eficiência de uso da água (EUA) do feijão-caupi cv. BRS Tumucumaque, em função de cinco lâminas de irrigação e quatro espaçamentos entre fileiras. Teresina-PI, 2014	42
Tabela 7. Médias de produtividade de grãos (PG, kg ha ⁻¹) do feijão-caupi cv. BRS Tumucumaque em função de cinco lâminas de irrigação e quatro espaçamentos entre fileiras. Teresina-PI, 2014	47
Tabela 8. Médias da relação grão/vagem (RGV, %) do feijão-caupi cv. BRS Tumucumaque em função de cinco lâminas de irrigação e quatro espaçamentos entre fileiras. Teresina-PI, 2014	50
Tabela 9. Estimativa de correlação de Pearson dos valores de produtividade de grãos (PG, kg ha ⁻¹) entre comprimento de vagem (CVg, cm), número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem e massa de cem grãos (MCG, g) do feijão-caupi cv. BRS Tumucumaque em função de cinco lâminas de irrigação e quatro espaçamentos entre fileiras. Teresina-PI, 2014	52
Tabela 10. Resumo da análise de variância e os respectivos coeficientes de variação para o índice de área foliar (IAF) do feijão-caupi cv. BRS Tumucumaque em função de cinco lâminas de irrigação e quatro espaçamentos entre fileiras. Teresina-PI, 2014	53
Tabela 11. Médias do índice de área foliar (IAF) em diferentes épocas do feijão-caupi cv. BRS Tumucumaque em função de cinco lâminas de irrigação e quatro espaçamentos entre fileiras. Teresina – PI, 2014	55

Tabela 12. Médias da eficiência do uso da água (EUA, kg m ⁻³) do feijão-caupi cv. BRS Tumucumaque em função de cinco lâminas de irrigação e quatro espaçamentos entre fileiras, Teresina-PI, 2014	56
--	----

COSTA JUNIOR, M. de J. N. da. **Desempenho agronômico do feijão-caupi sob diferentes lâminas de irrigação e espaçamentos entre fileiras.** Teresina – PI, 2015. 73f. Dissertação (Trabalho de Pós-Graduação em Agronomia). Comitê de orientação: Dr. Edson Alves Bastos (Orientador), Dr. Milton José Cardoso (Co-orientador). Embrapa Meio-Norte.

Resumo: O feijão-caupi possui grande importância socioeconômica nas regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste do Brasil e o seu cultivo irrigado tem crescido ultimamente nessas regiões. Novos espaçamentos entre linhas precisam ser testados visando à colheita mecanizada. Nesse sentido, propõe-se este trabalho com o objetivo de avaliar o desempenho agronômico do feijão-caupi, cv. BRS Tumucumaque, em função de diferentes combinações de espaçamentos entre fileiras e lâminas de irrigação nas condições edafoclimáticas de Teresina, Piauí. O experimento foi conduzido no Campo Experimental da Embrapa Meio-Norte, em Teresina, Piauí, no período de agosto a novembro de 2014, em um Argissolo Amarelo distrófico típico. Foram avaliadas cinco lâminas de irrigação (40% ETo, 70% ETo, 100% ETo, 130% ETo e 160% ETo) e quatro espaçamentos entre fileiras de plantas (0,36 m, 0,45 m, 0,60 m e 0,90 m). O delineamento experimental foi o de blocos casualizados em parcelas subdivididas, com quatro repetições. Avaliaram-se o índice de área foliar, comprimento de vagem, número de grãos por vagem, número de vagens por planta, massa de cem grãos, a relação grão-vagem, a produtividade de grãos e a eficiência do uso da água. Houve interação significativa ($p < 0,01$) entre as lâminas de irrigação e os espaçamentos entre fileiras de plantas para produtividade de grãos, eficiência do uso da água e relação grão/vagem. Não houve influência dos espaçamentos entre fileiras sobre os componentes de produção. Houve efeito significativo ($p < 0,01$) da lâmina para o comprimento de vagem, o número de vagens por planta e o número de grãos por vagem apresentando efeito linear crescente em função das lâminas de irrigação. A produtividade de grãos apresentou valor máximo de 1.830,7 kg ha⁻¹ com uma lâmina de irrigação de 376,4 mm associada a um espaçamento entre fileiras de 0,36 m. Para o índice de área foliar, houve efeito significativo das lâminas de irrigação e dos espaçamentos entre fileiras para as épocas avaliadas. Obteve-se um valor máximo de eficiência de uso da água de 0,54 kg m⁻³, com uma lâmina de 305,4 mm e um espaçamento entre fileiras de 0,36 m.

Palavra-chave: *Vigna unguiculata*; Produtividade de grãos; Manejo de irrigação; Arranjo de plantas.

COSTA JUNIOR, M. J. N. of. **Agronomic performance of cowpea under different irrigation depths and rows spacing.** Teresina – PI, 2015. 75f. Dissertation (Work Graduate in Agronomy). Adviser: Dr. Edson Alves Bastos. Co-adviser: Dr. Milton José Cardoso. Embrapa Mid-North

Abstract: The cowpea has a great socio-economic importance in the North, Northeast and Midwest of Brazil and its irrigated farming has grown every day. New population arrangements need to be tested in order to mechanized harvest. Thus, this work was proposed in order to evaluate the agronomic performance of cowpea, cv. BRS Tumucumaque, for different combinations of row spacing and irrigation depth in the soil and climate conditions of Teresina, Piauí. The experiment was carried out in the Experimental Field of Embrapa Mid-North, in Teresina, Piauí, from august to november 2014, in a typical dystrophic Ultisol. Five irrigation depths were evaluated (40% ETo, 70% ETo, 100% ETo, 130% ETo and 160% ETo) and four spacings between rows of plants (0,36 m, 0,45 m, 0,60 m, 0,90 m). The experimental design was a randomized block in a split plot design with four replications. Leaf area index, pod length, number of seeds per pod, number of pods per plant, mass of one hundred grains, grain-pod relationship, grain yield and the water use efficiency were evaluated. There was a significant interaction ($p < 0.01$) between irrigation levels and spacings rows of plants just for grain yield, water use efficiency and grain-pod relationship. There was significant effect ($p < 0.01$) of the depth to the length of pod, number of pods per plant and number of seeds per pod showed increasing linear effect on the basis of irrigation levels. PG showed maximum value of $1,830.7 \text{ kg ha}^{-1}$ with a 376.44 mm water depth associated with a spacing of 0.36 m. For the leaf area index, there was a significant effect of irrigation levels and row spacing for the evaluated times. The maximum value for WUE (0.538 kg m^{-3}) was obtained with 305.4 mm and a spacing of 0.36 m.

Keyword: *Vigna unguiculata*; Grain yield; Irrigation management; Plant densities.

1 INTRODUÇÃO

O feijão-caupi, na região Norte, Nordeste e Centro-Oeste do Brasil constitui uma das principais alternativas socioeconômica de suprimento alimentar e geração de emprego, pelo alto valor nutritivo e baixo custo de produção; além de fixar mão-de-obra no campo. É amplamente cultivado pelos pequenos produtores, constituindo um dos principais componentes da dieta alimentar (FREIRE FILHO et al., 2005).

A predominância do cultivo do feijão-caupi na agricultura de subsistência e a falta de um banco de dados próprios, desvinculado do feijão comum, gera dúvidas quanto à precisão do total de área plantada e a produtividade média do feijão-caupi no âmbito nacional. Estima-se que 70% do feijão produzido no território brasileiro seja de feijão comum e 30% do feijão-caupi.

O requerimento de água pela cultura é variável 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, decrescendo a partir do início da maturação (NÓBREGA et al., 2001).

A água está entre os fatores indispensáveis para a produção agrícola, exigindo assim, a máxima atenção com o seu uso, pois a sua falta ou excesso afetam significativamente o rendimento das culturas, e não é diferente para o feijão, sendo assim importante o correto manejo para maximizar a produção (MORAIS et al., 2008). Além disso, em um contexto onde existe atualmente uma preocupação com a escassez hídrica, é importante que a agricultura irrigada procure manter-se sustentável, em termos ambientais e que seja eficiente no uso da água na irrigação (COELHO et al., 2005).

A maior expressão do potencial produtivo das cultivares é resultado da combinação de um conjunto de fatores, dos quais se destaca a população de plantas, por ter influência marcante em várias características morfofisiológicas e de rendimento de grãos (BEZERRA, 2005).

Segundo Cardoso et al. (2005), a escassez ou excesso de plantas por área é uma das causas da baixa produtividade do feijão-caupi no Brasil. Para qualquer cultura, o conhecimento da combinação ótima do espaçamento entre fileiras e da densidade de plantas é essencial para a maximização

econômica da produção (HENDERSON et al., 2000). Entretanto, o melhor arranjo de plantas depende das características intrínsecas da cultivar, como porte, hábito de crescimento e arquitetura de planta, bem como, do sistema de manejo da cultura.

O aprimoramento das técnicas de manejo das plantas nas áreas de cultivo do feijoeiro constitui-se em fator preponderante para a elevação do rendimento de grãos dessa cultura. Dentre as técnicas de manejo recomendadas, Grafton et al. (1988) destacam a adequação da população e do espaçamento de plantas como importantes para uma melhor utilização da água, nutrientes e radiação solar.

As principais causas do déficit hídrico na planta estão relacionadas com a defasagem entre os processos de transpiração, absorção e disponibilidade de água no solo, que provocam diminuição da produtividade, justamente por inviabilizar o processo fotossintético. À medida que a disponibilidade de água no solo diminui, a taxa de transpiração das plantas decresce como resultado do fechamento dos estômatos.

Na avaliação do crescimento do feijão-caupi, a área foliar apresenta-se como importantíssimo parâmetro na determinação da capacidade fotossintética, da densidade ótima de plantio, da relação solo-água-planta ou em investigações sobre nutrição de várias culturas. Sendo que esta relaciona-se com a produtividade (BASTOS et al., 2002; SEVERINO et al., 2004).

Diante do exposto, estudos sobre a combinação de espaçamentos entre fileiras de plantas e de diferentes níveis de irrigação que proporcionem o melhor desempenho agrônômico do feijão-caupi são de grande importância, pois atualmente são poucos os trabalhos realizados nessa linha de pesquisa, o que faz com que tenha um caráter inovador e de grande utilidade para uma implementação de um manejo de irrigação mais tecnificado, promovendo a racionalização do uso da água e de insumos agrícolas, bem como o aumento da produtividade de grãos do feijão-caupi

Desta forma, propõe-se este trabalho com o objetivo de avaliar o efeito de diferentes lâminas de irrigação associado a diferentes espaçamentos entre fileiras de plantas sobre o desempenho agrônômico e eficiência do uso da água do feijão-caupi, cv. BRS Tumucumaque, nas condições de solo e clima de Teresina, Piauí.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Aspectos gerais da cultura do feijão-caupi

O feijão-caupi é uma planta dicotiledônea pertencente à ordem *Fabales*, família *Fabacea*, subfamília *Faboideae*, tribo *Phaseoleae*, subtribo *Phaseolinae*, gênero *Vigna*, espécie *Vigna unguiculata* (L.) Walp. (VERDCOURT, 1970; PADULOSI; NG, 1997; FREIRE FILHO et al., 2005).

O feijão-caupi é originário da África, porém se desenvolve numa ampla faixa ambiental, desde a latitude 40 N até 30 S, onde se adapta muito bem tanto às terras altas como às baixas, no Oeste da África, na Ásia, na América Latina e na América do Norte (CARDOSO et al., 2005; DADSON et al., 2005).

É uma das mais importantes culturas em vários países da América Central e do Sul, principalmente em regiões semiáridas do Brasil, Venezuela, Peru, Panamá, Salvador, Haiti, Equador, Guiana e Suriname. O feijão-caupi é muito utilizado em sistema de monocultivo, entretanto, áreas cultivadas em consórcio com outras culturas são frequentes, sendo o milho (*Zea mays* L.) o consórcio mais utilizado (CARDOSO et al., 2005).

É uma excelente fonte de proteínas (23-25%, em média) e apresenta todos os aminoácidos essenciais, carboidratos (62%, em média), vitaminas e minerais, além de possuir grande quantidade de fibras dietéticas, baixa quantidade de gordura e teor de óleo de 2%, em média (ANDRADE JÚNIOR et al., 2003).

O feijão-caupi é uma das principais fontes de proteína para grande parte da população das regiões Norte e Nordeste do Brasil, sendo cultivado, predominantemente, por agricultores familiares. A espécie é bastante versátil e pode ser comercializada na forma de grãos secos, grãos verdes, vagens verdes, farinha para acarajé e sementes (ROCHA et al., 2007).

No Brasil, historicamente, a produção de feijão-caupi concentra-se nas regiões Nordeste (1,2 milhão de hectares) e Norte (55,8 mil hectares) do país; no entanto, a cultura está conquistando espaço na região Centro-Oeste, em razão do desenvolvimento de cultivares com características que favorecem o cultivo mecanizado. A produtividade média de grãos do feijão-caupi, no

Brasil, é baixa (366 kg ha^{-1}), em função do baixo nível tecnológico empregado no cultivo (SILVA, 2009). Este fato ocorre porque ele é cultivado principalmente por pequenos agricultores, que utilizam pouca tecnologia ou cultivam-no consorciado com outras culturas (FILHO, 2007).

A produção mundial do feijão-caupi de 2007 a 2011 atingiu, em média, 5,6 milhões de toneladas de grãos (FAO, 2014). Os maiores produtores da cultura são: Nigéria, principal país produtor de feijão-caupi, correspondendo a 48% da produção mundial, seguido do Níger, com 24% do volume total médio e em terceiro Burkina Faso, com 8%. Os três países respondem por 80% da produção mundial de feijão-caupi seco (FAO, 2014).

Segundo a CONAB, o Brasil colheu no período de 2007-2014 em média 3,3 milhões de toneladas por ano. Na safra 2014/2015, a produção estimada será de 3,37 milhões de toneladas, em uma área de 3,28 milhões de hectares (CONAB, 2014). A área cultivada com feijão-caupi no Brasil é de aproximadamente 1 milhão de hectares dos quais cerca de 900 mil (90%) estão situados na região Nordeste do Brasil (LIMA et al., 2007).

Os maiores produtores nessa região são os Estados da Bahia (306,2 ton), Ceará (123,3 ton), Piauí (104,1 ton) e Pernambuco (97,6 ton), os quais também apresentam as maiores áreas plantadas (CONAB, 2015). Esses dados são extremamente importantes, uma vez que refletem a participação da cultura no contexto de geração de empregos, de renda e da produção de alimentos no país e a credencia para receber maior atenção por parte das políticas de abastecimento e por parte dos órgãos de apoio à pesquisa.

No Nordeste, a área cultivada para a safra 2014/2015 é de 1.524,9 hectares, com uma produção de 312,0 mil toneladas. Entretanto, a produtividade média de grãos da cultura na região Nordeste, ainda é baixa, 407 kg ha^{-1} (CONAB, 2014).

No estado do Piauí, a estimativa da área cultivada com feijão-caupi, no período de 2014/2015 foi de 215,9 mil toneladas. A produção foi de 104,1 mil toneladas. Entretanto, em termos de produtividade de grãos médio do feijão-caupi no Piauí, os valores foi (482 kg ha^{-1}), ou seja, ficou acima em relação à média do Nordeste (465 kg ha^{-1}) (CONAB, 2015).

2.2 Ecofisiologia

O conhecimento dos aspectos da ecofisiologia na cultura do feijão-caupi é extremamente importante para a condução da cultura em um sistema de produção. Dentre os elementos de clima conhecidos, destacam-se a precipitação, a temperatura do ar e a radiação solar.

A deficiência hídrica é uma situação comum a várias culturas de interesse econômico, que pode influenciar praticamente todos os aspectos relacionados ao desenvolvimento vegetal (DAMATTA, 2007).

Um fator que pode influenciar o déficit hídrico é a temperatura, pois esta pode interferir na germinação, influenciando tanto na velocidade de absorção de água, como nas reações bioquímicas que determinam todo o processo. A temperatura mais adequada para o desenvolvimento do feijão-caupi encontra-se na faixa de 20°C a 30°C, podendo ser cultivado em quase todos os tipos de solos, merecendo destaque os Latossolos Amarelos, Latossolos Vermelho-Amarelos, Argissolos Vermelho-Amarelos e Neossolos Flúvicos. Por ser uma planta C3, satura-se fotossinteticamente a intensidades de luz, relativamente baixas, em torno de 10.000 e 40.000 lux (CARDOSO, 2000). Altas temperaturas durante o florescimento podem ser prejudiciais à cultura, além de diminuir a nodulação nas raízes. Por outro lado, temperaturas abaixo de 20°C podem causar a paralisação do desenvolvimento das plantas (OLIVEIRA; CARVALHO, 1988).

As condições edafoclimáticas exigidas pela cultura do feijão-caupi exigem um mínimo 300 mm de precipitação, bem distribuída durante o seu ciclo, para que produza satisfatoriamente sem a necessidade de utilização da irrigação (EMBRAPA MEIO NORTE, 2002).

2.3 Cultivar BRS Tumucumaque

A cultivar BRS Tumucumaque se originou da linhagem MNC99-537F-4, que foi resultado do cruzamento entre as linhagens TE96-282-22G e IT87D-611-3, procedente do *International Institute of Tropical Agriculture* - IITA, em Ibadan, Nigéria (CAVALCANTE et al., 2014).

A cultivar BRS Tumucumaque têm ciclo em torno de 70 dias, com hábito de crescimento indeterminado, porte semiereto, com ramos consistentes, o que lhe confere um bom nível de resistência ao acamamento. Essa característica é importante porque facilita tanto a colheita manual quanto a mecanizada, nesse caso com o uso de dessecante. Tem vagem roxa e grão branco, com anel do hilo marrom, sem halo e tegumento liso (FREIRE FILHO et al., 2009).

