



MARCOS VINÍCIUS PEREIRA DA SILVA

**DESEMPENHO AGRONÔMICO DO FEIJÃO-CAUPI SOB
DIFERENTES POPULAÇÕES DE PLANTAS COM E SEM E
DEFICIÊNCIA HÍDRICA, EM SISTEMA CONVENCIONAL E
PLANTIO DIRETO**

TERESINA - PI

2017

MARCOS VINÍCIUS PEREIRA DA SILVA

**DESEMPENHO AGRONÔMICO DO FEIJÃO-CAUPI SOB DIFERENTES POPULAÇÕES
DE PLANTAS COM E SEM DEFICIÊNCIA HÍDRICA, EM SISTEMA CONVENCIONAL E
PLANTIO DIRETO**

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

Orientador: Dr. Aderson Soares de Andrade Júnior

Co-orientador: Dr. Edson Alves Bastos

TERESINA - PI

2017

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

S586d Silva, Marcos Vinícios Pereira da
Desempenho agrônomo do feijão - caupi sob diferentes populações de plantas com e sem e deficiência hídrica, em sistema convencional e plantio direto / Marcos Vinícios Pereira da Silva - 2017.
73 f.: il.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2017.
Orientação: Prof. Dr. Anderson Soares de Anderade Júnior

1. Feijão-caupi 2. Componente de produção 3. Déficit hídrico
4. Manejo de irrigação I. Título

CDD 635.659 2

MARCOS VINICIUS PEREIRA DA SILVA

DESEMPENHO AGRONÔMICO DO FEIJÃO-CAUPI, SOB DIFERENTES
POPULAÇÕES DE PLANTAS, COM E SEM DEFICIÊNCIA HIDRÍCA, EM
SISTEMA CONVENCIONAL E PLANTIO DIRETO

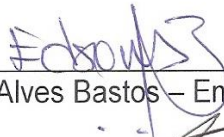
Dissertação apresentada à Universidade Federal do Piauí, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Agronomia-Produção Vegetal, para obtenção do título de Mestre em Agronomia com área de concentração em Produção Vegetal.

APROVADA em 27 de abril de 2017.


Comissão Julgadora:




Prof. Dr. Everaldo Moreira da Silva – CPCE/UFPI



Dr. Edson Alves Bastos – Embrapa Meio-Norte



Dr. Francisco José de Seixas Santos – Embrapa Meio-Norte



Dr. Aderson Soares de Andrade Júnior – Embrapa Meio-Norte
(Orientador)

TERESINA-PI

2017

Aos meus pais, Vicente Pereira da Silva e Maria de Jesus Pires da Silva. A minha irmã Márcia Virgínia Pereira da Silva e a todos meus amigos e colegas.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por tudo que me proporcionou.

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), pela concessão da bolsa de estudo.

À Embrapa Meio-Norte por financiar o projeto e por disponibilizar o espaço físico e mão de obra pessoal para realização do experimento.

Aos meus familiares, em especial meus pais, Vicente Pereira da Silva e Maria de Jesus Pires da Silva, pelos ensinamentos, amor, dedicação, por acreditarem e pela confiança depositada. A minha irmã pelo apoio nessa etapa de minha vida.

Ao meu orientador Dr. Aderson Soares de Andrade Júnior, pela orientação, paciência, compreensão, incentivo, oportunidade que só um verdadeiro orientador e amigo poderia me fornecer.

Ao meu Co-orientador Dr. Edson Alves Bastos, pela colaboração, conhecimentos, oportunidades, companheirismo, incentivo, conselhos e amizade.

Aos funcionários da Embrapa Meio Norte, em especial Antônio Vieira Paz, e Francisco das Chagas Sousa pela amizade e contribuição na condução do experimento de campo, e ao técnico Anchieta Fontenele, pelo apoio na implantação do experimento pela disponibilidade, acompanhamento e colaboração nas análises.

Agradeço a todo o corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Agronomia/Agricultura Tropical, em especial ao Professor Francisco Edinaldo Pinto Mousinho pelos ensinamentos.

Aos amigos de estágio da Embrapa Meio-Norte: Josiane Fonteneles, Rafael Ferro, Sara Raissa, Alzeneide da Silva, Cristhyanne Calaço, Marinete Martins, Eduardo Magno, João Carlos, Renan Lima, Valdeci Calixto, Manoel Júnior e Arthur Gonçalves, pela amizade e contribuição no trabalho.

Aos meus amigos de mestrado: Raylson Rodrigues, Dalya Ketty, Edgar Augusto, Antonio Vieira, Welder Jose e Laydson Moura Pelo apoio.

A todos que de alguma forma contribuíram para a conclusão de mais essa etapa da minha formação acadêmica

“O saber a gente aprende com os mestres e os livros. A sabedoria se aprende é com
a vida e com os humildes”

Cora Coralina

Silva, Marcos Vinícius Pereira. **Desempenho agrônomo do feijão-caupi, sob diferentes populações de plantas e regimes hídricos, em sistema convencional e plantio direto**. Teresina – PI, 2016. 73f. Dissertação (Trabalho de Pós-Graduação em Agronomia). Comitê de orientação: Dr. Aderson Soares de Andrade Júnior (Orientador), Dr. Edson Alves Bastos (Co-orientador). Embrapa Meio-Norte.

RESUMO: O feijão-caupi é uma leguminosa de grande importância socioeconômica para as regiões Norte, Nordeste e Centro-Oeste. Contudo, ainda carece de estudos que avaliem seu desempenho produtivo quando cultivado sob diferentes populações de plantas com e sem déficit hídrico, notadamente, em sistema de cultivo plantio direto. O objetivo desse trabalho foi avaliar a influência de diferentes densidades de plantas com e sem déficit hídrico, em sistema de plantio convencional e plantio direto, e a interação destes dois fatores, sobre os componentes de produção, produtividade de grãos e eficiência do uso da água do feijão-caupi BRS Imponente. O experimento foi conduzido na área experimental da Embrapa Meio Norte, localizada no município de Teresina, Piauí, no período de outubro a dezembro de 2015, em um Argissolo Vermelho-Amarelo. Para a aplicação dos regimes hídricos utilizou-se um sistema de irrigação por aspersão convencional fixo. O monitoramento do teor de água no solo foi feito por meio da técnica de reflectometria no domínio do tempo (TDR). Utilizou-se o delineamento experimental em blocos ao acaso, com os tratamentos dispostos em parcelas subdivididas e quatro repetições. Os regimes hídricos (RH) (50 e 100% da ET_c) foram dispostos nas parcelas e as densidades de plantas (D) (12, 16 e 20 plantas m⁻²) nas subparcelas. Em ambos os sistemas de cultivo, houve interação significativa entre os regimes hídricos e densidades apenas para número de vagens por planta. O comprimento de vagem e o número de grãos por vagem foram influenciados pelos regimes hídricos em sistema de plantio convencional. O número de grãos por vagem, a massa de cem grãos e relação grão-vagem foram influenciados pelos regimes hídricos em sistema de plantio direto. Houve influência das densidades sobre os componentes de produção relação grão-vagem em sistema de plantio convencional e para número de vagem por planta em sistema de plantio direto. Os maiores valores de produtividades de grãos (829,0 kg ha⁻¹) e eficiência do uso da água (0,25 kg m⁻³) foram alcançados sem estresse hídrico em sistema de plantio direto.

Palavras Chave: Componentes de produção, déficit hídrico, manejo de irrigação.

Silva, Marcos Vinícius Pereira. **Agronomic performance of cowpea under different plant populations and water regimes in conventional and no-tillage systems.** Teresina - PI, 2016. 73f. Dissertation (Postgraduate Work in Agronomy). Guidance Committee: Dr. Aderson Soares de Andrade Júnior (Advisor), Dr. Edson Alves Bastos (Co-Advisor) Embrapa Mid-North.

ABSTRACT : Cowpea is a legume of great socioeconomic importance for the North, Northeast and Central-West regions of Brazil. However, studies are still needed to evaluate its productive performance when cropping under different plant populations with and without water deficit, notably in a no-tillage system. The objective of this work was to evaluate the effects of different plant densities, with and without water deficit, in conventional planting and no-tillage system, and the interaction of these two factors on the production components, grain yield and water use efficiency (WUE) by cowpea BRS Imponente. The experiment was carried out at in the experimental area of Embrapa Middle-North, located in the Teresina County, Piauí, from October to December 2015, in a Red-Yellow Argisol. For the application of the water regimes, a fixed conventional sprinkler irrigation system was used. The monitoring of soil water content was done using the time domain reflectometry (TDR) technique. The length of the pod and the number of grains per pod were influenced by the water regimes in conventional planting system. The number of grains per pod, the mass of one hundred grains and grain-pod ratio were influenced by the water regimes under no-tillage system. There was influence of the densities on the components of production relation grain-pod in conventional planting system and for number of pod per plant in no-tillage system. The highest values of grain yields (829.0 kg ha^{-1}) and water use efficiency (0.25 kg m^{-3}) were reached without water stress in no-tillage system.