É um tipo de grão que tem grande aceitação comercial na região Norte e principalmente na região Nordeste. Quanto ao valor nutritivo, tem elevado teor de proteína, é rico em ferro e zinco (Tabela 1), tem cozimento rápido e um excelente aspecto visual após o cozimento (FREIRE FILHO et al., 2009).

Tabela 1. Características nutricionais e culinárias da cultivar BRS Tumucumaque

Cultivar	Proteína¹ (%)	Ferro² (mg kg⁻¹)	Zinco² (mg kg⁻¹)	Tempo de^{2,3} cozimento (min)
BRS Tumucumaque	23,53	60,57	51,63	13,23

¹Laboratório de Bromatologia da Embrapa Meio-Norte; ²Laboratório de Qualidade de Grãos da Embrapa Arroz e Feijão; ³Determinado no cozedor de Matson Adaptado, após embebição em água por cinco horas.

FONTE: Freire Filho et al. (2009)

É indicado para cultivo preferencialmente em área de cerrado, em áreas com acidez do solo devidamente corrigida e com correção da fertilidade com base na análise química do solo e exigência da cultura. Aconselha-se também a inoculação com inoculantes rizobianos próprios para feijão-caupi por ocasião do plantio (ZILLI et al., 2006). Embora o feijão-caupi seja considerado uma cultura rústica, essas condições são importantes para que a BRS Tumucumaque expresse todo o seu potencial produtivo.

Para esta cultivar, o espaçamento indicado é de 0,5 a 0,6 m entre linhas, respectivamente com 10 a 12 plantas por metro linear. A quantidade de sementes viáveis para a obtenção dessa população é de 39 kg. Recomenda-se fazer a análise de fertilidade do solo e realizar a aplicação de fertilizantes de acordo com as recomendações técnicas. Manter o controle das ervas daninhas, principalmente nos primeiros 35 dias da lavoura, e fazer o acompanhamento quanto à ocorrência de pragas e doenças e realizar o

controle sempre que houver riscos de danos econômicos. A colheita deve ser feita imediatamente após a secagem das vagens para a obtenção de uma produção de grãos de boa qualidade (FREIRE FILHO et al., 2009).

2.4 Déficit hídrico no solo

A deficiência de água no solo normalmente é o fator mais limitante para a obtenção da produtividade elevada e produtos de boa qualidade, sendo que o excesso, pode ser também, prejudicial (SILVA; MAROUELLI, 1998).

Estresse é definido em geral como um fator externo, exercendo influência desvantajosa à planta, mas, um ambiente estressado para uma planta pode ser ou não para outra (KERBAUY, 2012).

Em condições naturais e agricultáveis, as plantas estão frequentemente expostas ao estresse ambiental. Alguns fatores dessa natureza, como a temperatura do ar, por exemplo, podem se tornar estressantes em poucos minutos, enquanto outras, com conteúdo de água no solo, podem levar dias ou até semanas. Além disso, o estresse desempenha um papel importante na determinação de como o solo limita a distribuição de espécies vegetais (TAIZ; ZEIGER, 2013).

O déficit hídrico no solo é um dos fatores que afetam a produção agrícola com maior frequência e intensidade, influenciando praticamente todos os aspectos relacionados ao desenvolvimento vegetal, diminuindo a taxa fotossintética pela redução da área foliar e afetando vários outros processos fisiológicos, além de alterar o ambiente físico das culturas (FONTANA et al., 1992).

Os fatores ambientais que podem afetar o desempenho vegetal, são: temperaturas muito baixas ou altas, bem como a seca. O déficit hídrico decorrente da seca se estabelece quando a absorção de água pelo sistema radicular não atende às demandas da planta (FAN et al., 2006).

Entender as alterações fisiológicas induzidas pelo déficit hídrico é primordial, portanto, para entender as respostas da planta ao estresse e como essas alterações influenciam o crescimento e o desenvolvimento da planta. Para o manejo adequado dessa cultura, visando à produtividade de grãos, é importante conhecer a sua capacidade de resposta aos níveis de déficit hídrico,

bem como a relação entre consumo de água e produtividade (NASCIMENTO et al., 2004).

Existem vários tipos de respostas das plantas ao déficit hídrico, que concorrem para a manutenção do seu status hídrico e, por extensão, dos processos fisiológicos. Fatores edáficos, como drenagem deficiente, salinidade, acidez e falta ou excesso de elementos nutritivos, também podem prejudicar o feijão-caupi. Diversos parâmetros concorrem para que o déficit hídrico ocorra no solo, entre eles pode-se mencionar o conceito de quantidade total de água armazenada, definido como a quantidade de água armazenada entre o ponto de murcha permanente e a capacidade de campo (CARLESSO; ZIMMERMANN, 2000).

Os efeitos do déficit hídrico são iniciados quando a evapotranspiração supera a taxa de absorção da água do solo pela cultura, estando associados à redução progressiva da disponibilidade de água no solo (SILVEIRA; STONE, 2001). A maioria das culturas apresenta períodos críticos quanto à deficiência hídrica, durante os quais a sua ocorrência pode causar grandes decréscimos no rendimento.

O feijão-caupi é classificado como planta sensível, tanto à deficiência hídrica quanto ao excesso de água no solo (NASCIMENTO, 2009). Segundo Cardoso et al. (2000), as deficiências hídricas iniciais podem afetar sensivelmente o processo germinativo, comprometendo dessa forma o estabelecimento da cultura. Como as demais culturas, o rendimento do feijão-caupi é bastante afetado pela disponibilidade de água no solo. Deficiências ou excessos de água nas suas diferentes fases de desenvolvimento causam redução no seu rendimento em diferentes proporções (BLUM, 1996; YORDANOV et al., 2003).

O estresse hídrico reduz o peso de nódulos, o nitrogênio acumulado e a produção de matéria seca da parte aérea do feijão-caupi, principalmente quando a deficiência hídrica for imposta na segunda e quinta semanas após a semeadura (STAMFORD et al., 1990). Essas reduções devem estar associadas ao fato de que o estresse hídrico afeta vários processos fisiológicos relacionados com a assimilação de nitrato e fixação simbiótica de nitrogênio nas leguminosas, reduzindo o peso da matéria fresca dos nódulos e da parte

aérea das plantas (COSTA et al., 1996). A alteração destes processos fisiológicos reflete no decréscimo da produtividade de grãos ou sementes.

Stone e Moreira (2001) relataram que os efeitos de déficits hídricos ocorridos na fase vegetativa do feijão-caupi provocam menores reduções nos componentes de crescimento, porém, na fase reprodutiva, seus efeitos foram mais acentuados.

Leite et al. (1999), em experimento com feijão-caupi submetido a diferentes níveis de estresse hídrico, constataram menor crescimento, com progressiva redução da área foliar e matéria seca total, principalmente para os níveis mais prolongados e ocorridos durante a fase reprodutiva, porém, com alta capacidade de recuperação após o final do período estressado.

Bezerra et al. (2003) analisaram a influência do déficit hídrico em nos estádios fenológicos: vegetativo, floração e enchimento de grãos, sobre as características agronômicas de produção do feijão-caupi e, verificaram que a aplicação de déficit hídrico em apenas um estágio fenológico causou redução maior na produtividade quando ocorrido no estágio de enchimento de grãos, sendo esta fase considerado a mais crítica ao déficit hídrico. O déficit em dois estádios fenológicos causou maior redução na produtividade, quando aplicado nos estádios vegetativo e de enchimento de grãos. Quando o déficit aplicado em três estádios, causou a maior redução na produtividade afetando significativamente a produtividade de grãos, número de vagem por planta e o número de grãos por vagem.

Nascimento et al. (2011), com o objetivo de avaliar o efeito do déficit hídrico sobre as características fisiológicas e produtivas em 20 genótipos de feijão-caupi, em um Argissolo Amarelo, em Teresina-PI, observaram redução de 72% da condutância estomática, 62% do potencial de água nas folhas e 60% a produtividade de grãos sob deficiência hídrica. Constataram que dos 20 genótipos, 13 produziram grãos acima da média (466 kg ha^{-1}), com destaque para o BRS-Paraguaçu, Pingo-de-ouro-1-2 e Pingo-de-ouro-2, que produziram 712 kg ha^{-1} , 667 kg ha^{-1} e 642 kg ha^{-1} , respectivamente.

2.5 Resposta do feijão-caupi à irrigação

O consumo de água do feijão-caupi aumenta de um valor mínimo na germinação até um valor máximo na floração e na enchimento de vagens, decrescendo a partir do início da maturação (NÓBREGA et al., 2001), podendo variar de 300 a 450 mm/ciclo bem distribuídos nos diferentes estádios de desenvolvimento e é dependente do cultivar e das condições edafoclimáticas locais (NASCIMENTO, 2009).

O consumo hídrico diário raramente excede 3,0 mm, quando a planta está na fase inicial de desenvolvimento (EMBRAPA MEIO-NORTE 2002). Bezerra (2003) afirmam que seu consumo hídrico pode se elevar para 5,0 a 5,5 mm diários, durante o período compreendido entre o pleno crescimento, florescimento e enchimento de vagens. Bastos et al. (2008), nas condições edafoclimáticas do Vale do Gurguéia, PI, observaram consumo hídrico do feijão-caupi de 4 mm dia⁻¹, sendo o estágio reprodutivo (florescimento e enchimento dos grãos) de maior demanda hídrica (5,4 mm dia⁻¹).

Para English e Raja (1996), lâminas excessivas além de onerarem o custo de produção, também são prejudiciais por reduzirem o rendimento da cultura. Por outro lado, lâminas insuficientes expõem a cultura a condições de deficiência hídrica, reduzindo seu potencial produtivo.

Para um correto manejo de irrigação, deve-se levar em consideração a lâmina de irrigação adequada para um bom suprimento hídrico, evitando estresse à cultura, que possa afetar o crescimento das plantas, afetando a produção (BEZERRA et al., 2003).

Andrade Júnior et al. (2002), em seus estudos de avaliação dos níveis de irrigação na cultura do feijão-caupi no Estado do Piauí, obtiveram lâminas de água de 449,1 a 194,4 mm, tendo alcançado uma produtividade máxima de grãos de 2.809 kg ha⁻¹.

Oliveira et al. (2011) com o objetivo de estudar o comportamento do feijão-caupi, cv. BRS Novaera sob quatro lâminas de água (273; 257; 241 e 187 mm) e quatro doses de fósforo (0; 70; 140; 210 kg ha⁻¹ de P₂O₅, aplicados na forma de superfosfato triplo), em Boa Vista, Roraima, ajustaram a um modelo linear para as lâminas de irrigação, encontrando uma máxima de

produtividade de grãos em torno de 1.420,51 kg ha⁻¹, obtida com uma lâmina de 257,2 mm.

Oliveira (2013), com o objetivo de avaliar a distribuição da umidade do solo cultivado com feijão-caupi, cv. BRS Itaim, em função da aplicação de cinco lâminas de irrigação (30%, 60%, 90%, 120% e 150% da ETo) e quatro densidades de plantas (150.000; 200.000; 250.000; 300.000 plantas ha⁻¹), em um Argissolo Vermelho-Amarelo, em Teresina-PI, encontraram produtividade de grãos valor máximo de 1.668,86 kg ha⁻¹ com uma lâmina de irrigação de 390,88 mm associada à densidade de 241.000 plantas ha⁻¹.

2.6 Resposta do feijão-caupi ao espaçamento entre fileiras

O aprimoramento das técnicas de manejo das plantas nas áreas de cultivo do feijoeiro constitui-se um fator preponderante para a elevação do rendimento de grãos dessa cultura. Dentre as técnicas de manejo recomendadas para a cultura, Grafton et al. (1988) destacam a adequação da população e do espaçamento entre fileiras como importantes para uma melhor utilização da água, nutrientes e radiação solar. Segundo Adams e Weaver (1998), a adequação da população e o espaçamento entre fileiras promovem um ajuste das relações ambiente-planta para a expressão máxima da produtividade.

Os diferentes arranjos espaciais, resultantes da combinação de espaçamento entre fileiras e do número de plantas por área, têm sido frequentemente discutidos como uma forma de maximizar o rendimento de grãos pela otimização do uso dos fatores de produção como água, luz e nutrientes, assim como, pela influência direta em várias características morfológicas, fisiológicas e produtivas da planta, portanto, para qualquer cultura o conhecimento do melhor arranjo espacial das plantas é condição essencial para a maximização econômica da produção (HALL, 2003).

Para qualquer cultura, o conhecimento da combinação ótima do espaçamentos entre fileiras e da densidade de plantas é essencial para a maximização econômica da produção (HENDERSON et al., 2000). Entretanto, o melhor arranjo de plantas depende das características intrínsecas do cultivar,

como porte, hábito de crescimento e arquitetura de planta, bem como, do sistema de manejo da cultura (BEZERRA et al., 2009).

Távora et al. (2001) objetivando estudar o comportamento de duas cultivares de feijão-caupi, com diferentes características de porte, submetidos a quatro níveis de população de plantas (62.500, 83.300, 125.000 e 250.000 plantas ha⁻¹) e dois espaçamentos entre fileiras (0,8 m e 0,4 m entre fileiras), em um Neossolo Flúvico, nas condições de Pentecoste, CE, obtiveram produtividades médias de grãos de 2.510 kg ha⁻¹ e 1.139 kg ha⁻¹, para a cv. CE-670 e cv. Epace, respectivamente.

Cardoso e Ribeiro (2015) objetivando avaliar o comportamento produtivo do feijão-caupi, cv. Rouxinol, utilizou-se três espaçamentos entre fileiras (50, 70 e 90 cm) e quatro densidades de plantas (4; 8; 12 e 16 plantas m⁻²), em Teresina-PI, em um Argissolo Amarelo, sob regime de sequeiro. Foi observado que, a máxima produtividade de grãos, atingiu aproximadamente 1.670 kg ha⁻¹, obtido com 7,75 plantas m⁻².

Oliveira (2013) objetivando avaliar a possível interação de níveis de água e densidade de plantas sobre os componentes de produção, produtividade de grãos e eficiência do uso da água do feijão-caupi, cultivar BRS Itaim. Foi observado que a produtividade de grãos apresentou valor máximo de 1.668,86 kg ha⁻¹ com uma lâmina de irrigação de 390,88 mm.

2.7 Índice de área foliar (IAF)

A produtividade das culturas depende da fotossíntese, processo este pelo qual a radiação solar, interceptada pelas folhas verdes, é transformada em energia química, que é utilizada para converter o dióxido de carbono (CO₂) do ar e da água (H₂O) em açúcares simples. Cerca de 90% da massa seca do vegetal é constituída por compostos orgânicos derivado desses açúcares (PARSONS; CHAMPMAN, 2000).

Considerando que o carbono é o principal elemento constituinte das plantas, cerca de 40% a 44% da massa seca (PARSONS; CHAMPMAN, 2000), o acúmulo de biomassa vegetal é determinado pela assimilação desse elemento em tecidos por meio do processo de fotossíntese (LEMAIRE; CHAPMAN, 1996).

A área foliar (AF) é um parâmetro chave na avaliação do crescimento das plantas, podendo ser tanto medida quanto estimada (FIGUEREDO JÚNIOR et al., 2005). É um fator que depende do número e tamanho das folhas e de seu estágio fenológico (PEREIRA; MACHADO, 1987). No geral, a AF se apresenta como importantíssimo parâmetro na determinação da capacidade fotossintética, da densidade ótima de plantio, da relação solo-água-planta ou em investigações sobre nutrição de várias culturas. Ela se relaciona com o metabolismo da planta, produção de matéria seca e produtividade (SEVERINO et al., 2004).

Devido à estreita relação entre a produção de biomassa vegetal e a interceptação luminosa, julgou-se necessária a eleição de parâmetros que as correlacionassem satisfatoriamente, seja de forma direta ou indireta, com o intuito de permitir a compreensão das relações funcionais existentes entre esses componentes do ecossistema. Foi sob esse contexto que desenvolveu-se o conceito de índice de área foliar (IAF).

O IAF é a relação entre a área foliar e a área do terreno ocupada pela cultura, sendo considerado um parâmetro indicativo de produtividade (FAVARIN et al. 2002). Como a fotossíntese depende da AF, a produtividade de uma cultura será tanto maior quanto mais próximo for do IAF máximo potencial e quanto mais tempo permanecer ativa; retardando a senescência (FIGUEREDO JÚNIOR et al., 2005).

Para Fancelli e Dourado Neto (1999), o estresse hídrico limita a alongação e a divisão celular, implicando menor crescimento e menor área foliar. No feijão-caupi a redução na AF é um dos principais mecanismos de adaptação ao déficit hídrico, aliado ao desenvolvimento do sistema radicular e alta condutividade hidráulica na raiz, para maximizar a captação de água e o controle da abertura estomática. Por outro lado, um aumento excessivo no teor de água no solo pode favorecer um intenso desenvolvimento vegetativo da cultura e valores de IAF excessivamente altos. Isso implica menor disponibilidade de luz para a planta em virtude do autosombreamento, o que reduz a eficiência fotossintética e o rendimento de grãos (NASCIMENTO, 2009).

A determinação da AF pode ser realizada por dois métodos: os diretos, que são aqueles que utilizam medições realizadas diretamente nas

folhas. E os métodos indiretos, que baseiam-se na correlação conhecida entre uma variável medida e a área foliar. Os métodos destrutivos exigem a retirada da folha, o que, muitas vezes, não é possível, devido à limitação do número de plantas, na parcela experimental. Nos métodos não-destrutivos, as medidas são tomadas na planta, sem a necessidade da remoção de estruturas (BENINCASA, 2003).

O método padrão (*scanner*) de mensuração de área foliar modelo LICOR® 3100 é um dos mais utilizados para a determinação da AF, por pesquisadores da região do Agropólo Mossoró-Assu, bem como de outras regiões do País (ANDRADE, 2006; PORTO FILHO et al., 2006; CARMO, 2009; GONZAGA, 2009; DUARTE; PEIL, 2010).

Lima Filho (2000) estudando o efeito do plantio consorciado sobre o comportamento hídrico, trocas gasosas e produtividade do milho cv. Centralmex e do feijão-caupi em condições semiáridas em Petrolina, PE, em um Latossolo Vermelho, verificou um IAF de 2,8 para a cultivar Pitiúba. Um IAF acima de 3 representa para o feijão-caupi máximo desenvolvimento do dossel, possibilitando uma maior interceptação de luz solar, resultando em maior taxa fotossintética líquida (SUMMERFIELD, 1985).

Nascimento et al. (2011), avaliaram o efeito do déficit hídrico sob as características fisiológicas e reprodutivas em genótipos de feijão-caupi, em Teresina, Piauí, em um Argissolo Amarelo de textura franco-arenosa, constataram que o déficit hídrico reduziu em 20% o índice médio de área foliar. Para as condições de irrigação plena, o valor máximo de IAF foi 5,0, para o genótipo BRS Paraguaçu; o menor foi de 3,9 para o Pingo-de-ouro e o valor médio obtido durante todo o ciclo da cultura foi de 4,5.

Oliveira (2014), com o objetivo de avaliar a capacidade competitiva de quatro cultivares de feijão-caupi (IPEAN V69, BR8 Caldeirão; BRS Guariba; BR 17 Gurguéia) e três espaçamentos entre linhas (0,5; 0,4 e 0,3 m) em solo de terra firme, em um Latossolo Amarelo Álico, em Manaus-AM, encontraram valores máximo de IAF de 2,98, 3,76 e 4,43 para a cv. BR 8 Caldeirão com os espaçamentos 0,5 m, 0,4 m e 0,3 m, respectivamente.

2.8 Eficiência do uso da água (EUA)

Existe uma tendência natural de aumento do uso da água no futuro, seja pelo aumento populacional, culminando em uma maior necessidade por alimentos, seja pela disponibilidade de terras com aptidão para uso na agricultura irrigada estimadas em 470 milhões de hectares (CHRISTOFIDIS, 2002). Portanto, existe expectativa de aumento da demanda de água para o futuro próximo, mas não há previsão de aumento da água doce no planeta. Pelo contrário, os intermináveis desmatamentos e uso inadequado do solo têm mantido um elevado escoamento superficial com uma baixa reposição contínua dos mananciais e fontes hídricas (COELHO et al., 2005).

A disponibilidade de água está diretamente relacionada ao rendimento das plantas. Em cultura irrigada e considerando o custo do insumo água na produção, é importante conhecer a eficiência de uso da água agrônômica, obtida pela relação entre a produtividade de grãos e a lâminas de irrigação aplicadas (FREIRE FILHO et al. 2005).

A partir da eficiência do uso da água é possível analisar a resposta produtiva ao suprimento de água pela cultura (IGBADUN et al., 2006), a fim de determinar as condições de disponibilidade de água favoráveis para o cultivo de uma determinada espécie (KO; PICCINNI, 2009). Em condições de sequeiro, a quantificação dessa eficiência permite selecionar variedades mais tolerantes ao estresse hídrico. Por outro lado, em áreas irrigadas, o seu conhecimento é fundamental para o manejo da frequência e duração dos intervalos de reposição de água no solo, bem como para análise da viabilidade econômica da utilização de tecnologias de irrigação e de seus efeitos sobre o rendimento das culturas (ALI et al., 2007; KARAM et al., 2007).

Dinar (1993) menciona o manejo adequado de irrigação como um meio para se elevar os valores de EUA. Segundo Melo et al. (2010), a EUA aumenta quando ocorre uma redução da lâmina aplicada sem diminuição da produção. Para Lima et al. (2004), com apenas 1% do aumento da EUA na Região Nordeste, estima-se que haveria uma economia de 165 mil litros de água por hectare irrigado por ano.

Cardoso (1997) objetivando avaliar o comportamento produtivo do feijão-caupi, de porte enramador e moita, em diferentes densidades de plantas,

em um solo Neossolo Flúvico, em Teresina, encontraram os melhores valores de eficiência de uso da água em torno de $0,94 \text{ kg m}^{-3}$ e $0,71 \text{ kg m}^{-3}$, para as cultivares Vita 7 e BR 14 Mulato, respectivamente.

Andrade Júnior et al. (2002), ao avaliar os efeitos da aplicação de lâminas de irrigação sobre a produtividade de grãos e seus componentes em cultivares de feijão caupi nas condições edafoclimáticas dos Tabuleiros Costeiros, em Parnaíba, PI, em um Neossolo Quartzarênico Órtico Típico, observaram uma EUA, com máxima de $0,661 \text{ kg m}^{-3}$, com aplicação da lâmina de irrigação de 306,3 mm, para a cultivar BR 14 Mulato.

Ferreira (2007), avaliando feijão-caupi (cv. BRS Guariba) em um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico, em Teresina, Piauí, alcançou um valor máximo de eficiência de uso de água em torno de $0,41 \text{ kg m}^{-3}$ com aplicação de uma lâmina de irrigação de 390,1 mm.

Ramos (2011), encontrou valores máximos de eficiência de uso da água em torno de $0,420 \text{ kg m}^{-3}$ e $0,429 \text{ kg m}^{-3}$, obtidas 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 Clima e características do solo da área experimental

O experimento foi conduzido no período de agosto a novembro de 2014, no Campo Experimental da Embrapa Meio-Norte, em Teresina, Piauí (05°05'S; 42°48'W e 74,4 m de altitude). O clima do município, de acordo com a classificação climática de Thornthwaite e Mather (1955), é C1sA'a', caracterizado como subúmido seco, megatérmico, com excedente hídrico moderado no verão. Durante o trimestre setembro-outubro-novembro ocorre uma concentração de 32% da evapotranspiração potencial anual, sendo que as médias anuais de umidade relativa do ar e de precipitação são de 72,6% e 1.343,3 mm, respectivamente, concentrando a maioria das chuvas nos meses de janeiro a abril (BASTOS e ANDRADE JÚNIOR, 2014).

O solo do campo experimental é um Argissolo Amarelo eutrófico (MELO et al., 2014) de textura franco-arenosa, cujas características físico-hídricas e químicas estão descritas nas Tabelas 2 e 3, respectivamente.

Tabela 2. Características físico-hídricas do solo da área experimental da Embrapa Meio-Norte. Teresina, PI, 2014.

Prof. (m)	Granulometria (g kg ⁻¹)				(% em volume)	
	Areia grossa	Areia fina	Silte	Argila	CC	PMP
0,0 – 0,2	451,8	190,4	164,5	193,3	22,0	9,3
0,2 – 0,4	471,3	180,2	168,0	178,7	20,8	11,0

Fonte: Laboratório de solos da Embrapa Meio-Norte. CC: capacidade de campo. PMP: Ponto de murcha permanente

Tabela 3. Características químicas do solo da área experimental da Embrapa Meio-Norte. Teresina, PI, 2014.

Prof. (m)	MO	pH	P	K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H ⁺ +Al ³⁺	CTC	V
	g kg ⁻¹	H ₂ O	mg dm ⁻³	-----cmol _c dm ⁻³ -----							(%)
0,0 – 0,2	7,7	6,1	34,4	0,2	0,04	2,2	0,5	0,05	1,4	4,5	66,8
0,2 – 0,4	8,5	6,0	25,1	0,2	0,04	2,1	0,5	0,05	1,9	4,9	60,0

Fonte: Laboratório de solos da Embrapa Meio-Norte.

3.2 Preparo do solo

O preparo do solo consistiu de roço, uma aração e uma gradagem niveladora.

As adubações de fundação e cobertura foram efetuadas com base na análise de solos e seguindo as exigências nutricionais do feijão-caupi (SISTEMA DE PRODUÇÃO CAUPI, 2003). A adubação de fundação consistiu na aplicação de 50 kg de P_2O_5 ha^{-1} (superfosfato simples) e 40 kg de K_2O ha^{-1} (cloreto de potássio). Na adubação de cobertura, realizada 20 dias após a emergências das plântulas, foram aplicados 20 kg de N ha^{-1} (ureia), uma vez que trata-se de um solo arenoso com menos de 10 g kg^{-1} de matéria orgânica (EMBRAPA MEIO-NORTE, 2003).

3.3 Semeadura

A cultivar BRS Tumucumaque foi semeada manualmente, nos dias 27 e 28 de agosto de 2014, em sulcos com espaçamentos diferenciados, conforme os tratamentos. O desbaste foi feito aos 15 dias após a semeadura, deixando-se 120 plantas na área útil de cada subparcela. Para manter esse número, foi necessário estabelecer diferentes números de fileiras por área útil (Tabela 4), uma vez que, para os espaçamentos maiores havia maior número de plantas por fileira e nos espaçamentos menores havia menor número de plantas por fileira.

A população de plantas desejada foi estabelecida em 166.000 plantas por hectare que se mostrou adequada para cultivares de porte semiereto.

Tabela 4. Espaçamento entre fileiras e número de plantas/área útil de feijão-caupi, cv. BRS Tumucumaque. Teresina-PI, 2014.

Espaçamento entre fileiras (m)	Nº de fileiras na área útil	Nº plantas/área útil	Nº plantas/m	EDF (m)
0,36	5	120	6	0,166
0,45	4	120	7,5	0,133
0,60	3	120	10	0,100
0,90	2	120	15	0,066

EDF – Espaçamento entre plantas dentro da fileira

3.4 Tratos culturais e controle fitossanitário

Realizou-se o controle de plantas daninhas manualmente com enxada, sempre que necessário. O controle preventivo fitossanitário de pragas foi realizado com inseticida à base de *Thiamethoxam* aos 21 e aos 38 dias após a semeadura para a prevenção do pulgão na dose de 20 g 20 L⁻¹.

3.5 Sistema de irrigação

Foi utilizado um sistema de irrigação por aspersão convencional fixo, com aspersores de impacto com bocais de 4,4 mm x 3,2 mm, vazão de 1,59 m³ h⁻¹ a uma pressão de serviço de 3,0.10⁶ Pa, espaçados de 12 m x 12 m.

Aos 15 dias após a semeadura foram instalados 16 coletores, para coleta das lâminas, perfazendo um total de 80 coletores na área experimental (Figura 1). Esses coletores foram espaçados de 3,0 m x 3,0 m e ficaram localizados entre quatro aspersores.

A lâmina média de irrigação efetivamente aplicada em cada faixa foi determinada com base nas medições realizadas, imediatamente após cada irrigação.

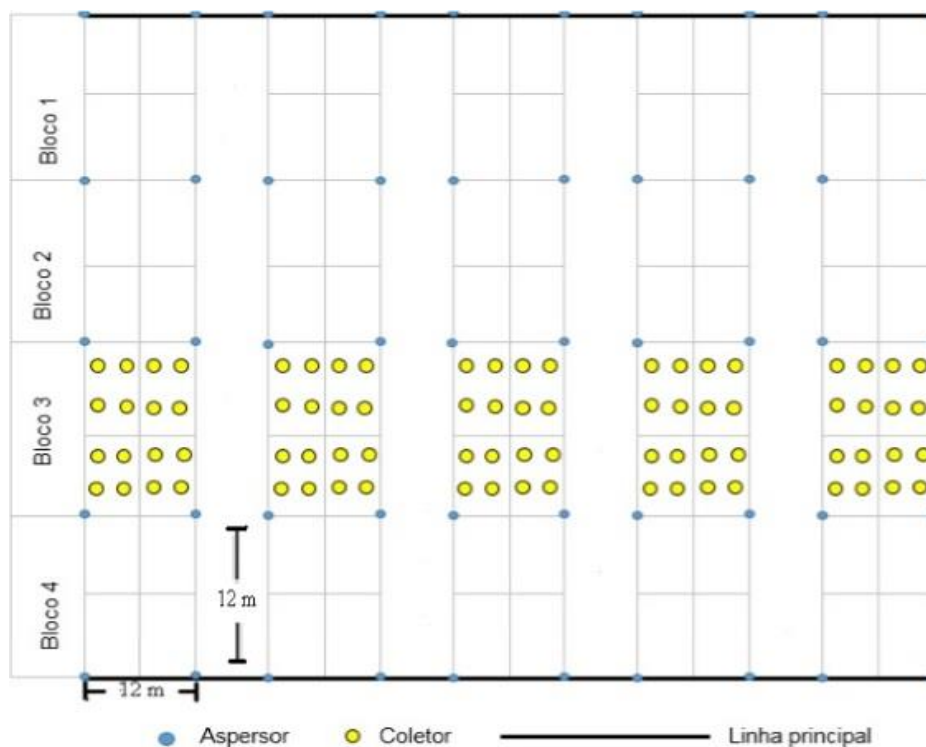


Figura 1. Identificação dos coletores para a coleta das lâminas de irrigação.

O manejo da irrigação, antes da aplicação das lâminas diferenciadas, baseou-se no Kc da cultura do feijão-caupi, recomendado por Andrade Júnior et al. (2000) para o local e fase da cultura, e nos valores da evapotranspiração de referência (ET_o), estimada pelo método de *Penman-Monteith* (ALLEN et al., 1998), cujos dados climáticos foram obtidos na estação agrometeorológica automática da Embrapa Meio-Norte, localizada a 500 m da área experimental. A partir dos 35 dias após a semeadura, iniciou-se a diferenciação das lâminas aplicadas e o manejo de irrigação foi realizado de acordo com a variação da ET_o em função das lâminas pré-definidas.

3.6 Monitoramento do teor de água no solo

O monitoramento do teor de água no solo (% em volume), feito a cada 0,1 m e até 0,7 m de profundidade, foi executado por meio de uma sonda de capacitância modelo Diviner 2000®, que se constitui de um equipamento portátil, utilizando o princípio da capacitância elétrica. Para este monitoramento, foram instalados, aos 15 dias após a semeadura, 20 tubos de acesso de PVC, com 1,0 m de comprimento, para medir a leitura da umidade do solo, sempre antes da irrigação, no começo da manhã e a outra no final da irrigação, à tarde. Os tubos foram instalados nas fileiras centrais de cada tratamento, sendo quatro em cada faixa das lâminas de irrigação e um em cada espaçamento, totalizando 20 tubos instalados na área (Figura 2).

3.7 Tratamentos e delineamento experimental

Os tratamentos foram constituídos por quatro espaçamento entre linhas de plantas: E1 – 0,36 m; E2 – 0,45 m; E3 – 0,60 m e E4 – 0,90 m e cinco níveis de irrigação (L5 – 160%, L4 – 130%, L3 – 100%, L2 – 70% e L1 – 40% da ET_o). A distribuição das lâminas de irrigação e espaçamento entre linhas de plantas está apresentada na Figura 2.

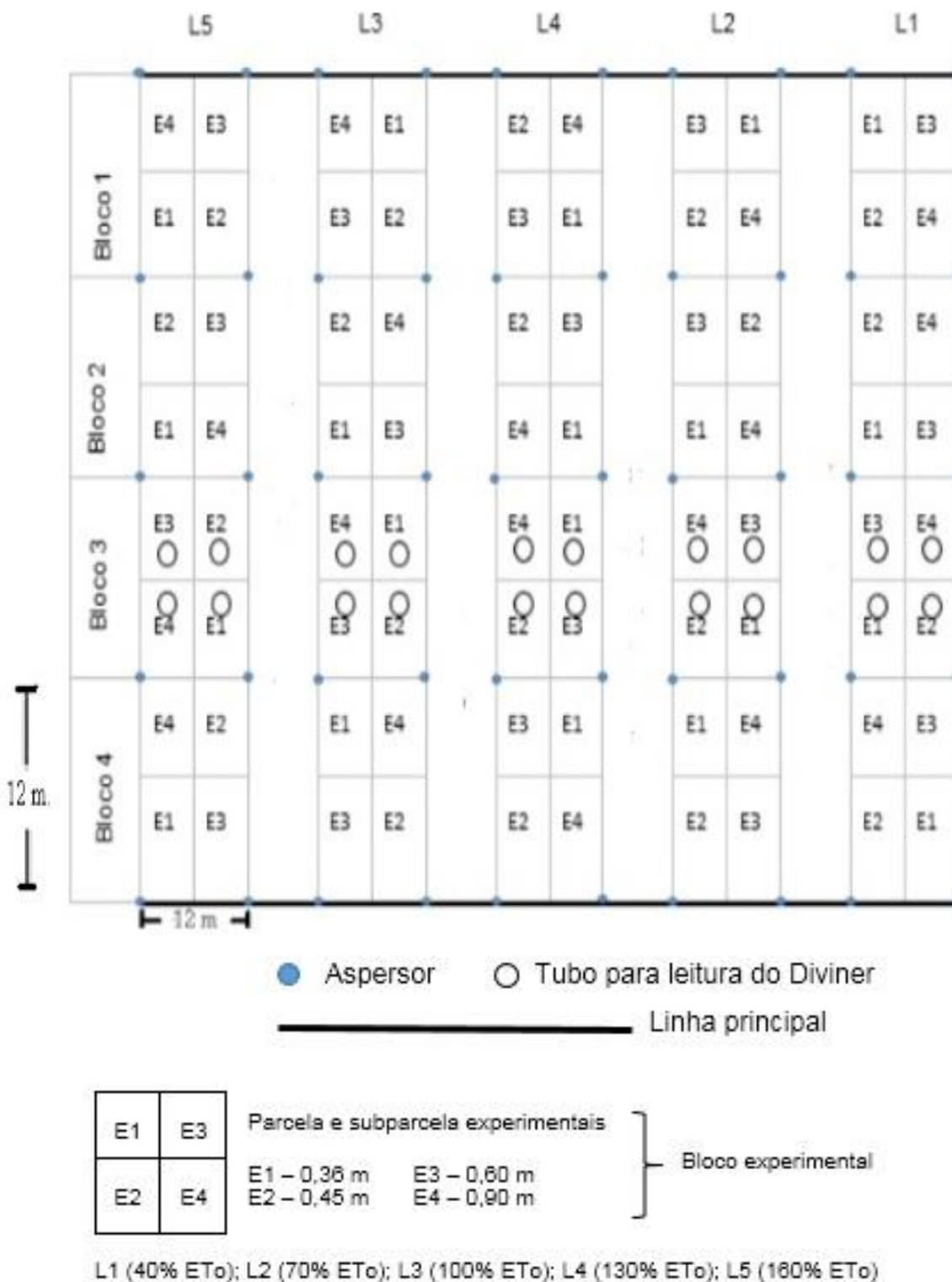


Figura 2. Localização dos tubos de acesso de PVC dentro das lâminas e espaçamentos entre linhas.