Keywords: Components production, water deficit, irrigation management,

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Imagem por satélite do campo experimental da Embrapa Meio-Norte e sua localização no município de Teresina, estado do Piauí.....	28
Figura 2. Curvas de retenção de água no solo da área experimental em sistema de plantio convencional (PC) e plantio direto (PD) na profundidade de 0 a 0,3 m	30
Figura 3. Detalhe da semeadora (A) e das linhas de plantio em sistema direto (B) e convencional (C)	31
Figura 4. Localização dos coletores nos regimes hídricos avaliados	33
Figura 5. Conjunto TDR 100 montado no campo para acompanhamento da dinâmica da água no solo. Datalogger CR 10X, multiplexador (A); sonda instalada (B)	35
Figura 6. Localização das sondas da TDR no ensaio	36
Figura 7. Registros diários da temperatura do ar (A), umidade relativa do ar (B) e precipitação (C) durante a condução do ensaio	40
Figura 8. Variação das lâminas de irrigação aplicadas em decorrência dos regimes hídricos impostos.	42
Figura 9. Variação do armazenamento (ARM) e da água disponível (AD) de água no solo, na camada de 0,0 – 0,3 m, em decorrência da aplicação dos regimes hídricos, ao longo das fases fenológica do feijão-caupi: vegetativo (I), reprodutivo (II) e maturação (IV), em sistema de plantio direto e convencional. Teresina, PI, 2015	43
Figura 10. Número de vagem por planta (NVP) em função dos regimes hídricos e de três densidades em sistema de plantio convencional (PC) e direto (PD) e para a cv. BRS imponente. Teresina, PI. 2015	49
Figura 11. Comprimento de vagem (CVg) em função dos regimes hídricos para a cv. BRS Imponente em sistema de plantio convencional (PC) e plantio direto (PD). Teresina, PI. 2015	50
Figura 12. Número de grãos por vagens (NVG) em função dos regimes hídricos impostos para a cv. Imponente em sistema de plantio convencional (PC) e plantio direto (PD). Teresina, PI. 2015.....	52
Figura 13. Massa de cem grão (MCG) em função dos regimes hídricos impostos para a cv. BRS Imponente em sistema de plantio convencional (PC) e plantio direto (PD). Teresina, PI. 2015.....	53
Figura 14. Relação grão-vagem (RGV) em função dos regimes hídricos para a cv. BRS Imponente em sistema de plantio convencional (PC) e plantio direto (PD). Teresina. 2015	54

Figura 15. Relação grão-vagem (RGV) em função das densidades de planta para a cv. BRS Imponente em sistema de plantio convencional (PC). Teresina, PI, 2015 ..55

Figura 16. Produtividades de grãos em função dos sistemas de plantio e regimes hídricos para a cultivar BRS Imponente. Teresina, PI, 2015.58

Figura 17. Produtividades de grãos em função das densidades de plantas de feijão-caupi, cultivar BRS Imponente. Teresina, PI, 201559

Figura 18. Eficiência do uso da água (EUA) em função das densidades de plantas de feijão-caupi, cultivar BRS Imponente. Teresina, PI, 201560

Figura 19. Eficiência do uso da água (EUA) em função dos sistemas de Plantio e regimes hídricos para a cultivar BRS Imponente. Teresina, PI, 2015.61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Análise granulométrica do solo da área experimental. Embrapa Meio-Norte. Teresina, PI, 2015.	29
Tabela 2. Análise química do solo da área experimental. Embrapa Meio-Norte. Teresina, PI, 2015.	29
Tabela 3. Espaçamento (m) entre plantas dentro da fileira (EDF) e número de plantas por metro linear em função do arranjo populacional a ser avaliado no estudo	31
Tabela 4. Valores de coeficiente de cultivo para o feijão-caupi, em diferentes fases do ciclo utilizado no ensaio.....	34
Tabela 5. Lâminas totais de irrigação aplicadas em decorrência dos regimes hídricos avaliados (50% e 100% ETc) e os respectivos valores de coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC, %)	41
Tabela 6. Quadrados médios referentes ao número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV), comprimento de vagem (CVg), massa de cem grãos (MCG), e relação grão-vagem (RGV) na cultivar BRS Imponente com e sem déficit hídrico e densidades de planta (D), em sistema de plantio convencional, em Teresina – PI, 2015	47
Tabela 7. Quadrados médios referentes ao número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV), comprimento de vagem (CVg), massa de cem grãos (MCG), relação grão-vagem (RGV) na cultivar BRS Imponente com e sem déficit hídrico e densidades de planta (D) em sistema de plantio direto (PD). Teresina – PI, 2015.....	47
Tabela 8. Quadrados médios referentes à análise conjunta da produtividade de grãos (PG) e eficiência de uso da água (EUA) na cultivar BRS Imponente com e sem déficit hídrico e densidades de planta, avaliados em sistema de cultivo convencional e plantio direto. Teresina – PI, 2015.....	56
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 Imponente com e sem déficit hídrico e densidades de plantas. Teresina-PI, 2015.	62

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1 Origem, classificação botânica e nomes vulgares.....	16
2.2 Importância socioeconômica	16
2.3 Ecofisiologia	18
2.4 Cultivar BRS Imponente	18
2.5 Necessidade hídrica.....	19
2.6 Efeitos do estresse hídrico na produção e componentes de produção	20
2.7 Efeitos da densidade de plantas na produção e componentes de produção	21
2.8 Plantio direto	23
2.9 Armazenamento de água no solo.....	24
2.10 Eficiência do uso da água	26
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	28
3.1 Localização da área do experimento.....	28
3.2 Características físico-hídricas e químicas do solo.....	28
3.3 Preparo do solo, adubação e semeadura.....	30
3.4 Tratos culturais e controle fitossanitário	32
3.5 Sistema de irrigação.....	32
3.6 Aplicação dos regimes hídricos.....	33
3.7 Monitoramento do conteúdo de água no solo	34
3.8 Produtividade de grãos e componentes de produção	36
3.9 Eficiência do uso da água	38
3.10 Delineamento experimental e análise estatística	38
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	40
4.1 Dados climáticos	40
4.2 Regimes hídricos.....	41
4.3 Armazenamento de água no solo.....	42
4.4 Componentes de produção, produtividade de grãos e eficiência do uso da água.	46
4.5 Correlação entre os componentes de produção e a produtividade de grãos	62
5 CONCLUSÕES	64
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65

1 INTRODUÇÃO

O feijão-caupi, também conhecido como feijão-de-corda ou feijão-macassar, tem grande importância na segurança alimentar das regiões tropicais e subtropicais, notadamente, aquelas com alta instabilidade pluviométrica e baixo nível tecnológico. É um alimento de alto teor proteico, energético, de fibras alimentares e de minerais (FROTA et al., 2008).

É uma cultura de grande importância nas regiões Norte e Nordeste. Atualmente expandiu-se para outras regiões do Brasil, principalmente para o Centro-Oeste, em razão da sua ampla adaptabilidade às condições tropicais, ao baixo custo de produção e do intenso trabalho de melhoramento genético. No entanto há necessidade de ampliar os estudos que proporcione conhecimento do manejo adequado de dois importantes fatores de produção, a quantidade de água aplicada e a densidade de plantas.

A aplicação de água ao solo no momento correto, na quantidade demandada concede a maximização da produtividade de grãos do feijão-caupi, garantindo um rendimento economicamente viável, principalmente em regiões áridas e semiáridas.

No contexto atual, onde existe a expectativa de aumento da demanda de água, há uma preocupação com a escassez hídrica. Assim, é de fundamental importância para que a agricultura irrigada se mantenha sustentável, em termos ambientais, o eficiente uso da água na irrigação (COELHO et al., 2005a).

A eficiência do uso da água (EUA) está relacionada à produção de biomassa ou produção comercial pela quantidade de água aplicada ou evapotranspirada. Em agricultura irrigada, a elevação e a determinação dos níveis da EUA são bastante complexas e requerem conhecimentos e considerações interdisciplinares (SOUSA et al., 2000).

A EUA de irrigação pode ser alcançada atuando-se: a) na estrutura de irrigação então existente, em termos de tipos de cultivo, sistemas de irrigação e gestão do uso de água; b) nos métodos de manejo da irrigação e c) nas técnicas que permitem o aumento da eficiência do uso da água (COELHO et al., 2005a).

Com relação ao fator densidade de planta, estudos indicam que o feijão-caupi responde de maneira diferente às populações de plantas para as mesmas condições de manejo e ambientais. A expressão do potencial produtivo das cultivares é resultado da combinação de diversos fatores, dentre eles a densidade de plantas, o

que reforça a necessidade de estudos nessa linha de pesquisa. O desenvolvimento e a produtividade do feijão-caupi dependem da intensidade da competição e do estágio em que ela será mais intensa entre as plantas (BEZERRA, 2005). A competição em intensidade elevada, nos estádios iniciais de desenvolvimento, pode favorecer o surgimento de plantas improdutivas, reduzindo o estande final e, conseqüentemente, o rendimento de grãos (BEZERRA et al., 2008).

Uma forma para que a cultura do feijão-caupi aumente mais EUA é a utilização do sistema de plantio direto. Como um método de conservação eficiente, o plantio direto é um sistema diferenciado de manejo do solo com intuito da redução do impacto gerado por máquinas agrícolas e da agricultura no solo. O plantio direto se desenvolveu de forma muito rápida, devido as suas vantagens, que incluem a diminuição dos custos de produção, ser uma prática conservacionista diminuir o tempo entre a colheita da safra anterior e a semeadura da safra seguinte (RESCK, 1999). Há inúmeras vantagens ao optar por este sistema considerando que as perdas de água e solo podem ser controladas, promove um mínimo de mobilização e deixa o máximo de resíduos da cultura antecessora sobre o solo, garantindo maior aporte de matéria orgânica ao sistema.

Além da adoção do sistema de cultivo plantio direto, o manejo racional da irrigação é de fundamental importância para a conservação da água em sistemas agrícolas irrigados. Nesse sentido, deve-se aplicar a lâmina de água adequada para bom suprimento hídrico, evitando estresse hídrico à cultura que possa afetar o crescimento das plantas e os componentes de produção (BEZERRA et al., 2003).

Conclui-se, portanto, que é crucial o desenvolvimento de pesquisas avaliando a combinação de densidades de plantas e regimes hídricos, em sistemas de plantio direto e convencional, que proporcionem maior desempenho dos componentes de produção e produtividade de grãos do feijão-caupi. Os resultados gerados nessa pesquisa poderá auxiliar o produtor na obtenção de maiores produtividades de grãos de feijão-caupi com o aumento de sua renda, além de otimizar a eficiência do uso de água para produção de grãos, reduzindo a pressão de uso sob os recursos hídricos.

Desta forma, o objetivo desse trabalho foi avaliar a influência de diferentes densidades de plantas com e sem déficit hídrico, em sistema de cultivo convencional e plantio direto, bem como a interação destes dois fatores sobre os componentes de produção, produtividade de grãos e eficiência do uso da água do feijão-caupi cultivar BRS Imponente, nas condições edafoclimáticas de Teresina, PI.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Classificação botânica, origem e nomes vulgares

O Feijão-caupi (*Vigna unguiculata*) é uma planta dicotiledônea, autógama pertencente à família *Fabaceae*. É uma leguminosa, que para alguns autores, consideram a África como centro de origem e domesticação, pois há uma maior concentração de espécies do gênero, além disso, um grande número de espécies endêmicas foi encontrado nessa região (Ng; MARÉCHAL, 1985; BA et al., 2004). Porém, outra corrente de pesquisadores acredita que a origem da planta seria na Ásia ou América do Sul (FREIRE FILHO, 1988; MAGLOIRE, 2005; SIMON et al., 2007).

A introdução do feijão-caupi no continente americano pode ter ocorrido a partir da Europa e do oeste da África, estando relacionado com o tráfico de escravos e com a colonização espanhola no século XVI. Acredita-se que a introdução no Brasil, ocorreu na Bahia, espalhando-se pelos colonizadores para as demais áreas da região Nordeste e para outras regiões do país (FREIRE FILHO, 1988).

No Brasil a espécie *Vigna unguiculata* (L) Walp tem vários nomes vulgares dependendo da região. No Norte é conhecido como feijão de praia e feijão de estrada, no Nordeste é conhecido como feijão-de-corda e feijão macassar, no Sul como feijão catador feijão gerutuba em algumas regiões do estado da Bahia e norte de Minas Gerais e de feijão fradinho no estado do Rio de Janeiro (FREIRE FILHO et al., 2005).

2.2 Importância socioeconômica

No mundo, o feijão-caupi tem grande importância tanto econômica como social, especialmente na Índia e no continente africano. Devido a sua rusticidade, a espécie possui uma capacidade de adaptação frente a estresses hídrico, térmico e salino (XAVIER et al., 2005).

O feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp.), tem grande importância na base alimentar da população das regiões norte e nordeste do Brasil (SOARES et al., 2006). No estado do Piauí, especificamente, esta cultura desempenha um papel de

grande valor socioeconômico, sendo considerada uma das mais importantes culturas de subsistência.

Na região Norte e Nordeste, a produção de feijão-caupi é realizada por pequenos produtores e agricultores familiares que utilizam ainda práticas agrícolas tradicionais. Atualmente, essa cultura passou a ser cultivado na região centro-oeste em larga escala desde 2006, sendo a produção advinda principalmente de médios e grandes produtores, que adotam práticas culturais altamente tecnificadas e sob irrigação, em alguns casos (FREIRE FILHO, 2011).

O feijão-caupi tem como característica se tratar de um grão de grande diversidade no que diz respeito ao mercado, podendo ser comercializado na forma de grãos secos e vagem, farinha para acarajé e sementes (ROCHA et al., 2007). Pelo seu valor nutritivo, é cultivado principalmente para a produção de grãos secos ou verdes, visando o consumo humano *in natura*, na forma de conserva ou desidratado. Além disso, o feijão-caupi também é utilizado como forragem verde, feno, silagem, farinha para alimentação animal e, ainda, como adubação verde e proteção do solo (ANDRADE JÚNIOR et al., 2002).

No mundo a produção de feijão-caupi em 2014 foi de aproximadamente 5,6 milhões de toneladas, produzidas em 12,5 milhões de hectares. Os maiores produtores mundiais são Nigéria, Níger, Burkina Faso, Tanzânia e Miammar com 2,1 milhões, 1,6 milhões, 571 mil, 191 mil e 115 mil toneladas, respectivamente FAO (2015). O Brasil não possui uma produção significativa por isso não aparece nas estatísticas da FAO.

De acordo com Embrapa Arroz e Feijão (2016), a produção de feijão-caupi no Brasil em 2015 foi de 452.013 toneladas colhidas em 1.078.040 hectares, com uma produtividade de 419 kg ha⁻¹. No Nordeste a área cultivada na safra 2015 foi de 886.158 hectares, com uma produção de 245.002 toneladas. Entretanto, a produtividade média de grãos da cultura na região Nordeste, ainda é baixa, 276 kg ha⁻¹. No estado do Piauí, a área cultivada com feijão-caupi, no mesmo período foi de 186.972 hectares, com uma produção de 47.531 toneladas. Entretanto, a produtividade de grãos média do feijão-caupi no Piauí foi de apenas 254 kg ha⁻¹, ou seja, ficou pouco abaixo da média do Nordeste.

2.3 Ecofisiologia

As plantas são, frequentemente, expostas à condições ambientais, que podem afetar de forma negativamente o crescimento e o rendimento das culturas. Compreender aspectos da ecofisiologia da cultura do feijão-caupi é fundamental para diminuir os impactos de condições climáticas desfavoráveis, a fim de proporcionar maior produtividade de grãos. Dentre os elementos do clima que afetam o desenvolvimento e a produtividade de grãos do feijão-caupi destacam-se a precipitação, umidade relativa do ar, a temperatura do ar e a radiação solar.

A temperatura mais adequada para o desenvolvimento do feijão-caupi encontra-se na faixa de 20°C a 30°C. Elevadas temperaturas durante a fase de 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). Por se tratar de uma planta C3, satura-se fotossinteticamente a intensidades de luz, relativamente baixas, em torno de 10.000 e 40.000 lux (CARDOSO, 2000).

Bastos et al. (2000) constataram por meio de simulações que, em Teresina - PI o plantio de feijão-caupi para o cultivo irrigado deve se restringir até o mês de julho. Quando o plantio do feijão-caupi com irrigação ocorre a partir de meados do mês de agosto, há uma redução significativa da produtividade de grãos, devido ao abortamento de flores, pela ocorrência de elevada temperatura do ar durante o florescimento.

A cultura do feijão-caupi exige um mínimo de 300 mm de chuva para que produza de forma satisfatória, sem a necessidade de utilização da prática da irrigação (EMBRAPA MEIO NORTE, 2002).

2.4 Cultivar BRS Imponente

A cultivar BRS Imponente é mais um resultado do Programa de Melhoramento Genético do Feijão-caupi, coordenado pela Embrapa Meio-Norte, em Teresina, Piauí, sendo indicado para cultivo na região Norte, no estado do Pará; na região Nordeste, nos estados do Piauí e Maranhão; e na região Centro-Oeste, no Mato Grosso. Possui um ciclo de 65 a 70 dias. Como principais características agrônômicas destaca-se o hábito de crescimento indeterminado, porte semiereto,

com ramos laterais curtos, ciclo de maturação precoce e inserção das vagens acima do nível da folhagem, o que lhe confere uma boa resistência ao acamamento (EMBRAPA, 2016).

Essa cultivar apresenta comprimento médio da vagem de 18 cm, número médio de grão por vagem em torno de 9, massa médio de 100 sementes de 34 gramas. Seus grãos são brancos, tipo de hilo pequeno, anel do hilo de cor marrom e tegumento rugoso de tamanho extra-grande. As principais características nutricionais são: 22,66% de proteína, 52,31 mg kg⁻¹ de ferro, 51,22 mg kg⁻¹ de zinco. Além disso, é um grão de rápido cozimento e excelente para preparação de pratos como baião de dois, feijão tropeiro e saladas (EMBRAPA, 2016).

Com uma maior adaptabilidade em condições de sequeiro, obteve-se com a cultivar produtividades de grãos de 2.181 kg ha⁻¹ (Mato Grosso), indicando possuir alto potencial produtivo. Sob cultivo irrigado por aspersão convencional obteve-se produtividade de grãos de 1.165 kg ha⁻¹ (EMBRAPA, 2016).

O espaçamento indicado é de 45 cm a 50 cm entre linhas, respectivamente com 9 ou 10 plantas por metro linear. A quantidade de sementes viáveis para a obtenção dessa população é de 68 kg.

2.5 Necessidade hídrica

A quantidade de água requerida pelo feijão-caupi varia de acordo com a fase fenológica. 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), podendo variar de 300 a 450 mm/ciclo, bem distribuídos nos diferentes estádios de desenvolvimento e é dependente da cultivar, do solo e das condições climáticas locais (NASCIMENTO, 2009).

Bastos et al. (2008), nas condições edafoclimáticas do Vale do Gurguéia, PI, encontraram uma evapotranspiração (ET_c) do feijão-caupi de 288,5 mm para todo o ciclo, o que corresponde a uma ET_c média diária de 4,1 mm, com maior demanda hídrica na fase reprodutiva (5,4 mm dia⁻¹).

Andrade et al. (1993), na região de Tabuleiros Costeiros (Parnaíba, PI), obtiveram ET_c para o feijão-caupi de 5 mm dia⁻¹, no início do ciclo, até atingir um pico de 9 mm dia⁻¹, aos 32 dias após o plantio, quando a cultura alcançou pleno

desenvolvimento vegetativo. O consumo de água em todo o ciclo foi de 380 mm, correspondendo a um consumo médio de 6,3 mm dia⁻¹.

O consumo hídrico diário raramente excede 3,0 mm, quando a planta está na fase inicial de desenvolvimento (NASCIMENTO, 2009). No período compreendido entre o pleno crescimento, florescimento e enchimento de vagens, seu consumo pode se elevar para 5,0 a 5,5 mm diários, conforme relatados por (BEZERRA; FREIRE FILHO, 1984).

Oliveira (2013), com objetivo de estudar a densidade populacional do feijão-caupi sob níveis de irrigação, encontrou produtividade máxima de 1.668,86 kg ha⁻¹ alcançado com a lâmina de 390,9 mm associada à densidade de 24,1 plantas m⁻².

Ramos (2011), avaliando as características produtivas, fisiológicas e econômicas do feijão-caupi para grãos verdes, sob diferentes regimes hídricos na área experimental da Embrapa Meio-Norte, em Teresina, Piauí, verificou que as máximas produtividades de grãos verdes foram de 2.937,3 kg ha⁻¹ (BRS Guariba) e 2.492,9 kg ha⁻¹ (BRS Paraguaçu), obtidas com as lâminas de irrigação de 354 mm e 423 mm, respectivamente.