Utilizou-se o delineamento experimental de blocos casualizados (DBC), no esquema de parcelas subdivididas com quatro repetições, sendo as

lâminas de irrigação alocadas nas parcelas e os espaçamentos entre fileiras nas subparcelas.

3.8 Avaliações

3.8.1 Características avaliadas

A colheita ocorreu no dia 06 de novembro de 2014.

Foram mensuradas as seguintes características: comprimento de vagens, número de vagens por planta, número de grãos por vagem, massa de cem grãos, produtividade de grãos (kg ha^{-1}), relação grão-vagem e eficiência do uso da água.

O comprimento de vagens correspondeu ao comprimento médio de 10 vagens escolhidas aleatoriamente da área útil da parcela. O número de vagens por planta foi determinado pela relação entre o número total de vagens e o stand (total de plantas na área útil). O número de grãos por vagens foi obtido pela contagem dos grãos de 10 vagens e em seguida foi efetuado a média. A massa de cem grãos foi mensurada contando-se 100 grãos das 10 vagens escolhidos aleatoriamente e pesando-se em seguida em uma balança eletrônica. A relação grão/vagem foi encontrada pela relação entre o peso de grãos e o peso de vagens oriundos da área útil da parcela. O peso de grãos foi corrigido para um teor de 13% de umidade, posteriormente foi calculada a produtividade de grãos atual (kg ha^{-1}) e a produtividade de grãos corrigida (kg ha^{-1}), conforme as equações 2 e 3, respectivamente.

$$\text{PRODG}_{\text{atual}} = \frac{10}{7,2} * PG \quad (2)$$

Onde:

$\text{PRODG}_{\text{atual}}$: Produtividade de grãos atual (kg ha^{-1})

7,2: área útil da parcela (m^2)

PG: peso de grãos (g)

$$PG_{\text{corrig}} = \frac{(100 - U_{\text{atual}}) * \text{ProdG}}{100 - U_{13\%}} \quad (3)$$

Onde:

PG_{corrig} : Produtividade de grãos corrigida (kg ha^{-1})

PG: Produtividade de grãos atual (kg ha^{-1})

U_{atual} : umidade inicial encontrada no grão por ocasião da colheita (%)

$U_{13\%}$: umidade desejada a 13%

Calculou-se a eficiência do uso de água, dividindo as produtividades de grãos (PG, kg ha^{-1}) pelas lâminas de irrigação aplicadas (L, mm), conforme a equação 4.

$$EUA = \frac{PG}{L}/10, (\text{kg m}^{-3}) \quad (4)$$

3.8.2 Índice de área foliar (IAF)

Determinou-se, semanalmente, o IAF a partir dos 36 até os 64 dias após a semeadura, totalizando cinco leituras. Foram feitas duas leituras com o equipamento portátil LAI-2000, em cada subparcela na posição central da área útil (uma acima e três abaixo do dossel), e posteriormente foi estimado uma média. A relação entre a luz incidente acima da cultura e embaixo da copa das plantas fornece a transmitância de cada ângulo, que é inversamente proporcional ao índice da área foliar (HOFFMAN; BLOMBERG, 2004).

3.9 Análise estatística

Os dados foram submetidos a análise de variância utilizando o programa estatístico ASSISTAT 7.6 beta (SILVA; AZEVEDO, 2009) e as médias comparadas pelo teste Tukey com ($p \leq 0,05$) de significância.

Utilizou-se o programa computacional Table Curve (2D) para encontrar os coeficientes da regressão das características agrônômicas que foram significativos. Os coeficientes encontrados foram organizados em planilhas do Excel para posteriormente serem plotados em gráficos.

A correlação de Pearson foi utilizada com os dados de produtividade de grãos em relação aos componentes de produção.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Dados climáticos

Os dados climáticos de temperatura máxima, mínima e média do ar, umidade relativa do ar, precipitação pluviométrica, no período de condução do experimento, encontram-se nas Figuras 3, 4 e 5, respectivamente.

Verificou-se no período de condução do experimento valores médios de temperatura média do ar variando em torno de 28°C a 32°C. A temperatura máxima do ar apresentou uma variação de 33°C a 39°C, caracterizando-se assim como um ambiente de calor excessivo. Temperaturas elevadas podem prejudicar a fotossíntese líquida e, conseqüentemente, o crescimento e desenvolvimento do feijão-caupi, exercendo influência sobre o abortamento de flores, o vingamento e a retenção final de vagens, podendo atuar também na redução do número de grãos por vagem e na produtividade de grãos (CARDOSO et al., 2005). As temperaturas mínimas do ar no período ficaram em torno de 21°C a 25°C (Figura 3).

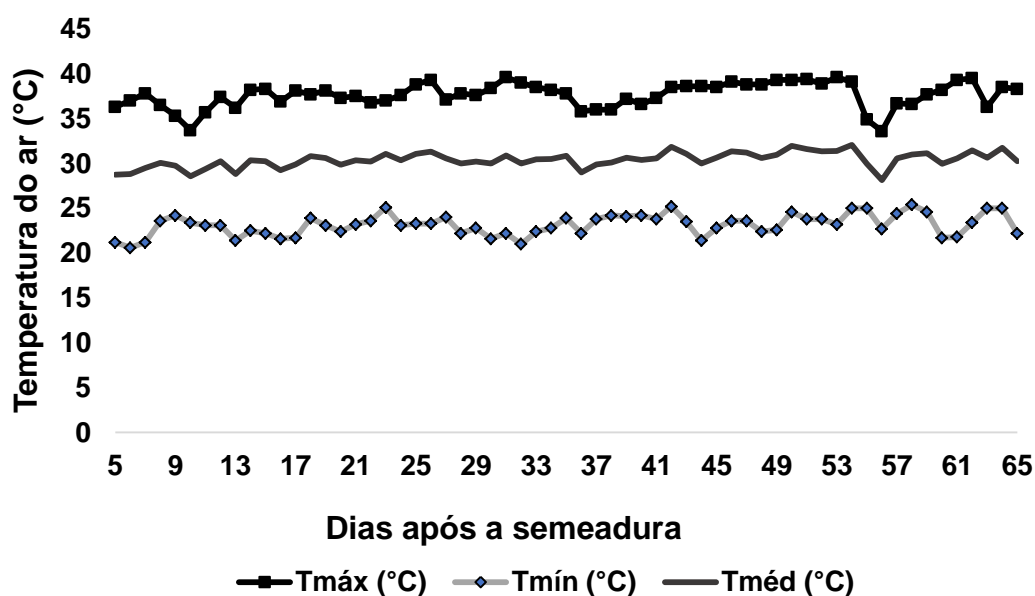


Figura 3. Variação das temperaturas máxima (Tmax), média (Tméd) e mínima (Tmín) do ar ao longo do ciclo do feijão-caupi. Teresina, PI, 2014.

Analisando-se os dados de umidade relativa do ar, verifica-se uma variação durante todo o período experimental, sendo que os valores máximos e mínimos mantiveram-se em torno de 84% (05/09), aos nove dias após a semeadura (DAS) e 43% (31/10), aos 65 DAS, ou seja, no início e final do período experimental respectivamente. (Figura 5)

Pode-se observar que nos períodos que ocorreu baixa umidade relativa do ar coincidiu com a elevação da temperatura máxima do ar e com o período de diferenciação dos tratamentos, sob essas condições, e sob déficit hídrico, o ciclo vegetativo da cultura do feijão-caupi e, principalmente a produtividade de grãos são comprometidos.

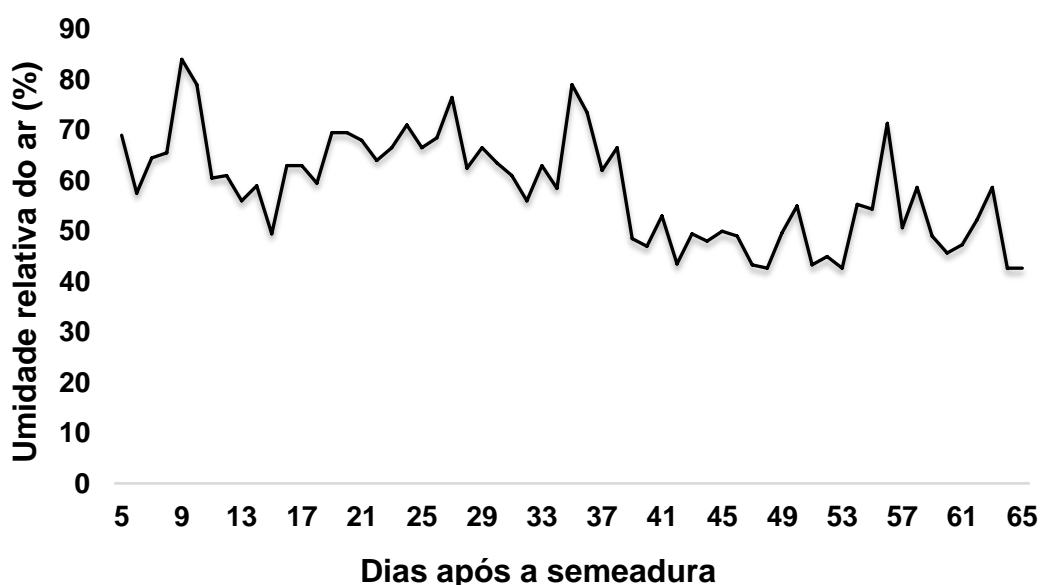


Figura 4. Variação umidade relativa do ar ao longo do ciclo do feijão-caupi. Teresina, PI, 2014.

Durante a condução do experimento, observa-se na Figura 5, que houve três dias que ocorreram precipitação pluviométrica, aos 10 dias após a semeadura (7 mm), aos 36 dias após a semeadura (10 mm) e aos 56 dias após a semeadura (20 mm). Essas precipitações não interferiram nas lâminas, uma vez que a maioria delas já ocorreu no final do ciclo.

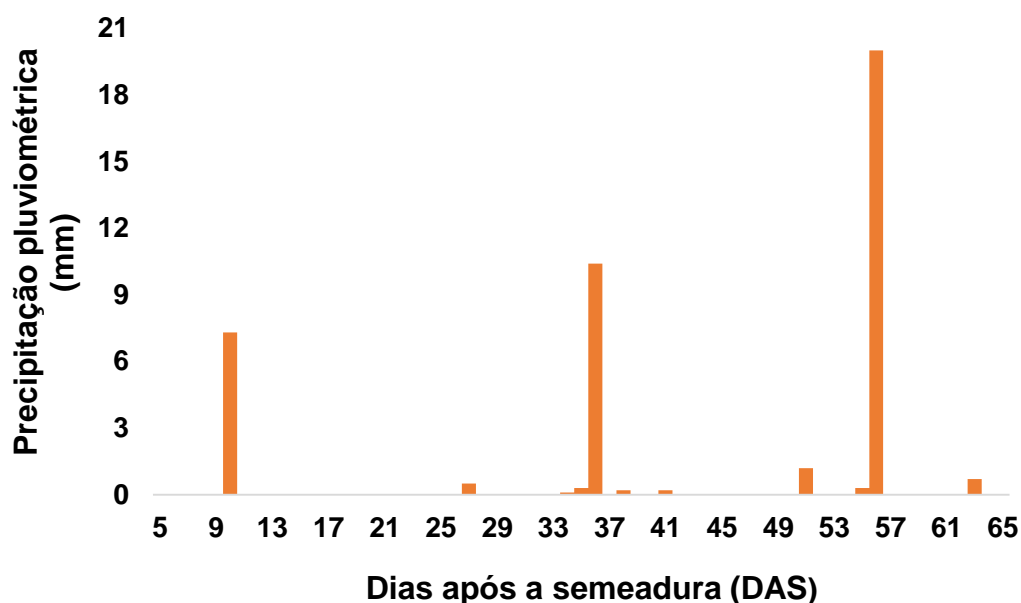


Figura 5. Variação da precipitação pluviométrica ao longo do ciclo do feijão-caupi em Teresina, PI, 2014.

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

As lâminas de irrigação aplicadas antes e durante a aplicação dos tratamentos, bem como o total aplicado durante o ciclo da cultura são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Lâminas de irrigação (mm) aplicadas e precipitação pluviométrica durante o período experimental.

Fases/Lâminas	L1	L2	L3	L4	L5
Antes da diferenciação dos tratamentos ¹	147,1	148,9	139,9	137,7	162,5
Durante a diferenciação dos tratamentos ²	29,1	72,0	109,2	145,5	191,8
Precipitação Pluviométrica ³	22,1	22,1	22,1	22,1	22,1
Total aplicado	198,3	243,0	271,3	305,4	376,4

¹Período da semeadura até os 35 dias após a semeadura (DAS); ²Período dos 36 aos 61 dias após a semeadura (DAS), respectivamente; ³Precipitação pluviométrica ocorridas nos 56 e 63 dias após a semeadura (DAS), respectivamente.

L1 – 40% ETo; L2 – 70% ETo; L3 – 100% ETo; L4 – 130% ETo; L5 - 160% ETo

A aplicação das frações de 40%, 70%, 100%, 130% e 160% da ETo no período de desenvolvimento da cultura, resultou nas seguintes lâminas totais de irrigação: 198,5 (L1); 243,0 (L2); 271,3 (L3); 305,4 (L4) e 376,4 mm (L5), respectivamente.

Durante o período dos 36 aos 61 DAS do feijão-caupi foram aplicadas lâminas diferenciadas de irrigação (160%, 130%, 100%, 70% e 40% da ETo), correspondendo a aplicação total de 191,8; 145,6; 109,2; 72,0; 29,1 mm, respectivamente.

A Figura 6 está representando a variação média do teor de água no solo na profundidade de 0,0 – 0,2 m.

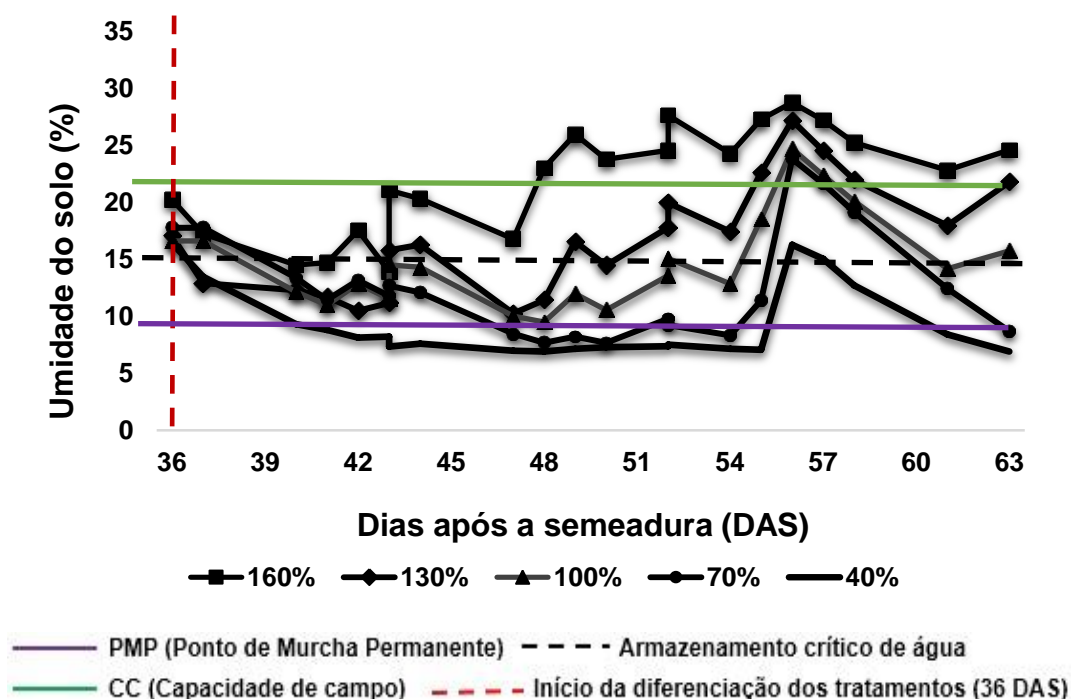


Figura 6. Variação do teor de água no solo para profundidade de 0,00 – 0,20 m, ao longo do período do 36º ao 65º dias após a semeadura (DAS) do feijão-caupi em função das lâminas de irrigação aplicadas. Teresina, PI, 2014.

A partir dos 36 DAS, com a aplicação das cinco lâminas de irrigação impostas, pode-se observar uma diferença na umidade do solo entre os tratamentos, os quais oscilaram entre 7%, imposta com a menor lâmina de irrigação, ficando abaixo do limite inferior de disponibilidade de água, ou seja, abaixo do ponto de murcha permanente (9%), e 28%, imposto com o tratamento de maior lâmina de irrigação, que permaneceu acima da capacidade de campo (22%).