2.6 Efeitos do déficit hídrico na produção e componentes de produção

Estresse é um desvio significativo das condições ótimas para a vida, e induz mudanças e respostas em todos os níveis funcionais do organismo, os quais são reversíveis em princípio, mas podem se tornar permanente (LARCHER, 2000).

O déficit hídrico no solo afeta acentuadamente o metabolismo nas espécies vegetais, transporte e translocação de solutos na planta, a turgescência celular, a abertura e o fechamento dos estômatos e a expansão do sistema radicular no solo, o que contribui para uma redução da produtividade da cultura (TAIZ; ZEIGER, 2009).

O feijão-caupi é uma cultura sensível ao déficit hídrica do solo, que aliado à incerteza hídrica climática, principalmente com relação à distribuição de forma irregular das chuvas, contribui para diminuição na produtividade de grãos, além da oscilação de produção anual no estado do Piauí (MOUSINHO et al., 2008).

No período da floração pode provocar o aborto e queda de flores, reduzindo o número de vagens por planta. Para Costa Junior (2015) a maioria das culturas apresentam períodos críticos quanto à deficiência hídrica, durante os quais a sua ocorrência pode causar grandes decréscimos no rendimento.

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

Nascimento et al. (2004) ao estudarem os efeitos da variação de níveis de água disponível no solo sobre o crescimento e produção de feijão-caupi, vagens e grãos verdes, observaram redução no número de vagens por planta, 32 e 49%, e na massa de vagens por planta, 23 e 30%, respectivamente para os níveis de 60 e 40% de água disponível do solo.

Lima et al. (2011) em trabalho realizado sobre o balanço de energia e evapotranspiração de feijão-caupi sob condições de sequeiro, encontraram que o déficit hídrico na fase reprodutiva foi determinante para as baixas produtividades de grãos e eficiência no uso de água.

Tatagiba et al. (2013) em estudo com crescimento o rendimento produtivo do feijoeiro submetido à restrição hídrica, verificaram que a restrição hídrica afetou negativamente o crescimento e o rendimento produtivo do feijoeiro. Em trabalhos realizados por Bezerra et al. (2008), o adensamento de plantas no feijão-caupi provocou redução no número de no número de vagens por planta e na produção de grãos por planta; no entanto, o adensamento não influenciou significativamente a massa de cem grãos.

Guimarães et al. (2011) avaliaram genótipos de feijoeiro comum sob deficiência hídrica e constataram que o número de vagens por planta é o componente agrônomo mais sensível ao estado hídrico do feijoeiro.

Cunha et al. (2013) observaram que as plantas de feijoeiro submetidas a déficit hídrico de 21 e 37% nas fases vegetativa e reprodutiva, respectivamente, têm sua produtividade reduzida em 29%, e que déficit hídrico de 22% na fase reprodutiva é capaz de reduzir a produtividade do feijoeiro em 15%.

2.7 Efeitos da densidade de plantas na produção e componentes de produção

O espaçamento entre as linhas e a densidade de plantas pode ser aplicado com a finalidade de estabelecer o arranjo mais adequado à obtenção de uma maior produtividade de grãos, além de adaptação à colheita mecanizada, já que plantas

distribuídas de forma desuniforme implicam aproveitamento insuficiente de recursos disponíveis, como luz, água e nutrientes (TOURINO et al., 2002).

O maior potencial produtivo das cultivares é resultado da combinação de fatores, dentre eles, se destaca a população de plantas, por ter influência em várias características morfofisiológicas e de rendimento de grãos (BEZERRA, 2005).

Brito (2013), em estudo com o comportamento de cultivar de feijão-caupi de porte semiprostrado em resposta à diferentes densidades de plantas, observaram que o número de vagens por planta foi afetado pelas populações de plantas avaliadas. O comprimento de vagem, a massa de cem grãos e o número de grãos por vagem apresentaram redução com o aumento da densidade de plantas. A relação grão-vagem não foi influenciada pela densidade de plantas.

Bezerra et al. (2012), em estudo com o comportamento morfoagronômico de feijão caupi, cv. BRS Guariba, sob diferentes densidades de plantas, observaram uma redução total de 67,6% na produção de grãos por planta (PGP) quando a população foi aumentada de 10 para 50 plantas m^{-2} (Figura 3), sendo que a redução observada para o intervalo de 10 a 30 plantas m^{-2} representou 87,5% da redução total.

Bezerra et al. (2008), pesquisando sobre morfologia e produção de grãos em linhagens modernas de feijão-caupi de porte ereto, submetidas a diferentes densidades populacionais, observaram que o aumento da densidade populacional propicia um maior comprimento do ramo principal das plantas. Concluíram ainda que o máximo rendimento de grãos de 1.835 $kg\ ha^{-1}$ é obtido com a densidade populacional de 30 plantas m^{-2}

Santos (2013) em estudo com resposta do feijão-caupi a diferentes densidades de plantas em Neossolo Regolítico verificou que o aumento das densidades de plantas de feijão-caupi reduz linearmente o número de vagens por planta, a produção de grãos por planta e a relação grãos-vagem e aumentado de forma quadrática a produtividade de vagens e produtividade de grãos por ha^{-1} . Verificou ainda que a máxima eficiência técnica da produtividade de grãos do feijão-caupi (1.233 $kg\ ha^{-1}$) é alcançada com 12,2 plantas m^{-2}

Cardoso e Ribeiro (2005) em estudo com a produtividade de grãos de feijão-caupi em um Argissolo amarelo em Teresina, em função do arranjo de plantas verificaram que o número de vagens por planta e a produção de grãos por planta se comportaram de maneira linear decrescente com o acréscimo do número de plantas

por área, encontraram que o máximo rendimento de grãos de 1.670 kg ha^{-1} é obtido com $7,75 \text{ plantas m}^{-2}$.

Oliveira (2013), em estudo com densidade populacional do feijão-caupi sob níveis de irrigação, verificou que o aumento na densidade de plantio determinou incremento na produtividade de grãos (PG) até o limite máximo $24 \text{ plantas m}^{-2}$, a partir desse houve reduções nos valores de PG.

Oliveira (2013), em estudo com densidade populacional do feijão-caupi sob níveis de irrigação, observou que sob as maiores lâminas de irrigação há consumo hídrico diferenciado do feijão-caupi em função da densidade de raízes para extração da água do solo. Concluiu que o padrão de extração de água do solo é diretamente proporcional às densidades de plantas. Observou ainda que não há grande variação da extração de água nas diferentes densidades do feijão-caupi quando submetido às menores lâminas de irrigação.

2.8 Plantio direto

O sistema de cultivo convencional submete o solo a efeitos direto da radiação solar, contribuindo para que ocorra uma redução dos estoques de matéria orgânica essencial à atividade microbiana. Assim, se torna fundamental o aproveitamento de todas as possibilidades de obtenção e reciclagem de resíduos orgânicos, incluindo o uso de palhada e resto de lavouras em plantio direto e rotação de cultura (GASPARIM et al., 2005).

A formação bem como a manutenção da palhada sobre a superfície do solo constitui um dos principais entraves à adoção do plantio direto nos trópicos, onde as elevadas temperaturas do ar associadas a adequada umidade do solo promovem a decomposição mais rápida dos resíduos vegetais (STONE et al., 2006).

A cobertura da superfície do solo com palhada tem grande importância na agricultura irrigada, pois ela altera a relação solo-água, diminuindo as taxas de evaporação e de evapotranspiração das culturas, principalmente nos estádios em que o dossel destas não cobre totalmente o solo, reduzindo a frequência de irrigação, por consequência uma economia nos custos de operação do sistema de irrigação (STONE et al., 2006).

Andrade et al. (2002), trabalhando com consumo relativo de água do feijão-caupi no plantio direto em função da porcentagem de cobertura do solo, observaram que a evapotranspiração máxima apresentou valores menores à medida que aumentou a porcentagem de cobertura do solo.

Mendes et al. (2007), com o objetivo de determinar a evapotranspiração (ETc) e o coeficiente de cultivo (Kc) da cultura de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* L.) cv. Nova era, em condições de solo com e sem o uso de cobertura morta observaram que o feijão-caupi cultivado em solo com cobertura morta reduz o consumo de água em 19,4%, em relação ao solo sem cobertura.

Coutinho (2016), em estudo com o desempenho agrônômico do feijão-caupi sob diferentes populações em sistema de plantio convencional e direto verificou que a produtividade de grãos (PG kg ha⁻¹) apresentou efeito quadrático através da análise de regressão polinomial para ambos os sistemas de cultivo. A máxima produtividade de grãos secos com 13% de umidade para o plantio convencional foi de 1.605,65 kg ha⁻¹ e para o plantio direto foi de 1.548 kg ha⁻¹ alcançada ambos na população de 20 plantas m⁻².

2.9 Armazenamento de água no solo

As características físico-hídricas do solo influenciam o movimento da água para atmosfera através da planta. Em solos arenosos, que apresentam grandes espaços porosos entre as partículas, há menor retenção de água e elevada percolação para as camadas mais profundas; por outro lado, solos argilosos, com espaços porosos menores, retêm mais água e dificulta a drenagem.

A água que chega ao solo, parte dela é armazenada. Ela ocupa os espaços porosos do solo, que é formado de arranjo físico de partículas sólidas que competem frequentemente com a fase gasosa.

As mudanças no conteúdo de água do solo e no seu estado de energia, afetam as suas propriedades mecânicas, o que inclui a resistência, compactação e penetrabilidade, causando mudanças na densidade dos solos (OR e WRAITH, 2000).

No solo, a água possui uma dinâmica extremamente variável, influenciado principalmente pelas chuvas, irrigações, drenagem ou pela evaporação e práticas de manejo da cultura. Por isso, é necessário o conhecimento do teor de água no solo,

bem como sua variação temporal e espacial em condições diferentes, de solo e práticas culturais, o que torna importante o uso da água de forma mais racional na agricultura (ANDRADE JÚNIOR et al., 2013).