Com isso, constatou-se que houve diferentes níveis de deficiência hídrica. Pode-se observar que para as menores lâminas (40% e 70%) houve, praticamente, 100% de esgotamento de água no solo durante todo o período da aplicação das lâminas diferenciadas, indicando um déficit hídrico severo. Somente os tratamentos que repuseram 130% e 160% proporcionaram teores de água no solo acima da umidade crítica, destacando que a maior lâmina provocou excesso de umidade, pois apresentou valores acima da capacidade de campo a partir de 47 dias após a semeadura.

Na Figura 7 observa-se a variação média do teor de água no solo na profundidade de 0,2 – 0,4 m.

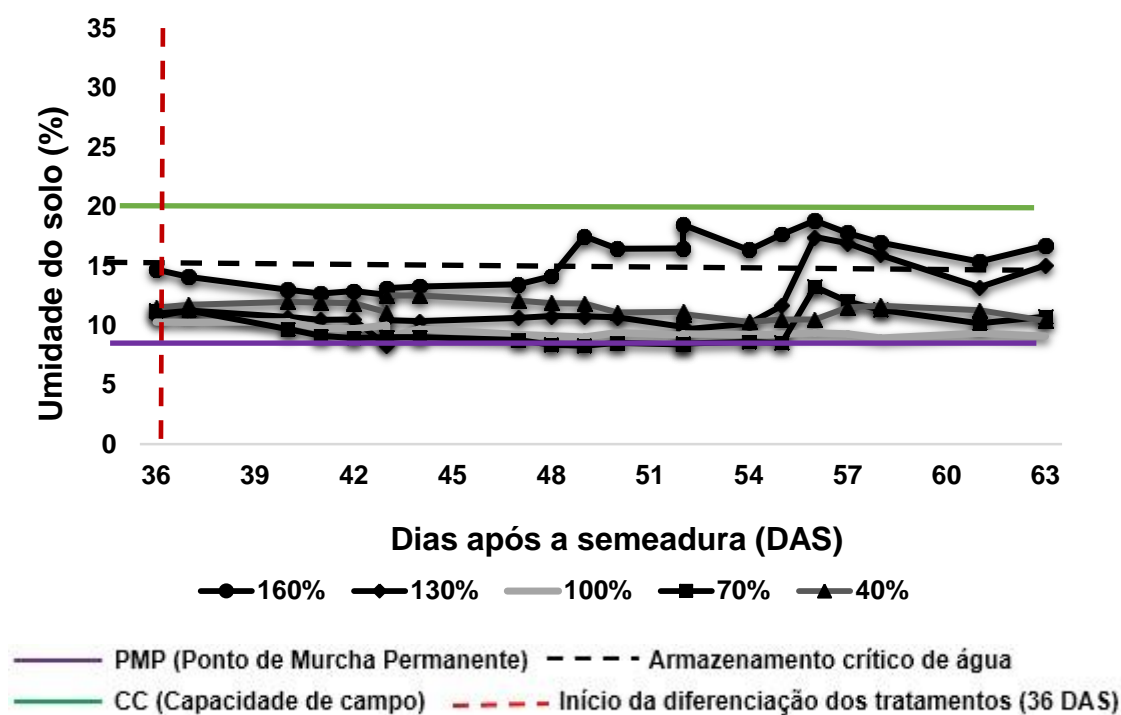


Figura 7. Variação do teor de água no solo para profundidade de 0,20 – 0,40 m, ao longo do período do 36º ao 65º dias após a semeadura (DAS) do feijão-caupi em função das lâminas de irrigação aplicadas. Teresina, PI, 2014

A partir dos 36 dias após a semeadura, com a aplicação dos tratamentos, observou-se uma variação da umidade do solo.

Os valores indicaram que o tratamento de maior lâmina de irrigação apresentou os maiores valores de umidade do solo, quase sempre acima da umidade crítica e próximo à capacidade de campo. O tratamento de 130% alcançou valores do teor de água no solo entre a umidade crítica e a

capacidade de campo, implicando em um nível de esgotamento máximo de 50%. Os demais tratamentos proporcionaram um nível de esgotamento de água no solo de praticamente de 100%, comprovando que tanto nas camadas de 0 a 0,2 m e de 0,2 a 0,4 m, o déficit hídrico foi severo para as menores lâminas aplicadas

4.3 Componentes de produção e produtividade de grãos

Na Tabela 6 é apresentado o resumo da análise de variância e os respectivos coeficientes de variação para comprimento de vagens (CVg, cm), número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV), massa de cem grãos (PCG, g), produtividade de grãos (PG, kg ha⁻¹), relação grão-vagem (RGV) e eficiência de uso da água (EUA, kg m⁻³).

Tabela 6. Resumo da análise de variância e dos coeficientes de variação para comprimento de vagens (CVg, cm), número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV), massa de cem grãos (MCG, g), produtividade de grãos (PG, kg ha⁻¹), relação grão-vagem (RGV) e eficiência de uso da água (EUA, kg m⁻³) na cv. BRS Tumucumaque em função de cinco lâminas de irrigação e quatro espaçamentos entre fileiras, em Teresina – PI, 2014.

FV	GL	Quadrado Médio						
		CVg	NVP	NGV	MCG	PG	RGV	EUA
Blocos	3	1,01 ^{ns}	3,64 ^{ns}	2,60*	8,43 ^{ns}	347449,46**	0,005 ^{ns}	4,96**
Lâm (a)	4	10,62**	46,28**	22,48**	19,28*	4212229,75**	0,09**	23,24**
Resíduo (a)	12	0,48	1,42	0,46	5,70	51123,43	0,002	0,69
Espaço (b)	3	0,66 ^{ns}	0,53 ^{ns}	0,35 ^{ns}	0,85 ^{ns}	254551,28**	0,004 ^{ns}	2,25**
Inter. Ta x Tb	12	0,83 ^{ns}	1,71 ^{ns}	0,71 ^{ns}	3,94 ^{ns}	115695,87**	0,007*	1,16*
Resíduo (b)	45	0,76	1,09	1,53	4,57	38339,36	0,004	25,67
CV (%) (a)	--	3,49	28,91	5,29	10,97	23,82	7,65	25,67
CV (%) (b)	--	4,40	25,47	9,67	9,83	20,63	10,04	22,10

*, ** e ns – significativo a 5%, 1% e não significativo, respectivamente, pelo teste F.

A análise de variância demonstrou que para o fator lâmina de irrigação, houve efeito ($p < 0,01$) para todas as características avaliadas. Com relação ao fator espaçamento, houve efeito ($p < 0,01$) apenas para PG e EUA.

Resultados semelhantes foram obtidos por Ramos (2011), que avaliou as características produtivas, fisiológicas e econômicas do feijão-caupi, para grãos verdes, sob diferentes regimes hídricos em Teresina, Piauí, em um

Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico. Este autor observou efeito significativo das lâminas de irrigação para a produtividade de grãos e para os componentes de produção: número de grãos por vagem, comprimento de vagem e para a eficiência do uso da água, corroborando assim com o presente estudo. Estes resultados podem ser explicados em decorrência do déficit hídrico promover fechamento de estômatos, reduzindo a produção de fotoassimilados. Com isso, os componentes de produção e a produtividade de grãos são reduzidos.

O comprimento de vagem mostrou que o efeito médio das lâminas de irrigação ajustou-se a uma função linear crescente para a cv. BRS Tumucumaque. Os valores obtidos nesta pesquisa variaram de 19,1 cm a 20,5 cm (Figura 8), inferior ao comprimento médio de vagem para esta cultivar, que é de 21 cm (FREIRE FILHO et al., 2009). A causa pode ter sido pelo déficit hídrico e, provavelmente, os elevados valores de temperatura do ar influenciaram na redução desse componente de produção.

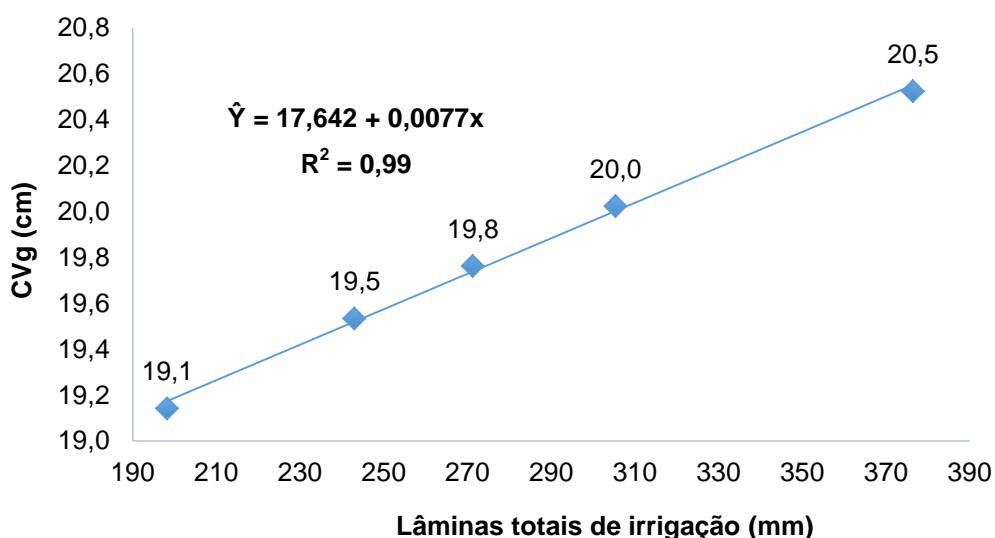


Figura 8. Comprimento de vagens (CVg) em função das lâminas totais de irrigação para a cv. BRS Tumucumaque. Teresina, PI. 2014.

De acordo com o coeficiente angular do modelo obtido houve um ganho de 0,007 cm de comprimento de vagens para cada um milímetro de lâmina de irrigação aplicado.

Tagliaferre et al. (2013), com o objetivo de estudar o efeito de cinco diferentes lâminas de irrigação e quatro doses de nitrogênio sobre as

características agronômicas do feijão-caupi inoculado (Guaribas), em um Cambissolo Háplico Tb distrófico, no município de Vitória da Conquista – BA, obtiveram efeito não significativo para o CVg, com a aplicação de níveis de nitrogênio e lâminas de irrigação no feijão-caupi. Estes autores encontraram valor médio de 20,2 cm, divergindo assim com os resultados encontrados no trabalho em questão. Ramos (2011) obteve diferenças significativas das lâminas de irrigação para o comprimento de vagens, encontrando valores médios em torno de 19,8 cm, resultados semelhantes aos encontrados nesta pesquisa.

O número de vagens por planta é um dos principais componentes de produção do feijão-caupi. Verificou-se uma resposta linear crescente em função das lâminas de irrigação aplicadas para a cultivar BRS Tumucumaque. Os valores obtidos variaram de 2,1 a 9,7 (Figura 9).

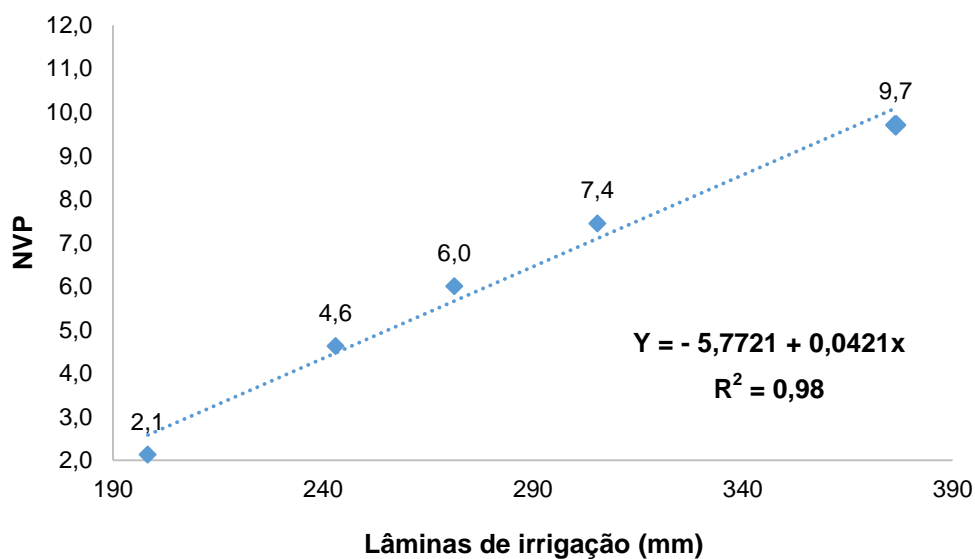


Figura 9. Número de vagens por planta (NVP) em função das lâminas de irrigação para a cv. BRS Tumucumaque. Teresina, PI. 2014.

Resultados semelhantes foram obtidos por Locatelli et al (2014), que avaliaram o desempenho de feijão-caupi sob cinco lâminas de irrigação, cultivado sobre palhada no cerrado roraimense, em um Latossolo Amarelo, no município de Boa Vista – RR. Os autores obtiveram efeito significativo para as lâminas de irrigação, com valor máximo em torno de 12,4, para a cultivar BRS

Novaera, 11,08 para a BRS Pajeú e 9,5 para a BRS Guariba, próximo ao obtido nessa pesquisa.

Ramos (2011) encontrou efeito significativo para o fator lâmina de irrigação com as cultivares BRS Guariba e BRS Paraguaçu, com valores 21,0 e 16,0 número de vagens por planta, respectivamente. Tagliaferre et al (2013) encontraram efeito quadrático, obtiveram um maior número de vagens por planta de 16,6. Resultados estes superiores aos encontrados no presente trabalho. Essas diferenças podem ser explicadas em decorrência das diferentes cultivares e tratamentos avaliados por esses autores.

Cardoso et al (2005), avaliando os efeitos da aplicação de diferentes lâminas de irrigação sobre os componentes de produção do feijão-de-corda, obtiveram para o número médio de vagens por planta, uma variação de 13,0 a 26,2, superior aos obtidos nesta pesquisa. Esses maiores valores podem ser explicados em decorrência da maior fertilidade do solo (Neossolo Flúvico) utilizado pelos autores.

De acordo com o coeficiente angular do modelo houve um incremento de 0,042 vagem por planta para cada um milímetro de lâmina de irrigação aplicado.

Para o número de grãos por vagem, verificou-se efeito linear crescente das lâminas de irrigação para a cultivar BRS Tumucumaque. Os valores obtidos variaram de 11,3 a 15,4. (Figura 10)

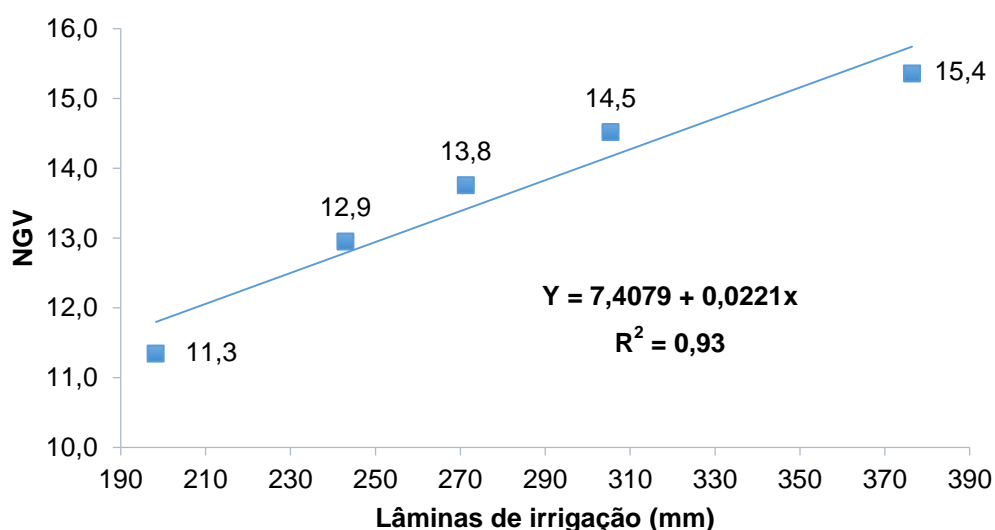


Figura 10. Número de grãos por vagens (NGV) em função das lâminas de irrigação para a cv. BRS Tumucumaque. Teresina, PI. 2014.

Ramos (2011) obteve resultados que corroboram com esta pesquisa. Este autor avaliou as características produtivas, fisiológicas e econômicas do feijão-caupi sob diferentes regimes hídricos, em um Argissolo Vermelho-Amarelo, em Teresina – PI e obteve efeito significativo das lâminas de irrigação para o NGV, ajustando-se a uma função linear, encontrando valores máximos de 15,0 grãos por vagem.

Tagliaferre et al (2013), objetivando estudar o efeito de diferentes lâminas de irrigação, 578 mm, 512 mm, 429 mm, 299 mm e 240 mm e níveis de nitrogênio: 0, 30, 60 e 90 kg ha⁻¹ de N, sobre as características agrônômicas do feijão-caupi inoculado, em um Cambissolo Háplico Tb distrófico, em Vitória da Conquista – BA, obtiveram efeito significativo para o NGV, apresentando efeito quadrático, sendo que encontraram o máximo número por vagem (11,96), valor este inferior ao encontrado neste estudo. Locatelli (2014) encontrou efeito significativo das lâminas de irrigação para as cultivares BRS Pajeú, BRS Guariba e para a cultivar BRS Novaera, obtendo valores máximos de 13,8, 12,3 e 7,96 NGV, respectivamente, resultados divergentes aos encontrados nesta pesquisa. As diferentes cultivares, bem como as condições de solo e clima e a influência das doses de nitrogênio podem explicar essas diferenças.

Para Oliveira et al. (2003), o componente número de grãos por vagem é de pouca importância direta na seleção para o aumento da produtividade; de conformidade com Lopes et al. (2011), que afirma ser esta variável é uma característica de alta herdabilidade genética pouco influenciada pelo ambiente.