A dinâmica da água no solo tem relação direta com a produção vegetal; portanto seu conhecimento é de interesse fundamental para qualquer tomada de decisão sobre a exploração agrícola dos solos. Assim, a melhor caracterização dos fatores que interferem neste movimento se torna imprescindível, uma vez que o movimento da água no sistema solo-planta-atmosfera envolve processos como infiltração, redistribuição, drenagem e absorção pelas plantas, os quais podem ser medidos ou estimados pelo método do balanço hídrico.

Nos solos sob plantio direto é maior o volume dos poros de tamanho intermediário, já que uma parte dos poros originalmente grandes são comprimidos e reduzidos em tamanho pela compactação, ao passo que os poros internos nos aglomerados, os microporos, permanecem inalterados. Desta maneira, os sistemas de preparo que provocam maior revolvimento do solo, armazenam menos água na camada revolvida em comparação à outra camada sem revolvimento (STONE et al., 2012).

O armazenamento da água no solo pode ser calculado a partir da determinação gravimétrica do conteúdo de água no solo (BRITO et al., 2009), por moderação de nêutrons (BARROS; HANKS, 1993; CRUZ et al., 2004), por tensiômetros e curva de retenção (LIBARDI; SAAD, 1994; PARAMASIVAM et al., 2000) e por TDR (MELO FILHO; LIBARDI, 2005).

A reflectometria no domínio do tempo (TDR) é uma técnica eletrônica complexa, inicialmente utilizada para testar rompimentos em cabos elétricos. Posteriormente, a técnica foi utilizada para medir o teor de água no solo (TOPP et al. 1980) e condutividade elétrica do solo (DALTON; VAN GENUCHTEN, 1986). A técnica, basicamente, consiste em medir o tempo necessário para que um pulso eletromagnético se propague por meio de um cabo coaxial de impedância constante até chegar a uma sonda no final do cabo, cravada no solo. O pulso, pelas alterações no início da haste sofre uma reflexão, continuando o percurso nas hastes da sonda até o final da mesma onde é definitivamente refletido de volta ao testador de cabos (ANDRADE JÚNIOR ET AL., 2013). O tempo de percurso do pulso eletromagnético ao longo das hastes da sonda de comprimento permite obter a constante dielétrica do solo.

2.10 Eficiência do uso da água

Existe uma tendência natural de aumento do uso da água no futuro, motivado pelo aumento populacional e a maior necessidade de produção de alimentos, para atender a essa população (CHRISTOFIDIS, 2002). Portanto, existe a expectativa de aumento da demanda por 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., 2005b). Por isso, no processo de produção de alimentos, a água deverá ser utilizada com a maior eficiência possível.

A disponibilidade de água é fator preponderante quando se pretendem obter ganhos na produtividade de grãos do feijão-caupi, o que pode ser conseguido com um manejo adequado da irrigação, que proporcione a maximização da eficiência do uso da água (LOCATELLI ET AL. 2014).

A eficiência do uso da água (EUA) está relacionada à produção de biomassa ou produção comercial pela quantidade de água aplicada ou evapotranspirada. (SOUSA et al., 2000). Em agricultura irrigada, a elevação e a determinação dos níveis da EUA são bastante complexos e requerem conhecimentos e considerações interdisciplinares (SOUSA et al., 2000).

Ramos et al. (2013), ao avaliar a eficiência do uso da água e produtividade de grãos do feijão-caupi sob diferentes regimes hídricos, observou que as máximas eficiências de uso da água, $0,42 \text{ kg m}^{-3}$ e $0,43 \text{ kg m}^{-3}$ foram obtidas com a aplicação das lâminas de irrigação de 326 mm e 279 mm, respectivamente, para as cultivares BRS Guariba e BRS Paraguaçu.

Moura et al. (2009), ao avaliar o efeito da lâmina de irrigação na produtividade do feijão-caupi no semiárido brasileiro, observaram que apesar de a lâmina 100% ter apresentado maior produção de grãos, quando se analisou o uso eficiente da água, constatou-se que a lâmina 75% mostrou-se mais eficiente, com $31,3 \text{ kg m}^{-3}$ de água aplicada.

Oliveira (2013), em estudo com densidade populacional do feijão-caupi sob níveis de irrigação, obteve valor máximo de EUA de $4,78 \text{ kg ha}^{-1}\text{mm}^{-1}$ com a lâmina de 342,97 mm e a densidade populacional de $23,3 \text{ plantas m}^{-2}$.

Costa Junior (2015), trabalhando com o desempenho agronômico do feijão-caupi sob diferentes regimes hídricos e espaçamentos entre fileiras de plantas encontrou que a combinação formada pela lâmina de 305,4 mm e o espaçamento entre fileiras de plantas de 0,36 m, proporcionou um valor máximo de eficiência de uso da água de $0,54 \text{ kg m}^{-3}$.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização da área do experimento

O ensaio foi conduzido no campo experimental da Embrapa Meio-Norte, em Teresina, Piauí (5°05' S, 42°29' W e 74,4 m), no período de outubro a dezembro de 2015 (Figura 1). Optou-se por esse período do ano por não haver registros históricos de precipitação, que pudessem prejudicar a imposição dos regimes hídricos desejados. O clima do município segundo a classificação climática de Thornthwaite e Mather, é do tipo C1sA'a', com temperatura média anual de 28,2 °C e precipitação média anual de 1.343,4 mm (BASTOS; ANDRADE JÚNIOR, 2014).

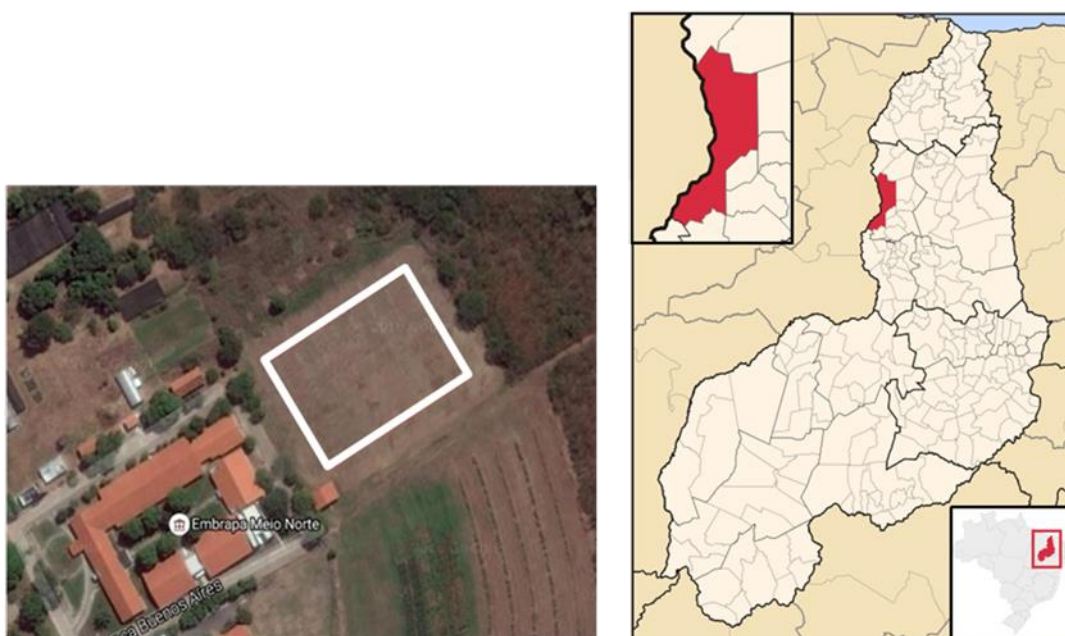


Figura 1. Imagem por satélite do campo experimental da Embrapa Meio-Norte e sua localização no município de Teresina, estado do Piauí.

Fonte: Google Earth (2016).

3.2 Características físico-hídricas e químicas do solo

O solo da área experimental é um Argissolo Vermelho Amarelo eutrófico (MELO et al., 2014). As características físico-hídricas e químicas são apresentadas nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1. Análise granulométrica do solo da área experimental. Embrapa Meio-Norte. Teresina, PI, 2015.

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

Fonte: Laboratório de Solos da Embrapa Meio-Norte.

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

Prof. (m)	MO g kg ⁻¹	pH H ₂ O	P mg dm ⁻³	mmol dm ⁻³						CTC	v (%)
				K ⁺	Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H ⁺ +Al 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.

As curvas de retenção de água no solo foram elaboradas a partir da coleta de amostras indeformadas de solo nas profundidades de 0,0 a 0,1; 0,1 a 0,2 e 0,2 a 0,3 m, nos sistemas de cultivo convencional e plantio direto (Figura 2), nos pontos 6; 10; 30; 100; 500; 1500, por meio da câmara de Richards (RICHARDS; FIREMAN, 1943).

O ajuste das curvas foi realizado por meio do modelo de Van Genuchten (1980), conforme descrito por Dourado Neto et al. (2000). Os parâmetros de ajuste para o sistema de plantio convencional e direto são apresentados nas equações 1 e 2, respectivamente, na profundidade de 0,0-0,3 m.

$$PC \rightarrow \theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\left[1 + (\alpha\psi)^n\right]^m} = 0,055 \frac{0,260 - 0,055}{\left[1 + (1,8043\psi)^{3,2476}\right]^{0,0738}} \quad \text{Eq.1}$$

$$PD \rightarrow \theta = \theta_r + \frac{\theta_s - \theta_r}{\left[1 + (\alpha\psi)^n\right]^m} = 0,000 \frac{0,260 - 0,000}{\left[1 + (0,0048\psi)^{0,4078}\right]^{0,7822}} \quad \text{Eq.2}$$

Onde:

θ : conteúdo volumétrico de água (cm³ cm⁻³);

Ψ : potencial matricial (kPa);

θ_r e θ_s : umidades residuais e de saturação, respectivamente ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);

α : parâmetro relacionado com o inverso da pressão de entrada de ar ($> 0, \text{cm}^{-1}$); n (> 1);

m : parâmetros empíricos adimensionais.

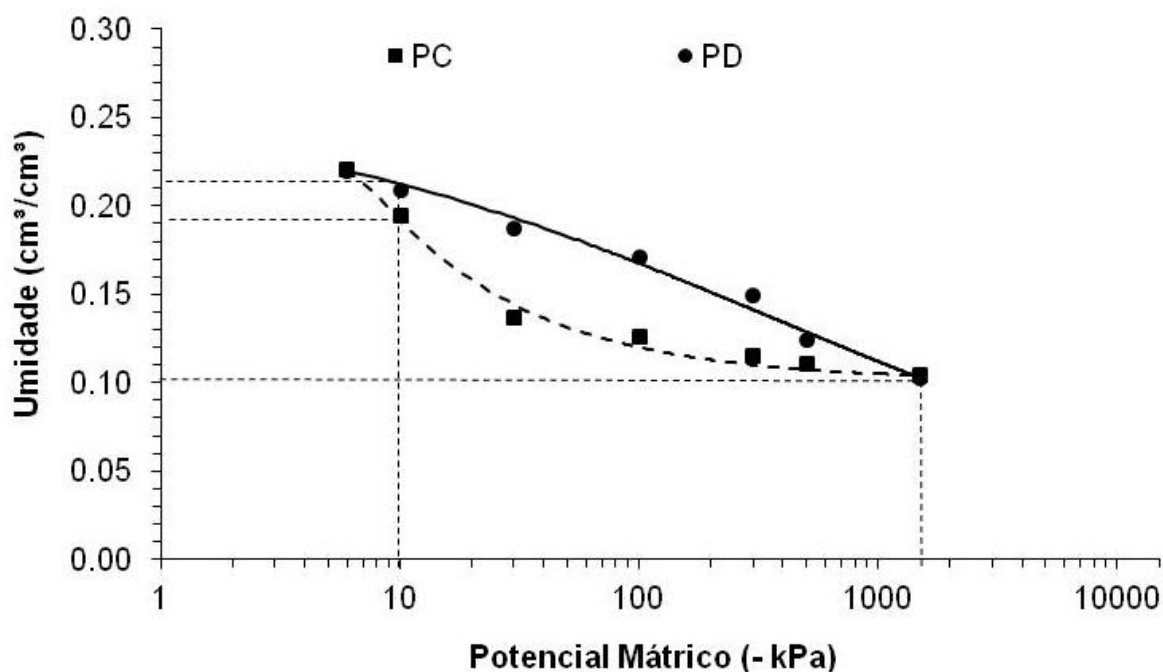


Figura 2. Curvas de retenção de água no solo da área experimental em sistema de plantio convencional (PC) e plantio direto (PD) na profundidade de 0 a 0,3 m.

3.3 Preparo do solo, adubação e semeadura

Na área do sistema de plantio convencional, o preparo do solo consistiu de roço, duas gradagens niveladoras cruzadas. Na área de sistema de plantio direto, a palhada foi formada pela adição de palha de cana-de-açúcar seca e triturada. Contudo, no período chuvoso dos anos de 2013 e 2014, a área foi cultivada com sorgo, milho e braquiária para promover a formação da palhada.

A adubação de fundação foi efetuada com base na análise de solo e seguindo as exigências nutricionais do feijão-caupi (EMBRAPA MEIO). A adubação de fundação consistiu na aplicação de 50 kg de $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ e 40 kg de $\text{K}_2\text{O} \text{ ha}^{-1}$ (BASTOS et al., 2012).

Semeou-se a cultivar BRS Imponente com semeadora tracionada por trator (Figura 3A), no dia 13 de outubro de 2015. Usou-se o espaçamento de 0,5 m entre

sulcos de plantio, com as sementes posicionadas a 0,03 m de profundidade no solo, com a semeadora sendo regulada para a máxima densidade de plantas. Posteriormente, por ocasião da emergência (15 dias após a semeadura), efetuou-se desbaste do excesso de plântulas, de modo a ajustar-se as densidades a serem avaliadas no estudo (Tabela 3).



Figura 3. Detalhe da semeadora (A) e das linhas de plantio em sistema direto (B) e convencional (C).

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

População de Plantas ha ⁻¹	EDF (m)	Plantas m ⁻¹
D1 - 120.000	0,166	6
D2 - 160.000	0,125	8
D3 - 200.000	0,100	10

3.4 Tratos culturais e controle fitossanitário

O controle de plantas daninhas foi realizado de forma manual com enxada, sempre que necessário durante todo o ciclo do feijão-caupi. O controle fitossanitário de pragas foi realizado com inseticida à base de Thiamethoxam na dose de 150 ml ha⁻¹. Foi efetuado o monitoramento das plantas para a constatação de doenças por meio de observações foliares periódicas.

3.5 Sistema de irrigação

Para a aplicação dos regimes hídricos foi utilizado o sistema de irrigação por aspersão convencional fixo, com aspersores de impacto com bocais de 4,4 x 3,2 mm, vazão de 1,59 m³ h⁻¹ a uma pressão de serviço de 30 mca, espaçados de 12 x 12 m, com uma intensidade de aplicação de água (Ia) de 11,04 mm/h.

Para quantificar as lâminas de irrigação aplicadas em cada regime hídrico, aos 12 dias após a semeadura (DAS), foram instalados 16 coletores em cada regime hídrico, perfazendo um total de 32 coletores na área experimental (Figura 4). Esses coletores foram espaçados de 3,0 m x 3,0 m e estavam localizados entre os quatro aspersores centrais da área.

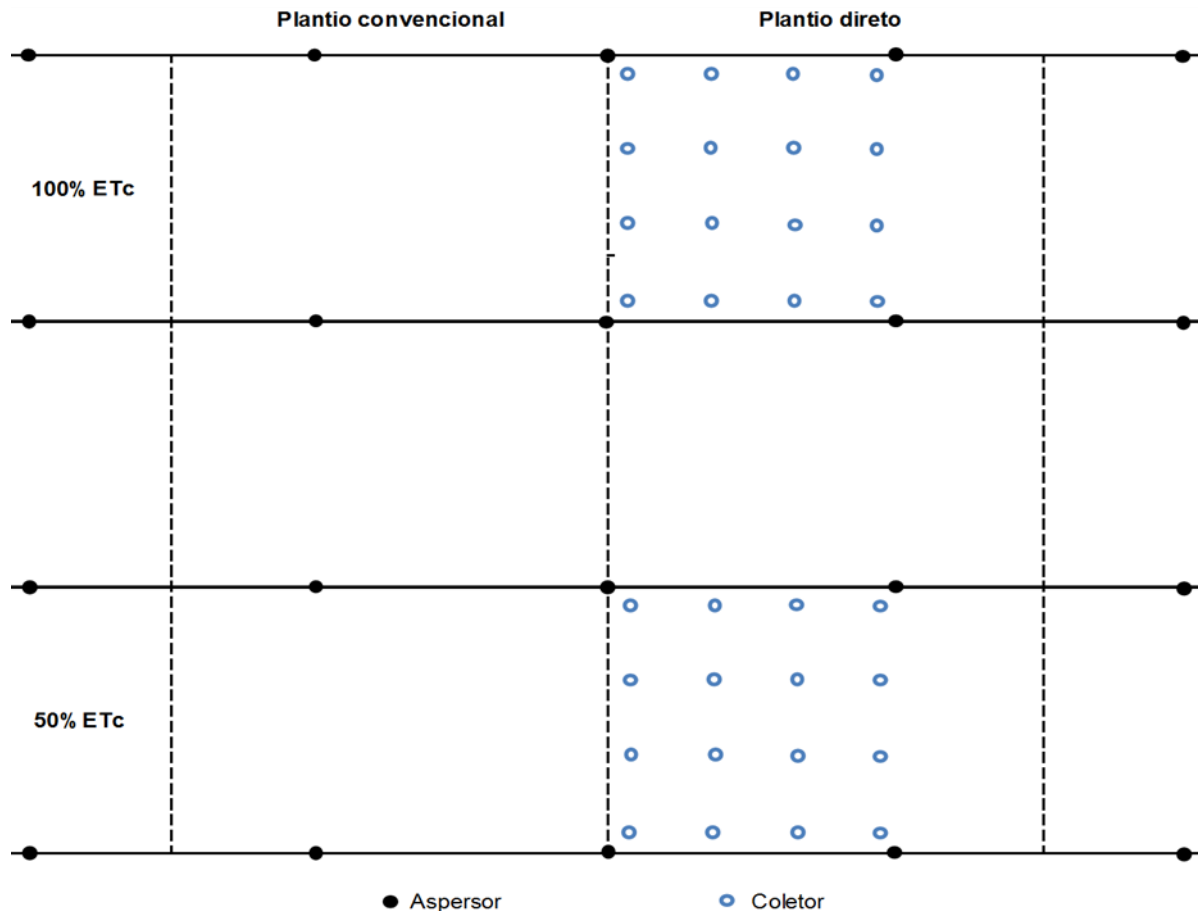


Figura 4. Localização dos coletores nos regimes hídricos avaliados.

3.6 Aplicação dos regimes hídricos

A aplicação dos regimes hídricos foi realizada por meio da reposição da evapotranspiração da cultura (ET_c) determinada com base na evapotranspiração de referência (ET_o), que foi estimada pelo método de Penman-Monteith, conforme metodologia proposta por Allen et al. (1998), e no coeficiente de cultura (K_c) do feijão-caupi (Tabela 4), recomendado por Andrade Júnior et al. (2000). A ET_o foi estimada com base em dados climáticos médios diários de temperatura do ar, umidade relativa do ar, radiação solar global e velocidade do vento obtidos de estação agrometeorológica automática instalada próximo do experimento. Desta forma, garantiu-se o atendimento da necessidade hídrica da cultura nas fases anteriores e durante a imposição dos tratamentos.

Tabela 4. Valores de coeficiente de cultivo para o feijão-caupi, em diferentes fases do ciclo utilizado no ensaio.