De acordo com o coeficiente angular do modelo encontrado houve um incremento de 0,022 grãos por vagem para cada milímetro de lâmina de irrigação aplicado.

Para a massa de cem grãos, verificou-se efeito linear decrescente das lâminas de irrigação para a cultivar BRS Tumucumaque. Os valores obtidos variaram de 22,5 a 21,2. (Figura 11)

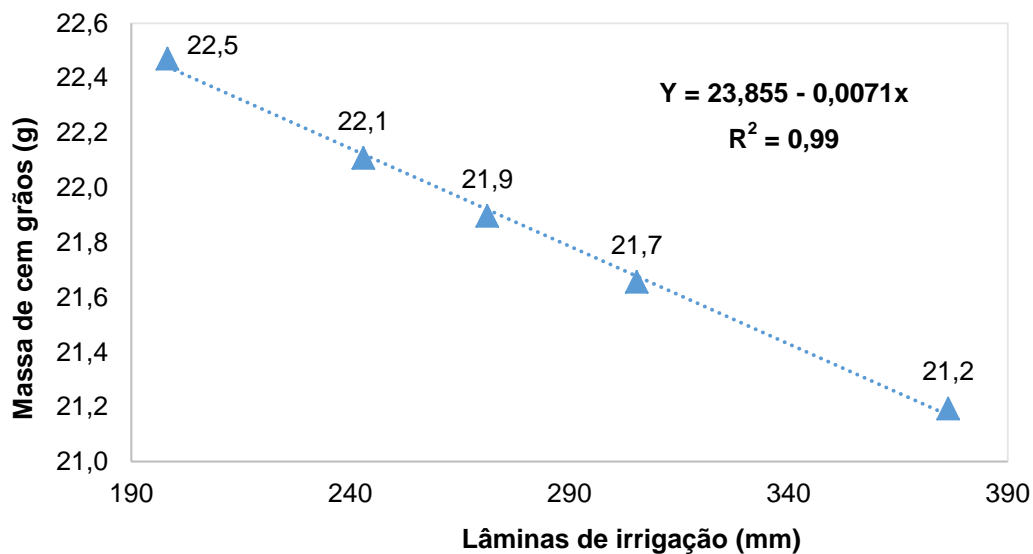


Figura 11. Massa de cem grãos (PCG) em função das lâminas de irrigação para a cv. BRS Tumucumaque. Teresina, PI. 2014.

Resultados semelhantes aos obtidos na presente pesquisa foram obtidos por Locatelli et al (2014), que observaram efeito significativo das lâminas de irrigação para o PCG, para as cultivares BRS Guariba e BRS Novaera, ajustando-se ao modelo de regressão polinomial linear decrescente, com os valores de 22,0 g e 19,6 g, respectivamente.

Teixeira et al. (2010), estudando o desempenho agrônomico e qualidade de sementes de cultivares de feijão-caupi na região do cerrado, Catalão – GO, encontraram massa de cem grãos de 17 g, para a cultivar BRS Marataoã, e de 19 g, para a cultivar BRS Guariba. Estes resultados são inferiores aos obtidos neste estudo. Essas diferenças podem estar associadas às diferentes condições de solo e clima e às cultivares utilizadas.

Analisando o coeficiente angular do modelo observou-se que houve um decréscimo de 0,007 g no peso de cem vagem para cada um milímetro de lâmina de irrigação aplicado.

Nas Tabelas 7 e 8 encontram-se os resultados da comparação de médias para a produtividade de grãos (PG) e relação grão-vagem (RGV).

Tabela 7. Médias da produtividade de grãos (PG, kg ha⁻¹) na cv. BRS Tumucumaque em função de cinco lâminas de irrigação e quatro espaçamentos entre fileiras, em Teresina-PI, 2014.

Lâminas (mm)	Espaçamentos (m)				Média
	0,36	0,45	0,60	0,90	
198,3	441,5 cA	491,0 bA	198,4 cA	332,9 cA	365,9
243,0	408,1 cA	569,1 bA	525,9 bcA	690,5 bcA	548,6
271,3	959,7 bA	845,5 bA	890,3 bA	860,1 abA	888,9
305,4	1642,6 aA	1540,9 aA	1383,4 abA	1122,7 aB	1422,4
376,4	1830,7 aA	1732,3 aA	1306,2 aB	1207,3 aB	1519,1
Média	1056,5	1035,92	860,87	842,75	

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

Houve interação significativa entre lâmina e espaçamento para as variáveis, produtividade de grãos e relação grão/vagem. Por serem quantitativos, procurou-se ajustar os dados à superfície de resposta, porém todos os modelos testados apresentaram regiões, ou seja, diversas combinações de espaçamento e lâmina que proporcionaram valores máximos de produtividade. Agronomicamente isso não é viável, e não se justifica. Por isso, optou-se por apresentar os resultados da interação com o teste de comparação de médias entre os tratamentos na forma de tabela.

A comparação de médias para a produtividade de grãos mostrou que os espaçamentos 0,36m e 0,45m não diferiram estatisticamente entre si, mas foram superiores aos espaçamentos 0,60m e 0,90 m. Isso pode ter ocorrido pelo aumento da competição intraespecífica entre as plantas de feijão-caupi dentro da fileira, e ao autosombreamento, principalmente nas maiores lâminas, uma vez que, quanto maior o espaçamento entre fileiras, maior o número de plantas na linha para manter a mesma população.

Pode-se perceber que a variação da produtividade de grãos, em valores médios, foi influenciada mais pelas lâminas de irrigação (365,9 a 1.519,1 kg ha⁻¹) do que pelo espaçamento entre fileiras (842,7 a 1.056,5 kg ha⁻¹). Isso pode ser justificado pelo efeito deletério do déficit hídrico imposto nas menores lâminas de irrigação (Tabela 7). Esse fato também pode ser comprovado ao se observar a variação da produtividade de grãos entre os

tratamentos, de 198,44 kg ha⁻¹ e 1.830,7 kg ha⁻¹, exatamente entre os tratamentos de menor (198,3 mm) e maior lâmina (376,4 mm), respectivamente. As reduzidas produtividades de grãos nos tratamentos de menores lâminas ocorrem porque o déficit hídrico provoca o fechamento dos estômatos e reduz a produção de fotoassimilados. Efeito negativo do déficit hídrico sobre a PG na cultura do feijão-caupi também foi observado por Nascimento et al. (2009), Ramos (2011) e Oliveira (2013).

A máxima produtividade de grãos (1.830,7 kg ha⁻¹) foi alcançada com um espaçamento de 0,36 m associada a uma lâmina de irrigação de 376,4 mm. Nesta lâmina, os maiores espaçamentos (0,60 e 0,90 m) apresentaram PG estatisticamente inferiores em relação aos menores espaçamentos (0,36 e 0,45m), o que pode explicado pelo maior número de plantas dentro da fileira naqueles tratamentos.

Resultados próximos foram obtidos por Oliveira (2013), com o objetivo de avaliar a distribuição da umidade do solo cultivado com feijão-caupi, cv. BRS Itaim, em função da aplicação de cinco lâminas de irrigação (30%, 60%, 90%, 120% e 150% da ETo) e quatro densidades de plantas (150.000; 200.000; 250.000; 300.000 plantas ha⁻¹), em um Argissolo Vermelho-Amarelo, em Teresina-PI, encontrou para a PG um valor máximo de 1.668,86 kg ha⁻¹ com uma lâmina de irrigação de 390,88 mm associada à densidade de 241.000 plantas ha⁻¹.

Cardoso (2015) com o objetivo de avaliar o comportamento produtivo do feijão-caupi, cv. Rouxinol, utilizou-se três espaçamentos entre fileiras (50, 70 e 90 cm) e quatro densidades de plantas (4; 8; 12 e 16 plantas m⁻²), em Teresina-PI, em um Argissolo Amarelo, sob regime de sequeiro. A produtividade máxima de grãos (1.670 kg ha⁻¹) foi alcançada com 7,75 plantas m⁻², inferior à máxima PG obtida nessa pesquisa (1.836 kg ha⁻¹). Essas diferenças podem ser explicadas em decorrência das diferentes densidades de plantas utilizadas, bem como das diferentes condições ambientais.

Apesar de não se dispor da superfície de resposta, pode-se constatar que espaçamentos variando de 0,36 a 0,45 m e lâminas de irrigação variando entre 305,4 a 376,4 mm foram os que proporcionaram as maiores produtividades de grãos (Tabela 7). Provavelmente devido a essa ampla variação, as superfícies de respostas (não apresentadas) indicaram diversas

combinações de espaçamento e lâmina para a maximização da produtividade de grãos. De qualquer forma, pode-se inferir que qualquer combinação nesses intervalos de lâmina e espaçamento proporcionará elevadas produtividades de grãos. Em termos práticos, podem-se orientar os produtores de feijão-caupi para ajustar suas máquinas de plantio nos espaçamentos de 0,45 ou 0,5 m, que são as opções de regulação presentes nos implementos agrícolas disponíveis no mercado atual.

Outra importante constatação é que a faixa de lâmina de irrigação (305,4 a 376,4 mm) que proporcionou os melhores rendimentos de grãos está de acordo com a demanda evapotranspirométrica local e próximo ao resultado obtido por Oliveira (2013) que, em condições semelhantes de solo e clima à esta pesquisa, obteve máxima produtividade de grãos de 1.668,86 kg ha⁻¹ com uma lâmina de irrigação de 390,9 mm, utilizando uma cultivar de feijão-caupi de porte ereto (BRS Itaim). Cultivares de porte ereto apresentam menor cobertura de solo e, por isso, possibilitam maior evaporação de água no solo. Provavelmente isso tenha contribuído para os maiores valores de lâmina de irrigação obtidos por Oliveira (2013).

Tabela 8. Médias da relação grão/vagem (RGV) na cv. BRS Tumucumaque em função de cinco lâminas de irrigação e quatro espaçamentos entre fileiras. Teresina-PI, 2014.

Lâminas (mm)	Espaçamentos (m)				Média
	0,36	0,45	0,60	0,90	
198,3	0,53 cA	0,53 bA	0,41 cB	0,45 bAB	0,48
243,0	0,55 bcA	0,61 abA	0,58 bA	0,62 aA	0,59
271,3	0,62 abcA	0,62 abA	0,60 bA	0,57 aA	0,60
305,4	0,66 abAB	0,66 aAB	0,75 aA	0,62 aB	0,68
376,4	0,70 aA	0,67 aA	0,65 abA	0,67 aA	0,67
Média	0,61	0,62	0,60	0,59	

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

Observou-se que a relação grão/vagem (RGV) diferiu estatisticamente entre os espaçamentos para as lâmina 198,3 e 305,4 mm, em que o espaçamento de 0,9 m apresentou RGV inferior estatisticamente. Isso indica a pequena influência da variação dos espaçamentos sobre essa variável,

o que pode ser explicado pelo fato de ter se mantido a mesma população de plantas em todos os tratamentos (Tabela 8).

Por outro lado, considerando-se o efeito da lâmina de irrigação, percebe-se uma diferença significativa da RGV, com valores variando de 0,41 (198,3 mm) a 0,75 (305,4 mm). Esses resultados são explicados porque a deficiência hídrica reduz o peso de grãos.

Resultados divergentes aos encontrados no presente trabalho foi obtido por Nascimento (2008), com objetivo de selecionar genótipos de feijão-caupi com melhor desempenho produtivo, em um Argissolo Amarelo, sob irrigação, nas condições edafoclimáticas de Teresina, Piauí, que com os genótipos Capela e BRS Paraguaçu apresentaram relação grão/vagem 84,1% e 81,1%, respectivamente. O menor valor encontrado por esses autores foi com o genótipo Canapu-BA, apresentando 55,4% do rendimento de grãos na vagem.

Alves et al. (2006), trabalhando com doze cultivares de feijão-caupi cultivados sob irrigação, em um Latossolo Amarelo, no município de Boa Vista – RR, obtiveram rendimento de grãos na vagem (%) variando entre 70,9% e 84,3%, resultados estes superiores aos encontrados na presente pesquisa.

4.4 Correlação entre os componentes de produção e a produtividade de grãos

Pode-se observar que todos os componentes de produção, com exceção do peso de cem grãos, apresentaram correlação positiva com a produtividade de grãos (Tabela 9). Estes resultados estão de acordo com os obtidos por (COELHO et al., 2002; FURTADO et al., 2002), que afirmam haver uma tendência de incremento na produtividade de grãos através do aumento dos componentes de produção, como número de vagens por planta, grãos por vagem e massa de 100 grãos, demonstrando uma relação direta entre esses componentes e a produção.

Constatou-se nesta pesquisa que, o componente de produção que mais correlaciona com a produtividade de grãos é o número de vagens por planta, seguido do número grãos por vagem e comprimento de vagens.

Tabela 9. Estimativa da correlação de Pearson dos valores de produtividade de grãos (PG, kg ha⁻¹) entre comprimento de vagem (CVg, cm), número de vagens por planta (NVP) e número de grãos por vagem na cv. BRS Tumucumaque em função de cinco lâminas de irrigação e quatro espaçamentos entre fileiras, em Teresina-PI, 2014.

Componentes de produção	PG
CVg	0,387275**
NVP	0,87222**
NGV	0,518646**

** : significativo a 1% de probabilidade; ns: não significativo

4.5 Índice de área foliar (IAF)

Nas Tabela 10 e 11 é apresentado o resumo da análise de variância, com os respectivos coeficientes de variação e a comparação das médias para o índice de área foliar em função de diferentes épocas.

Observou-se que houve efeito significativo das lâminas de irrigação sobre o IAF na maioria das épocas avaliadas. Exceto para o início dos tratamentos em que a diferenciação dos tratamentos ainda não haviam provocado alterações acentuados no crescimento foliar, e no final do ciclo, ocasião em que todos os tratamentos manifestavam intensa senescência foliar, constatou-se efeito significativo das lâminas sobre o IAF (Tabela 11). Esse efeito negativo é explicado porque o déficit hídrico reduz o crescimento foliar. Resultados semelhantes foram observados por Ramos (2011) e Oliveira (2013), onde observaram reduções significativas do IAF nos tratamentos sob deficiência hídrica.

Em relação ao fator espaçamento houve significância estatística para todas as épocas. Provavelmente, os diferentes números de plantas por fileiras entre esses tratamentos causam diferentes níveis de assombreamento, influenciando, assim, nesses resultados.

Tabela 10. Resumo da análise de variância para o índice de área foliar na cv. BRS Tumucumaque em função de cinco lâminas de irrigação e quatro espaçamentos entre fileiras, em Teresina-PI, 2014.

FV	GL	Quadrado Médio				
		EPO 1	EPO 2	EPO 3	EPO 4	EPO 5
Blocos	3	0,417 ^{ns}	1,524 ^{ns}	0,428 ^{ns}	0,541 ^{ns}	0,019*
Lâm (a)	4	2,595**	1,203 ^{ns}	5,061**	4,988**	0,807 ^{ns}
Resíduo (a)	12	0,173	0,941	0,742	0,542	0,403
Espaç (b)	3	4,681**	7,072**	3,281**	6,056**	1,021*
Inter. Ta x Tb	12	0,436*	0,191 ^{ns}	0,242 ^{ns}	0,527 ^{ns}	0,592 ^{ns}
Resíduo (b)	45	0,194	0,438	0,422	0,456	0,306
CV (%) (a)	--	39,20	46,99	34,24	33,62	44,71
CV (%) (b)	--	41,50	32,05	25,83	30,83	38,12

*; ** e ns – significativo a 5%, 1% e não significativo, respectivamente, pelo teste F.
EPO 1 – 36 DAS; EPO 2 – 43 DAS; EPO 3 – 50 DAS; EPO 4 – 57 DAS; EPO 5 – 64 DAS.

Observou-se que houve interação significativa apenas para a época 36 dias após a semeadura, onde o menor espaçamento adotado 0,36 m, obteve uma maior média para o índice de área foliar (2,44) associado à uma lâmina de irrigação 148,9 mm. Isso pode ser explicado pela menor competição entre as plantas dentro da fileira com um menor espaçamento, onde a incidência de luz solar é maior, o que confere a planta de feijão-caupi maior absorção luminosa, uma menor competição por nutrientes, menor sombreamento e, portanto, maior índice de área foliar.

Lima Filho (2000) estudando o efeito do plantio consorciado sobre o comportamento hídrico, trocas gasosas e produtividade do feijão-caupi em condições semiáridas em Petrolina, PE, em um Latossolo Vermelho, verificou um IAF de 2,8 para a cultivar Pitiúba. Resultados semelhantes aos encontrados neste trabalho.

Nascimento et al. (2011), ao avaliar o efeito do déficit hídrico sob as características fisiológicas e reprodutivas em genótipos de feijão-caupi, em Teresina-PI, em um Argissolo Amarelo, para as condições de irrigação plena, o valor máximo de IAF encontrado foi de 5,0, para o genótipo BRS Paraguaçu; o menor foi de 3,9 para o Pingo-de-ouro e o valor médio obtido durante todo o ciclo da cultura foi de 4,5.

Oliveira (2014), com o objetivo de avaliar a capacidade competitiva de quatro cultivares de feijão-caupi (IPEAN V69, BR8 Caldeirão; BRS Guariba; BR 17 Gurguéia) e três espaçamentos entre linhas (0,50; 0,40 e 0,30 m) em solo de terra firme, em um Latossolo Amarelo Álico, em Manaus-AM, encontraram valores máximo de IAF de 2,98, 3,76 e 4,43 para a cv. BR 8 Caldeirão com os espaçamentos 0,5 m, 0,4 m e 0,3 m, respectivamente. Estes resultados superiores e que diferiram dos encontrados no presente estudo.