Fase do ciclo	DAS	Kc
I	0 – 15	0,50
II	16 – 34	0,80
III	35 – 53	1,20
IV	54 – 63	0,80

Da sementeira aos 21 dias após a sementeira (DAS) foram aplicadas lâminas uniformes de irrigação, com irrigações todos os dias, repondo-se a ETc do dia anterior, de modo a garantir a germinação e o desenvolvimento inicial das plantas

A partir dos 21 DAS do feijão-caupi foram impostos os regimes hídricos diferenciados, com irrigações nas segundas, quartas e sextas-feiras, repondo-se a ETc acumulada dos dias anteriores que não foram irrigados. Avaliou-se dois regimes hídricos (RH): RH1 – reposição de 50% da ETc do período anterior e RH2 – reposição de 100% da ETc do período anterior.

3.7 Monitoramento do conteúdo de água no solo

O monitoramento do conteúdo de água no solo foi realizado por meio de um equipamento TDR, composto por datalogger (Figura 5A), multiplexadores e hastes, com 0,3 m de comprimento (Figura 5B). A distribuição dos multiplexadores e hastes na área, permitiu a quantificação da umidade do solo nas três populações de plantas (12,16 e 20 plantas m⁻²) e dois regimes hídricos (50% e 100% da ETc) avaliados, nos dois sistemas de cultivo (convencional e plantio direto), nas quatro repetições, totalizando 48 hastes (Figura 6). As hastes foram fixadas no solo, até a profundidade de 0,3 m, e a 0,05 m de distância das fileiras de plantas. O datalogger foi programado para a aquisição de registros de umidade do solo a cada 30 minutos. O procedimento de calibração, instalação e operação da TDR seguiu as recomendações de Coelho et al. (2005b). Os registros foram iniciados a partir do dia 11 de novembro de 2015, quando o feijoeiro se encontrava com 23 DAS. O período de acompanhamento da dinâmica da água no solo durou 41 dias, finalizando a coleta de dados no dia 22 de dezembro de 2015.

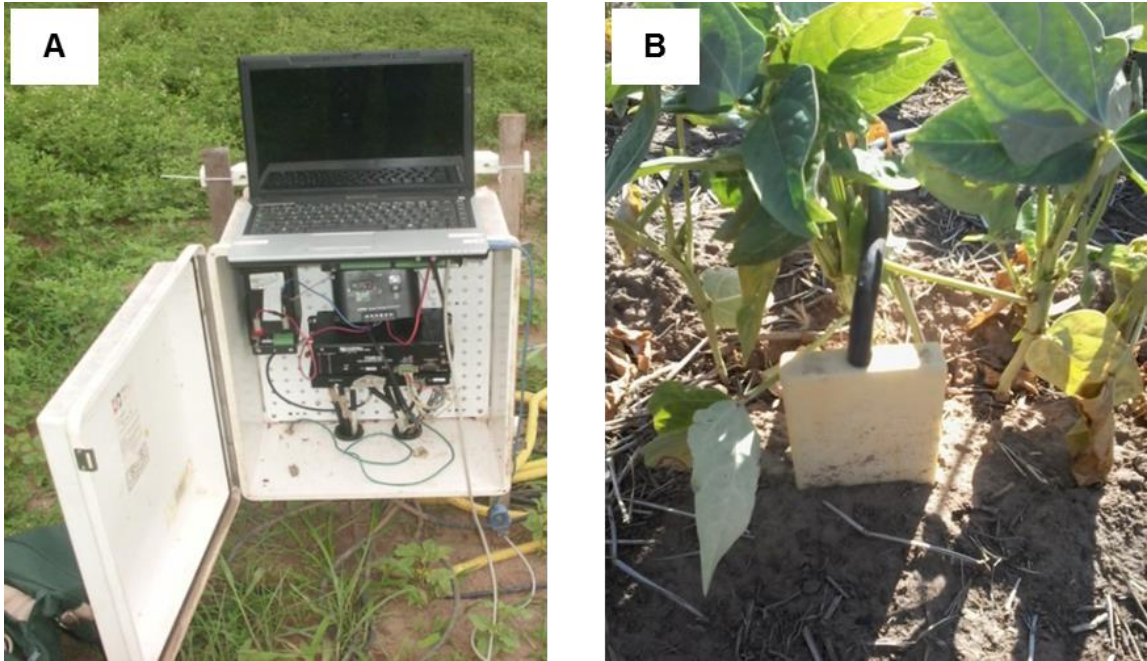


Figura 5. Conjunto TDR 100 montado no campo para acompanhamento da dinâmica da água no solo. Datalogger CR10X, multiplexador (A); sonda instalada (B).

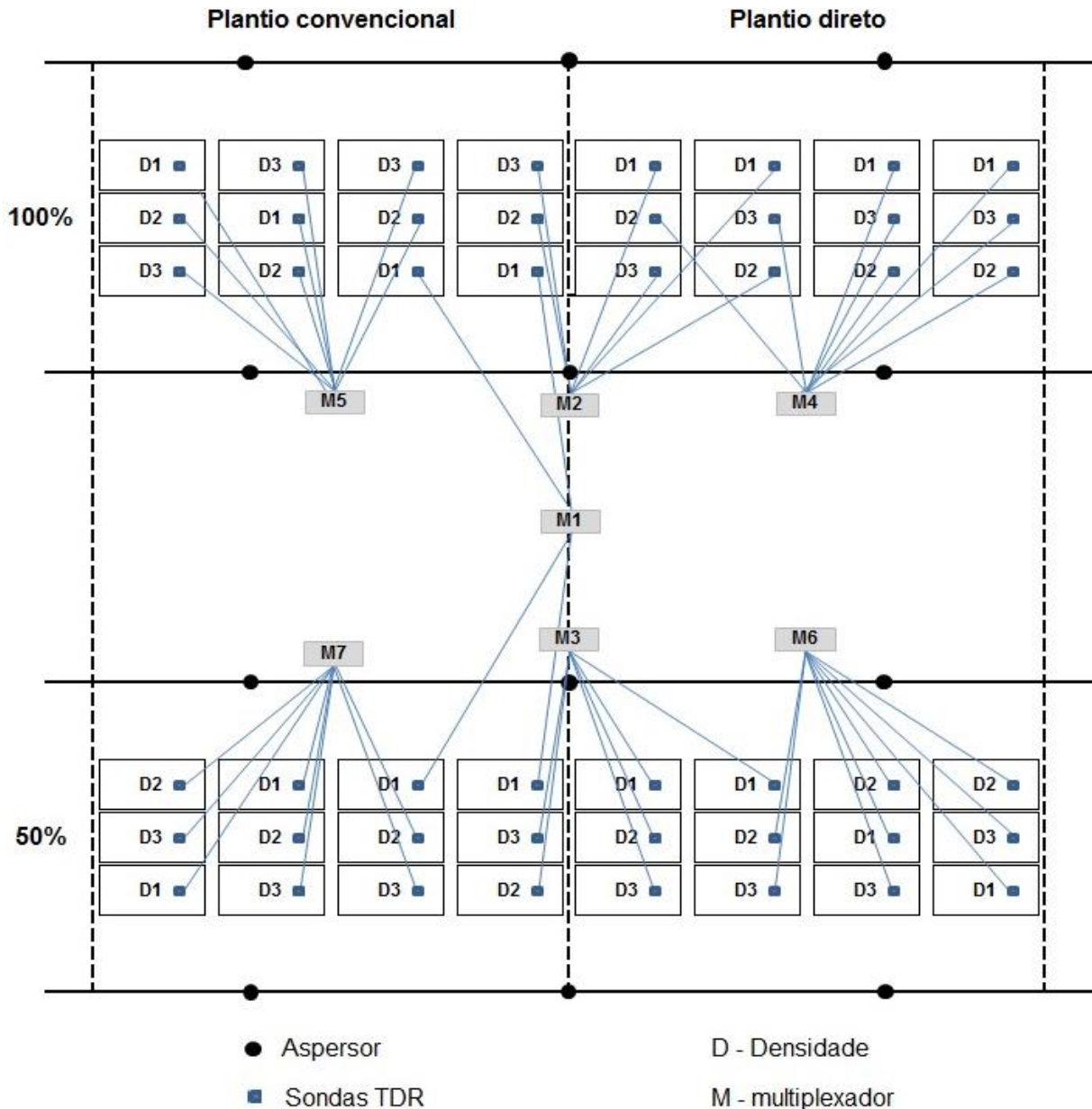


Figura 6. Localização das sondas da TDR no ensaio.

3.8 Componentes de produção e produtividade de grãos

A colheita foi realizada no dia 21 de dezembro de 2016 de forma manual aos 64 dias após a emergência das plantas. Foram colhidos grãos de duas fileiras centrais de cada parcela (área útil da parcela de dimensões de 4,0 m x 1 m). Foram avaliados os seguintes componentes de produção: número de vagens por planta (NVP); número de grãos por vagem (NGV), comprimento de vagem (CVg, cm), massa de cem grãos (MCG, g), e relação grão-vagem (RGV), os quais foram obtidos da seguinte forma:

- NVP: média da contagem direta do número de vagens de todas as plantas da parcela área útil dividido pelo total de plantas.
- NGV: corresponde à média do número de grãos em dez vagens escolhidas ao acaso da área útil da parcela.
- CVg: comprimento, em cm, de 10 vagens, tomadas ao acaso da área útil da parcela.
- MCG, g: referente a massa, expresso em gramas, de cem grãos secos, colhidos na área útil da parcela.
- RGV: obtido através da relação entre a massa de grãos e a massa de vagens oriundos da área útil da parcela.
- A PG, kg ha⁻¹ foi obtida após a colheita das duas fileiras da área útil de cada parcela experimental, por meio da debulha manual de todas as vagens, pesagem dos grãos e correção do teor de umidade para 13%, posteriormente foi calculada a produtividade de grãos atual (kg ha⁻¹) e a produtividade de grãos corrigida (kg ha⁻¹), conforme equações 3 e 4, respectivamente.

$$PG_a = \frac{10}{AU} \times PG \quad \text{Eq.3}$$

Onde:

PG_a: Produtividade de grãos atual (kg ha⁻¹)

AU: área útil da parcela (m²)

Mg: massa de grãos da parcela (g)

$$PG_c = \frac{(100 - U_a) \times PG_a}{100 - U_d} \quad \text{Eq.4}$$

Onde:

PG_c: Produtividade de grãos corrigida (kg ha⁻¹)

PG_a: Produtividade de grãos atual (kg ha⁻¹)

U_a: Umidade inicial encontrada no grão por ocasião da colheita (%)

U_d: Umidade desejada = 13%

3.9 Eficiência do uso da água (EUA)

A EUA, em kg m^{-3} , foi estimada dividindo-se as produtividades de grãos secos (kg) pelas lâminas de irrigação aplicadas (mm) transformadas em volume aplicado por hectare (m^3) (BARBIN, 2003), conforme a equação 5.

$$\text{EUA} = \frac{\text{PG}_c}{L \times 10} \quad \text{Eq. 5}$$

Onde:

EUA – eficiência do uso de água, kg m^{-3} ;

PG_c – Produtividade de grãos corrigida, kg ha^{-1} ;

L – Lâmina de irrigação aplicada (mm) transformada em volume de água aplicado por hectare ($\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$).