Tabela 11. Médias do índice de área foliar (IAF) em diferentes épocas na cv. BRS Tumucumaque em função de cinco lâminas de irrigação e quatro espaçamentos entre fileiras, em Teresina – PI, 2014.

Lâminas (mm)	EPO36				Espaçamentos (m)				Média
	0,36	0,45	0,60	0,90	0,36	0,45	0,60	0,90	
147,1	0,90 bA	0,69 bA	0,26 bA	0,24 aA					0,52
148,9	2,44 aA	1,44 abBC	1,56 aB	0,66 aC					1,53
139,9	1,66 abA	1,39 abBC	0,88 abAB	0,28 aB					1,05
137,7	1,38 bA	0,91 bAB	0,62 bAB	0,43 aB					0,84
162,5	1,34 bA	1,96 bA	1,70 aA	0,46 aB					1,37
Média	1,54	1,28	1,00	0,41					
	EPO43				Espaçamentos (m)				Média
	0,36	0,45	0,60	0,90	0,36	0,45	0,60	0,90	
147,1	2,33	2,38	1,53	0,82					1,76 a
148,9	2,80	2,80	2,04	1,61					2,31 a
139,9	2,28	2,18	1,83	1,15					1,86 a
137,7	2,74	2,01	1,98	1,27					2,00 a
162,5	2,67	2,83	2,64	1,40					2,38 a
Média	2,56 A	2,44 AB	2,01 B	1,25 C					
	EPO50				Espaçamentos (m)				Média
	0,36	0,45	0,60	0,90	0,36	0,45	0,60	0,90	
167,8	2,39	2,20	1,64	1,12					1,84 b
197,8	2,22	2,16	2,03	1,99					2,10 b
208,7	3,02	2,54	2,94	2,13					2,66 ab
229,7	3,05	3,01	2,75	2,04					2,71 ab
283,8	3,82	3,61	3,13	2,52					3,27 a
Média	2,90 A	2,71 A	2,50 AB	1,96 B					
	EPO57				Espaçamentos (m)				Média
	0,36	0,45	0,60	0,90	0,36	0,45	0,60	0,90	
198,27	1,90	2,13	1,43	0,32					1,44 c
243,01	2,37	2,30	2,07	1,49					2,06 bc
271,3	2,73	2,57	3,07	1,55					2,48 ab
305,39	2,78	2,00	1,62	1,73					2,03 bc
376,44	3,23	3,55	3,09	1,89					2,94 a
Média	2,60 A	2,51 A	2,26 A	1,39 B					
	EPO64				Espaçamentos (m)				Média
	0,36	0,45	0,60	0,90	0,36	0,45	0,60	0,90	
198,27	1,79	1,78	1,23	1,01					1,45 a
243,01	1,50	1,93	1,43	0,74					1,40 a
271,3	1,10	1,34	1,15	1,29					1,22 a
305,39	1,46	1,31	1,90	0,80					1,37 a
376,44	2,05	1,19	2,30	1,75					1,82 a
Média	1,58 AB	1,51 AB	1,60 A	1,12 B					

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

4.6 Eficiência do uso da água (EUA)

Na Tabela 12 encontram-se os resultados da comparação de médias para a eficiência de uso da água (EUA).

Tabela 12. Médias da eficiência do uso da água (EUA, kg m^{-3}) na cv. BRS Tumucumaque em função de cinco lâminas de irrigação e quatro espaçamentos entre fileiras, em Teresina-PI, 2014.

Lâminas (mm)	Espaçamentos (m)				Média
	0,36	0,45	0,60	0,90	
198,3	0,22 cdAB	0,25 cA	0,10 cB	0,17 bAB	0,18 c
243,0	0,17 dA	0,23 cA	0,22 bcA	0,28 abA	0,23 c
271,3	0,35 bcA	0,31 bcA	0,33 abA	0,32 aA	0,33 b
305,4	0,54 aA	0,50 aA	0,46 aAB	0,37 aB	0,47a
376,4	0,49 abA	0,46 abAB	0,34 abB	0,38 aAB	0,42ab
Média	0,35	0,35	0,29	0,30	

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

A comparação de médias para a EUA mostrou que os espaçamentos 0,36m e 0,45m não diferiram estatisticamente entre si, mas foram superiores aos espaçamentos 0,9 m e 0,6 m, sendo que este último obteve a pior média entre os espaçamentos utilizados (Tabela 12). Verificou-se que a EUA seguiu a mesma tendência da produtividade de grãos, significando que aumentos sucessivos de espaçamentos, após o valor que proporciona a máxima eficiência do uso da água, amplia excessivamente a competição intraespecífica entre as plantas de feijão-caupi dentro da fileira por água, luz e nutrientes.

Os resultados indicaram que existe uma combinação de lâmina de irrigação e espaçamento entre fileiras de plantas que otimiza a EUA no feijão-caupi. A combinação é formada pela lâmina de 305,4 mm e o espaçamento entre fileiras de plantas de 0,36 m, que proporcionou um valor máximo de eficiência de uso da água de $0,54 \text{ kg m}^{-3}$. Com o aumento desses dois fatores houve reduções nos valores de EUA.

Cabe ressaltar que nem sempre os tratamentos que proporcionam as maiores EUA são os que geram as maiores produtividades de grãos. Esse

fato ocorreu nessa pesquisa, em que a maior lâmina aplicada (376,44 mm) alcançou a maior produtividade de grãos ($1.830,7 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$), porém não apresentou a maior eficiência do uso da água. Esses resultados são interessantes pois podem auxiliar na tomada de decisão do produtor de feijão-caupi irrigado. Se o preço de venda dos grãos estiver em alta, possivelmente, o produtor deva optar por aplicar a lâmina de maior produtividade. Entretanto, caso haja restrição de uso da água, seja pela baixa oferta do manancial hídrico ou pelo elevado custo de energia elétrica para permitir o bombeamento, o produtor tenha que optar pela lâmina que maximiza a eficiência do uso de água.

Resultados que corroboram com o presente trabalho foi obtido por Andrade Júnior et al. (2002), ao avaliar 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, em Parnaíba-PI, em um Neossolo Quartzarênico Órtico Típico, observaram uma EUA, com máxima de $0,66 \text{ kg m}^{-3}$, com aplicação da lâmina de irrigação de 306,3 mm, para a cultivar BR 14 Mulato.

Também Ferreira (2007), avaliando feijão-caupi (cv. BRS Guariba) em um Argissolo Vermelho-Amarelo distrófico, em Teresina, Piauí, alcançou um valor máximo de eficiência de uso de água em torno de $0,41 \text{ kg m}^{-3}$ com aplicação de uma lâmina de irrigação de 390,1 mm. As diferenças entre as máximas de EUA, podem ser explicadas porque foram utilizadas diferentes cultivares, e há uma variação ambiental entre os experimentos citados.

Resultados que corroboram aos encontrados no trabalho em questão foram obtidos por Oliveira (2013), que teve por objetivo avaliar a possível interação de níveis de água e densidade de plantas sobre os componentes de produção, produtividade de grãos e eficiência do uso da água do feijão-caupi, cultivar BRS Itaim, em Teresina, Piauí, em um Argissolo Vermelho-Amarelo, encontrou valores máximos para a eficiência de uso da água em torno de, $0,420 \text{ kg m}^{-3}$ e $0,429 \text{ kg m}^{-3}$, obtidas com a aplicação das lâminas de irrigação 326 mm e 279 mm, respectivamente, para as cultivares BRS Guariba e BRS Paraguaçu.

5 CONCLUSÕES

As lâminas de irrigação de 305,4 e 376,4 mm associadas aos espaçamentos de 0,36 e 0,45m proporcionam as maiores produtividades de grãos.

A lâmina de 305,4 mm combinada com o espaçamento de 0,36 m proporcionou a maior eficiência do uso de água ($0,54 \text{ kg m}^{-3}$).

Não houve influência dos espaçamentos entre fileiras sobre os componentes de produção.

O comprimento de vagem, o número de vagens por planta e o número de grãos por vagem apresentaram efeito linear crescente em função das lâminas de irrigação.

REFERÊNCIAS

- ADAMS, P. D.; WEAVER, D. B. Brachytic stem trait, row spacing, and plant population effects on soybean yield. **Crop Science**, v.38, p.750-754, 1998.
- 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).
- ALI, Z.; BASRA, S. M. A.; MUNIR, H.; MAHMOOD, A.; YOUSAF, S. Mitigation of Drought Stress in Maize by Natural and Synthetic Growth Promoters. **Journal of Agriculture & Social Sciences**, v.7, n.2, 2011.
- ALI, M. H.; HOQUE, M. R.; HASSAN, A. A.; KHAIR, A. Effects of deficit irrigation on yield, water productivity and economics returns of wheat. **Agricultural Water Management**, v.92, p.151-161, 2007.
- ALVES, et al. Competição de cultivares de feijão-caupi em área de cerrado no município de Boa Vista, Roraima. **Anais**. Congresso Nacional de Feijão-Caupi. Teresina PI. 2006.
- ANDRADE, F. N. **Avaliação e seleção de linhagens de tegumento e cotilédone verdes para o mercado de feijão-caupi verde**. 2010. 109 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Piauí, Teresina.
- ANDRADE, M. E. L. **Crescimento e produtividade do meloeiro sob diferentes lâminas de água e doses de nitrogênio e potássio**. 2006. 93 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró, 2006.
- ANDRADE JÚNIOR et al. Níveis de irrigação na cultura do feijão-caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.1, p.17-20, 2002.
- ARAÚJO et al. Co-inoculation rhizobia and *Bacillus subtilis* in cowpea and Leucaena: effects on nodulation, N₂ fixation and plant growth. **Ciência Rural** v.40, p.182-185, 2010.
- BASTOS, E. A.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. **Boletim agrometeorológico de 2013 para o município de Teresina, Piauí**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 38 p. (Embrapa Meio-Norte. Documentos, 228). 2014.
- BASTOS et al. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo do feijão-caupi no Vale do Guruguéia, Piauí. **Irriga**, v.13, n.2, p.182-190, 2008.
- BASTOS et al. Parâmetros de crescimento do feijão-caupi sob diferentes regimes hídricos. **Engenharia Agrícola**, v.22, n.1, p.43-50, 2002.

BAPTISTA et al. **Programa nacional para o uso eficiente da água**. Lisboa: Instituto Superior de Agronomia, 2001. 212 p.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas**: noções básicas. 2. ed. Jaboticabal: FUNEP, 2003. 42 p.

BERNARDO, S; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 8. ed. Viçosa: UFV. 2008. 625 p.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. Viçosa: Imprensa Universitária, 1995. 657p.

BEZERRA et al. 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 et al. Morfologia e produção de grãos em linhagens modernas de feijão-caupi submetidas a diferentes densidades populacionais. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**. v. 8, n. 1, p. 85-93, 2008.

BEZERRA, A. A. de C. **Efeitos de arranjos populacionais na morfologia e produtividade de feijão-caupi de crescimento determinado e porte ereto**. 2005. 123p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

BEZERRA et al. Feijão-caupi e déficit hídrico em suas fases fenológicas. **Revista Ciência Agrônômica**, v.34, n.1, p.13-17, 2003.

BLUM, A. Drought resistance, water-use efficiency, and yield potential are they compatible, dissonant, or mutually exclusive? **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 56, p.1159–1168, 2005.

BLUM, A. Crop responses to drought and the interpretation of adaptation. **Plant Growth Regulation**, v.20, n.2, p.135-148, 1996.

CARDOSO, M. J.; RIBEIRO, V. Q. Desempenho agrônômico do feijão-caupi, cv. Rouxinol, em função de espaçamentos entre linhas e densidades de plantas sob regime de sequeiro. **Revista Ciência Agrônômica**, v.37, n.1, p.102-105, 2006.

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.; MELO, F. de B.; LIMA, M. G. de. Ecofisiologia e manejo de plantio. In: FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. de A.; RIBEIRO, V. Q. (Ed.). **Feijão-caupi: avanços tecnológicos**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. p.212-228.

CARDOSO, M.J.; RIBEIRO, V.Q. Desempenho agrônômico do feijão-caupi, cv. Rouxinol, em função de espaçamentos entre linhas e densidades de plantas sob regime de sequeiro. **Ciência Agrônômica**, v.37, p.102-105, 2006.

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

CARDOSO, M. J. Densidade de plantas de caupi em regime irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.32, n.4, p.399-405, 1997.

CARLESSO, R.; ZIMMERMANN, L.F. **Água no solo: parâmetros para dimensionamento de sistemas de irrigação**. Santa Maria: Imprensa Universitária, 2000, 88 p.

CARMO, G. A. **Crescimento, nutrição e produção de curcubitáceas cultivadas sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação e doses de adubação nitrogenada**. 2009. 182 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró, 2009.

CAVALCANTE et al. **BRS Tumucumaque: Cultivar de Feijão-Caupi para o Amapá e Outros Estados do Brasil**. Macapá: Embrapa Amapá, 2014. 1 folder. Equipe técnica: Emanuel da Silva Cavalcante, Francisco Rodrigues Freire Filho, Maurisrael de Moura Rocha, Antônio Carlos Pereira Góes, Valdenir Queiroz Ribeiro, Kaesel Jackson Damasceno e Silva.

CHRISTOFIDIS, D. Irrigação, a fronteira hídrica na produção de alimentos. **Irrigação e Tecnologia Moderna**, Brasília: ABID, n.54, p.46-55, 2002.

COELHO, E. F.; COELHO FILHO, M. A.; OLIVEIRA, S. L. de. Agricultura irrigada: eficiência de irrigação e de uso de água. **Bahia Agrícola**, v.7, n.1, 2005.

COELHO et al. Herdabilidades e correlações da produção do feijão e dos seus componentes primários, nas épocas de cultivo da primavera-verão e do verão-outono. **Ciência Rural**, v. 32, n. 2, p. 211-216, 2002.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Perspectivas para a agropecuária**. Conab, v.2. Brasília: Conab, 2014. Disponível em: <
http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_09_10_18_03_00_perspectivas_2014-15.pdf. Acesso em: 22 de jan de 2016

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos**. v. 1, n.3. Brasília: Conab, 2013. Disponível em:
http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/15_06_11_09_00_38_bol_etim_graos_junho_2015.pdf. Acesso em: 22 de jan de 2016.

COSTA, G. F.; MARENCO, R. A. Fotossíntese, condutância estomática e potencial hídrico foliar em árvores jovens de andiroba (*Carapa guianensis*). **Acta Amazônica**, vol.37. n.2, p.229 – 234, 2007.

COSTA et al. Produção, componentes de produção, crescimento e distribuição das raízes de caupi submetido a deficiência hídrica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.32, n.1, p. 43-50, jan. 1997.

COSTA et al. O estresse hídrico diminui intensamente a assimilação do nitrato e a nodulação em feijão-de-corda (*Vigna unguiculata*, (L.) Walp.). In: REUNIÃO NACIONAL DE PESQUISA DE CAUPI, 4. 1996, Teresina. **Resumos**. Teresina: Embrapa CPAMN, 1996. p.787-9.

DADSON et al. Effect of water stress on the yield of cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] genotypes in the Delmarva region of the United States. **Journal Agronomy & Crop Science**, v.191, p.210-217, 2005.

DAMATTA, F. M. Ecophysiology of tropical tree crops: na introduction. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 19, n. 4, p. 239-244, 2007.

DAMATTA et al. Drought tolerance of two field-grown clones of *Coffea canephora*. **Plant Science**, v.164, p.111-117, 2003.

DINAR, A. Economic factors and opportunities as determinants of water use efficiency in agriculture. **Irrigation Science**, v.14, p.47-52, 1993.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 1994. 306 p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33).

DUARTE, T. S; PEIL, R. M. N. Relações fonte: dreno e crescimento vegetativo do meloeiro. **Horticultura Brasileira**, v.28, n.3, p.271-276, 2010.

EFEOĞLU, B.; EKMEKÇI, Y.; ÇIÇEK, N. Physiological responses of three maize cultivars to drought stress and recovery. **South African Journal of Botany**, v. 75, p.34-42, 2009.

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 2006. 306p.

Embrapa Meio-Norte. **Cultivo do feijão-caupi**. Sistemas de Produção. 2003.

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

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. Ecofisiologia e fenologia do feijoeiro. In: FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Tecnologia da produção do feijão irrigado**. Piracicaba: Publique, 1999. p. 100-120.

FAN et al. Progressive inhibition by water deficit of cell wall extensibility and growth along the elongation zone of maize roots is related to increase lignin

- metabolism and progressive stellar accumulation of wall phenolics. **Plant Physiology**, v.140, p.603-612, 2006.
- FAVER, K. L.; GERIK, T. J.; THAXTON, P. M.; ELZIK, K. M. Late season water stress in cotton: Leaf gas exchange and assimilation capacity. **Crop Science**, v.36, p. 922-928, 1996.
- FAVARIN et al. Equações para a estimativa do índice de área foliar do cafeeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, DF, v.37, n.6, p.769-773, 2002.
- FERREIRA, V. M. **Definição de Parâmetros para estimativa de risco climático no consórcio milho-feijão-caupi**. 2007. 95 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Produção Vegetal), Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2007.
- FERREIRA, L. G. R.; COSTA, J. O.; ALBUQUERQUE, I. M. Estresse hídrico nas fases vegetativa e reprodutiva de dois cultivares de caupi. **Pesquisa Agropecuária Brasileira** v.26, n.7, p.1049-1055, 1991.
- FIGUEREDO JÚNIOR et al. Modelo para estimativa do índice de área foliar da cultura de milho. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.4, n.1, p.8-13, 2005.
- FILHO, R. V. **Manejo da cultura do feijoeiro visando ao controle de plantas daninhas**. VI Seminário sobre pragas, doenças e plantas daninhas do feijoeiro, Campinas (SP), 2007. (Documentos IAC).
- FLOSS, E. L. **Fisiologia das plantas cultivadas**. Passo Fundo: Editora da UPF. 2004. 536p.
- FONTANA, D. C.; BERLATO, M. A.; BERGAMASCHI, H. Alterações micrometeorológicas na cultura da soja submetida a diferentes regimes hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.27, n.5, p.661-669, 1992.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). Base de dados Faostat. Disponível em: <<http://faostat.fao.org>>. Acesso em: 16 dez. 2014.
- FRANÇOIS, T. **Relações hídricas e trocas gasosas em plantas de feijão-caupi submetidas à irrigação deficitária**. 2012. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2012.
- FREIRE-FILHO et al. **BRS Tumucumaque**: Cultivar de feijão-caupi com ampla adaptação e rica em ferro e zinco. Teresina: EMBRAPA: Centro de Pesquisa Agropecuária do Meio-Norte, 2009.
- FREIRE FILHO et al. Melhoramento Genético. In: FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. A.; RIBEIRO, V. Q. **Feijão-caupi**: avanços tecnológicos. Brasília: Embrapa Meio Norte. p.29-92, 2005.

FREIRE FILHO, F. R.; LIMA, J. A. A.; RIBEIRO, V. Q. (Ed.). **Feijão caupi: avanços tecnológicos**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. p. 191-210.

FURTADO et al. Análise de trilha do rendimento do feijoeiro e seus componentes primários em monocultivo e em consórcio com a cultura do milho. **Ciência Rural**, v. 32, n. 2, p. 217- 220, 2002.

GOMES FILHO, R. R.; TAHIN, J. F. Respostas fisiológicas de cultivares de caupi (*Vigna unguiculata*) eretos e decumbentes a diferentes níveis de irrigação. **Engenharia na Agricultura**, v.10, p.56-60, 2002.

GONZAGA, A. C. de O. **Feijão: o produtor pergunta, a Embrapa responde**. (Coleção 500 Perguntas, 500 Respostas). 2ª ed. – Brasília, DF: Embrapa, 2014. 247p.

GONZAGA, L. P. N. **Crescimento, produção e qualidade do abacaxizeiro fertirrigado com diferentes fontes e doses de nitrogênio e potássio**. 2009. 131 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Semiárido, Mossoró, 2009.

GRAFTON, K. F.; SHNEITER, A. A.; NAGLE, B. J. Row spacing, plant population, and genotype x row spacing interaction effects on yield and yield components of dry bean. **Agronomy Journal**, v.80, p.631-634, 1988.

GRANDIS, A. **Respostas fotossintéticas e de crescimento da espécie amazônica *Senna reticulata* sob elevada concentração de CO₂**. 2010, 106 f. Dissertação (Mestrado em Ciências). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

HALL, A. E. Future directions of bean/cowpea collaborative research support program. **Field Crops Research**, v.82 p.233-240, 2003.

HENDERSON, T. L.; JOHNSON, B. L.; SCHNEITER, A. A. Row spacing, plant population, and cultivar effects on grain amaranth in the northern Great Plains. **Agronomy Journal**, v.92, p.329-336, 2000.

HOFFMANN, C. M.; BLOMBERG, M. Estimation of leaf area index of *beta vulgaris* L. based on optical remote sensing data. **Journal of Agronomy & Crop Science**, v.190, p.197-204, 2004.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2009. **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa>>. Acesso em: 12 dez. 2012.

IGBADUN et al. Crop water productivity of an irrigated maize crop in Mkoji sub-catchment of the Great Ruaha River Basin, Tanzania. **Agricultural Water Management**, v.85, p.141-150, 2006.

- KAMARA et al. Reproductive and stay-green trait responses of maize hybrids, improved open-pollinated varieties and farmer's local varieties to terminal drought stress. **Maydica**, v.48, p.29-37, 2003.
- KARAM et al. Evapotranspiration, seed yield and water use efficiency off drip irrigated sunflower under full and deficit irrigation conditions. **Agricultural Water Management**, v.90, p.213-223, 2007.
- KERBAUY, G. B. **Fisiologia vegetal**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara, 2012. 446p.
- KLAR, A. E. Evapotranspiração. In: **A água no sistema solo-planta-atmosfera**. 2ª ed. São Paulo: Nobel, 1988.
- KO, J.; PICCINNI, G. Corn yield responses under crop evapotranspiration-base irrigation management. **Agricultural Water Management**, v.96, p.799-808, 2009.
- KÜPPERS, B. I. L.; KÜPPERS, M., SCHULZE, E. D. Soil drying and its effect conductance and CO₂ assimilation of *Vigna unguiculata* (L.) Walp. **Oecologia**, Hohenheim, v. 75, p. 99-104, 1988.
- LAMBERS et al. Plant nutrient-acquisition strategies change with soil age. In: **Trends in Ecology & Evolution**. Austrália. v. 23, 2008, 103 p.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. Tradução: PRADO, C. H. B. A. e FRANCO. A. C. São Carlos: Rima, 2000. 533p.
- LANGYINTUO et al. Cowpea supply and demand in west and central Africa. **Field Crops Research**, v.82 p.215-231, 2003.
- LEITE et al. Efeito do déficit hídrico sobre a cultura do caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.), cv. EMAPA-821. II – Análise de crescimento. **Revista de Agricultura**, v.74, n.3, p.351-370, 1999.
- LEMAIRE, G.; CHAPMAN, D. Tissue flows in grazed plant communities. In: HODGSON, J. ILLIUS, W. (Ed.). **The ecology and management of grazing systems**. London: CAB Internacional, 1996. cap.1, p.3-43.
- LIMA. J. E. F. W.; FERREIRA, R. S. A.; CHRISTOFIDIS, D. 2004. **O uso da irrigação no Brasil**. FAO. Disponível em: <www.cf.org.br/cf2004/irrigacao.doc>. Acesso em: Agosto de 2010.
- LIMA FILHO, J. M. P. Physiological responses of maize and cowpea to intercropping. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35 n.5, p.915-921, 2000.
- LIMA, F. A. A. Respostas fisiológicas de cultivares de feijão [*Phaseolus vulgaris* L. e *Vigna unguiculata* (L.) Walph.] submetidas à deficiência hídrica: uma alternativa para a agricultura familiar do semi-árido sergipano. **2008. 112 f.**

**Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente),
Universidade Federal de Sergipe, Sergipe, 2008.**

LIMA et al. Resposta do feijão-caupi a salinidade da água de irrigação. **Revista Verde**, v.2, n.2, p.79-86, 2007.

LOCATELLI et al. 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.

LOPES et al. Manejo de irrigação e nitrogênio no feijoeiro comum cultivado em sistema de plantio direto. **Revista Ciência Agronômica**, v.42, p.51-56, 2011.

LOPES, B. F.; SETER, T. L.; McDAVID, C. R. Photosynthesis and water vapor exchange of pigeonpea leaves in response to water deficit and recovery. **Crop Science**, v.28, p. 141-145, 1988.

MACHADO et al. Eficiência fotossintética e uso da água em plantas de eucalipto pulverizadas com glyphosat. **Planta Daninha**, v.28, n.2, p.319-327, 2010.

MAGALHÃES et al. Caracterização ecofisiológica de linhagens de milho submetidas a baixa disponibilidade hídrica durante o florescimento. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.8, n.3, p. 223-232, 2009.

MARENCO, R. A.; LOPES, N. F. **Fisiologia vegetal: fotossíntese, respiração, relações hídricas e nutrição mineral**. Viçosa-MG, Editora UFV. 451 p. 2005.

MARTINS, J. D. **Modificações morfofisiológicas em plantas de milho submetidas a déficit hídrico**. 2010.102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2010.

Mc DERMIT, D. K. Sources of error in the estimation of stomatal conductance and transpiration from porometer data. **HortScience**, v.25, n.12, p.1538-48, 1990.

MELO et al. Crescimento vegetativo, resistência estomática, eficiência fotossintética e rendimento do fruto da melancia em diferentes níveis de água. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.32, n.1, p.73-79, 2010.

MORAIS, N. B. et al. Resposta de plantas de melancia cultivadas sob diferentes níveis de água e de nitrogênio. **Revista Ciência Agronômica**. v.29, n. 03, p.369-377, 2008.

NASCIMENTO et al. Tolerância ao déficit hídrico em genótipos de feijão-caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.8, 2011.

NASCIMENTO, S. P. do. **Efeito do déficit hídrico em feijão-caupi para identificação de genótipos com tolerância à seca.** 2009. 112p. Dissertação de Mestrado. Teresina, PI. Universidade Federal do Piauí.

NASCIMENTO, et al. Rendimento de grãos de feijão-caupi sob irrigação. **In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 2008, São Mateus-ES. XVIII CONIRD, 2008.**

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

NAVES-BARBIERO et al. Fluxo de seiva e condutância estomática de duas espécies lenhosas sempre-verdes no campo sujo e cerrado. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, v.12, p.119-134, 2000.

NEUMANN, P. M. V. The Role of cell wall adjustment in plant resistance to water deficits. **Crop Science**, Madison, v.35, p.1258-1266, 1995.

NÓBREGA et al. 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.

OLIVEIRA, O. M. S. de. **Capacidade competitiva de cultivares de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) combinada com espaçamento na supressão de plantas daninhas.** 2014. 70f. Tese (Doutorado em Agronomia Tropical) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2014.

OLIVEIRA, S. R. M. **Densidade populacional do feijão-caupi sob níveis de irrigação.** 2013. 104p. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Ceará – UFC, Fortaleza, 2013.

OLIVEIRA et al. Crescimento e rendimento de grãos do feijão-caupi em função de níveis de irrigação. **In: XLII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA, 2013. Anais. Fortaleza – Ceará, 2013.**

OLIVEIRA et al. Resposta do feijão-caupi as lâminas de irrigação e as doses de fósforo no cerrado de Roraima. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n. 4, p. 872-882, 2011.

OLIVEIRA, R. L. de. et al. Precisão experimental em ensaios com a cultura do feijão. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 33, n. 1, p.113-119, 2009.

OLIVEIRA et al. Caracteres agronômicos aplicados na seleção de cultivares de caupi. **Revista Ciência Agronômica**, v.34, p.5-11, 2003.

OLIVEIRA et al. Fotossíntese, condutância estomática e transpiração em pupunheira sob deficiência hídrica. **Scientia Agricola**, v. 59, n. 01, p. 59-63, 2002.

OLIVEIRA, I. P. de; CARVALHO, A.M. de. A cultura do caupi nas condições de clima e de solo dos trópicos úmido e semi-árido do Brasil. In: ARAÚJO, J. P. P. de (Org). **O caupi no Brasil**. IITA/ EMBRAPA. Brasília, DF. 1988. 722p.

PADULOSI, S.; NG, N. Q. Origin taxonomy, and morphology of *Vigna unguiculata* (L.) Walp. In: SINGH, B. B.; MOHAN R. A. J, D. R.; DASHIELL, K. E.; JACKAI, L. E. N. (Ed.). **Advances incowpea research**. Tsukuba: Japan International Research Center for Agricultural Sciences, 1997. p. 1-12.

PAIVA et al. Condutância estomática em folhas de feijoeiro submetido a diferentes regimes de irrigação. **Engenharia Agrícola**, v.25, n.1, p.161-169, 2005.

PARSONS, A. J.; CHAMPMAN, D. F. The principles of pasture growth and pasture utilization. In: HOPKINS, A. (Ed.) **Grass – its production and utilization**. Oxford: Blackwell Science, 2000. cap.3, p.31-89.

PEREIRA-NETTO, A. B. Crescimento e desenvolvimento. In: WACHOWICZ, C. M.; CARVALHO, R. I. N. **Fisiologia vegetal - produção e pós-colheita**. Curitiba: Champagnat, 2002. p.17-42.

PEREIRA, A. R.; MACHADO, E. C. **Análise quantitativa do crescimento de comunidades vegetais**. Instituto Agrônomo de Campinas. Boletim técnico, n.114, 1987. 33p.

PORTO FILHO et al. Crescimento do meloeiro irrigado com águas de diferentes salinidades. **Horticultura Brasileira**, v.24, n.3, p.334-341, 2006.

QUEIROGA et al. Estimativa da área foliar do feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris*, L.) por meio da largura máxima do folíolo central. **Horticultura Brasileira**, v.21, n.1, p.64-68, 2003.

RADIN, B. **Eficiência de uso da radiação fotossinteticamente ativa pelo tomateiro cultivado em diferentes ambientes**. 2002. 127f. Tese (Doutorado em Fitotecnia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2002.

RAMOS, H. M. M. **Características produtivas, fisiológicas e econômicas do feijão-caupi para grãos verdes sob diferentes regimes hídricos**. 2011. 109 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Produção Vegetal). Universidade Federal do Piauí, Teresina. 2011.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta, atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. 2 ed. Barueri, SP: Manole, 2012, 500p.

ROCHA et al. Adaptabilidade e estabilidade de genótipos de feijão-caupi quanto à produção de grãos frescos, em Teresina-PI. **Revista Científica Rural**, v.14, n.1, p.40-55, 2012.

ROCHA et al. Avaliação preliminar de genótipos de feijão-caupi para feijão-verde. **Revista Científica Rural**, v.12, p.153-156, 2007.

SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. **Fisiologia Vegetal**. México: Iberoamérica, 759 p., 1994.

SEIXAS, G. B. **Determinação da transpiração em plantas de nim indiano (*Azadirachta indica* A. Juss) utilizando métodos de estimativa de fluxo de seiva**. 2009. 71 f. Dissertação (Mestrado em Física Ambiental). Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá. 2009.

SEVERINO et al. Método para determinação da área foliar da mamoneira. **Revista Brasileira de Oleaginosas e Fibrosas**, v.8, p.753-762, 2004.

SHINOZAKI, K.; YAMAGUCHI-SHINOZAKI, K. Gene expression and signal transduction in water stress response. **Plant Physiology**, v.115, p.327-334, 1997.

SILVA et al. Avaliação agrônômica de genótipos de feijão-caupi para feijão-verde. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE RECURSOS GENÉTICOS, 2., 2012, Belém. **Anais**. Brasília: SBRG, 2012.

SILVA, A. L. J.; NEVES, J. Componentes de produção e suas correlações em genótipos de feijão-caupi em cultivo de sequeiro e irrigado. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 42, n. 3, p. 702-713, 2011.

SILVA, K. J. D. **Centro de Inteligência do Feijão**. Disponível em: <www.cpamn.embrapa.br>, 2009. Acesso 16/12/2011.

SILVA, F. A. S. E.; AZEVEDO, C. A. V. Principal components analysis in the software assistat-statistical attendance. In: WORLDCONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 7, Reno-NV-USA: **America Society of Agricultural and Biological Engineers**, 2009.

SILVA, W. L. C.; MAROUELLI, W. A. Manejo da irrigação em hortaliças no campo e em ambientes protegidos. In: FARIA, M. A. (Coord.). **Manejo de irrigação**. Lavras: UFLA: SBEA, 1998. p.311-351.

SILVEIRA, P. M. S.; STONE, L. F. **Irrigação do feijoeiro**. Santo Antonio de Goiás, Embrapa Arroz e Feijão. 230p. 2001.

STAMFORD et al. Fixação do N₂ e matéria seca do caupi em dois solos do semiárido brasileiro submetidos à deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.14, p.283-290, 1990.

SUMMERFIELD et al. The physiology of cowpeas. In: SINGH, S. R.; RACHIE, K. O., (ed) **Cowpea Research Production and Utilization**. Chichester, John Wiley. p. 65-101, 1985.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 5. ed. Porto Alegre: ARTMED. 820 p., 2013.

TAGLIAFERRE et al. 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.

TÁVORA et al. Densidade de plantio na cultura do feijão-de-corda irrigada. II. Componentes de produção e rendimento de grãos. **Ciência Agronômica**, v.31, p.20-26, 2000.

TEIXEIRA, I. R. et al. Desempenho agronômico e qualidade de sementes de cultivares de feijão-caupi na região do cerrado. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 2, p. 300-307, 2010.

TEIXEIRA et al. Produção, componentes de produção e suas interrelações em genótipos de feijão-caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.]. In: CONGRESSO NACIONAL DE FEIJAO-CAUPI, 1. REUNIAO NACIONAL DE FEIJAO-CAUPI, 6. 2006, Teresina. Tecnologias para o agronegócio: **Anais**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2006. 1 CD-ROM.

VERDCOURT, B. Studies in the leguminosae: papilionoideae for the "Flora of tropical East Africa". **Kew Bulletin**, v. 24, p. 507-569, 1970.

VILARINHO et al. Melhoramento. In: Zilli, J. E.; Vilarinho, A. A.; Alves, J. M. A. A cultura do feijão-caupi na Amazônia Brasileira. Boa Vista: Embrapa Roraima, 2009. p.105-130.

VILARINHO et al. Recomendação do cultivar de feijão-caupi BRS Novaera para cultivo em Roraima. **Comunicado Técnico**, 15. 1ª edição. 5p. Boa Vista, RR, Setembro, 2006.

YORDANOV, I.; VELIKOVA, V.; TSONEV, T. Plant responses to drought and stress tolerance. **Bulgarian Journal of Plant Physiology**, p.187-206, 2003.

ZAIDI et al. Relationship between drought and excess moisture tolerance in tropical maize (*Zea mays* L.). **Australian Journal of Crop Science**, v.1, n.3, p.78-96, 2008.

ZILLI et al. **Avaliação de estirpes de rizóbio para a cultura do feijão-caupi em Roraima**. Boa Vista, Embrapa Roraima, 2006. 9p. (EMBRAPA RORAIMA, Circular Técnica, 01).

ZISKA, L. H.; HALLS, A. E. Seed yields and water use of cowpeas [*Vigna unguiculata* (L.) Walp] subjected to planned-water deficit irrigation. **Irrigation Science**, v.3, p.1-9, 1982.