3.10 Delineamento experimental e análise estatística

Utilizou-se o delineamento experimental de blocos completos casualizados, no esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições, onde os regimes hídricos (50 e 100% ETc) representam as parcelas e as densidades de plantas (12, 16, 20 plantas m^2), as subparcelas. Avaliou-se dois sistemas de cultivo em ensaios distintos (sistema de cultivo convencional e plantio direto). Cada sistema de cultivo foi constituído de 24 parcelas. Cada unidade experimental era composta de quatro fileiras de 4,0 m de comprimento espaçadas entre si de 0,50 m. O espaçamento entre plantas variou conforme as populações de plantas (Tabela 3). A área útil da parcela totalizou 4,0 m^2 e era formada por duas fileiras centrais.

Para comparar-se os ensaios (convencional e plantio direto) foi realizada a análise conjunta dos dados. Segundo Pimentel Gomes (2009), os ensaios em diversos locais podem ser agrupados em uma única análise desde que o quociente entre o maior e o menor quadrado médio do resíduo (QMRes) seja inferior a 7.

Para avaliar a influência dos regimes hídricos e população de plantas, em cultivo convencional e plantio direto, sobre a produtividade de grãos secos, eficiência do uso da água e componentes de produção, efetuou-se a ANOVA (teste F) e a comparação de médias pelo teste de Tukey a 5% ($P < 0,05$). Usou-se a correlação de

Pearson aos dados de produtividade de grãos e componentes de produção. Todas as análises foram realizadas utilizando o software ASSISTAT 7.6 (SILVA; AZEVEDO, 2009).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Dados climáticos

Na Figura 7 são apresentadas as médias dos registros diários de temperatura do ar (máxima – T_{max}, mínima – T_{min} e média – T_{med}, em °C), umidade relativa do ar (UR, em %) e precipitação (P, em mm) durante período de condução do experimento.

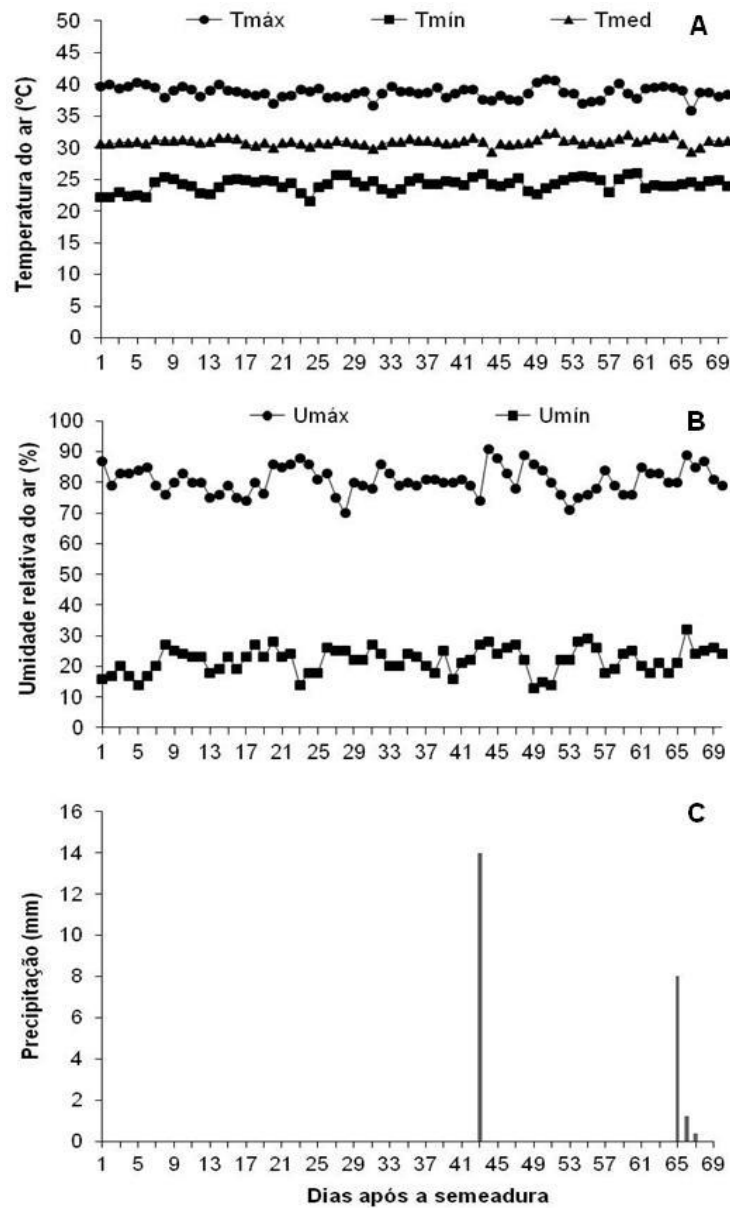


Figura 7. Registros diários da temperatura do ar (A), umidade relativa do ar (B) e precipitação (C) durante a condução do ensaio.

Fonte: Estação Meteorológica do INMET instalada na Embrapa Meio-Norte.

A temperatura média do ar variou entre 29,4°C e 32,4°C (Figura 7A), dentro da faixa considerada ideal para um bom desenvolvimento do feijão-caupi que é de 18°C a 34°C (CARDOSO, 2000); no entanto, as temperaturas máximas ficaram acima dos 38 °C durante o experimento, sendo o dia mais quente no dia 01/12, aos 50 DAS, com uma temperatura de 40,7°C, o que pode ter contribuído para abortamento de flores, com isso a produtividade foi reduzida em ambos os sistemas de cultivos. O decréscimo da produtividade em função do aumento da temperatura do ar pode ser atribuído ao fato que a translocação de fotoassimilados é bastante reduzida às temperaturas elevadas (CAMPOS et al.,2011).

Com relação à umidade relativa do ar, o menor registro foi de 13% (25/10) e a máxima de 91% (31/10), aos doze e dezoito DAS, respectivamente, ou seja, antes da aplicação dos regimes diferenciados. Durante todo o período de imposição dos regimes a umidade esteve em torno de 22%, na mínima, e 80%, na máxima (Figura 7B). No período de aplicação dos regimes diferenciados houve o registro de 14,0 e 8 mm de precipitação (24/11 e 16/12), aos 43 e 65 DAS respectivamente; contudo, sem comprometer o ensaio (Figura 7C).

4.2 Regimes hídricos

Na Tabela 5 são apresentados os totais das lâminas de irrigação aplicadas no período antes e durante a aplicação dos regimes hídricos diferenciados, bem como o total acumulado durante todo o ciclo da cultura.

Tabela 5. Lâminas totais de irrigação aplicadas em decorrência dos regimes hídricos avaliados (50% e 100% ETc) e os respectivos valores de coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC, %).

Lâminas	Regimes Hídricos (mm)	
	50% ETc	100% ETc
Antes do estresse hídrico	152,52	148,14
Durante o estresse hídrico	106,61	200,36
Total aplicado	259,13	348,50
CUC (%)	80,59	80,21

Da semeadura aos 20 DAS foram aplicadas lâminas praticamente uniformes nos dois regimes hídricos, que foram de 152,5 mm (50% ETc) e 148,1 mm (100% ETc), suficiente para o adequado desenvolvimento inicial da cultura. A partir dos 21 DAS do feijão-caupi foram aplicadas lâminas diferenciadas de irrigação de 106,6 mm (50% ETc) e 200,4 mm (100% ETc), o que resultou nas lâminas totais de irrigação de 260,4 (50% ETc) e 348,5 mm (100% ETc), cuja aplicação ao longo do ensaio é mostrada na Figura 8.

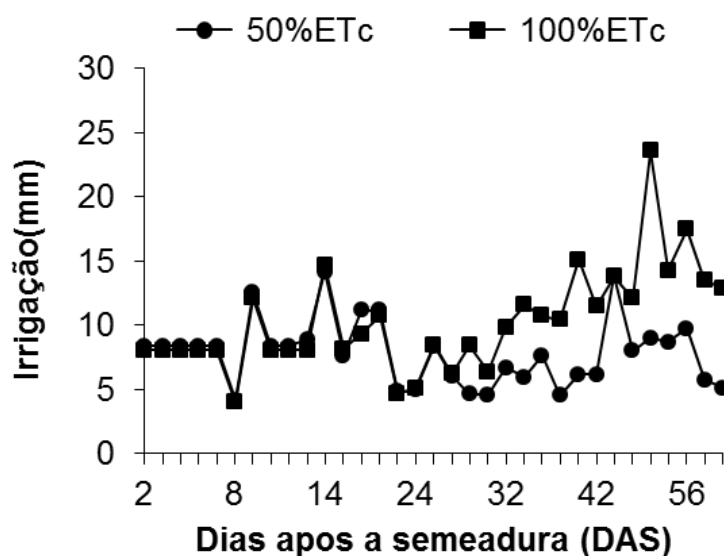


Figura 8. Variação das lâminas de irrigação aplicadas em decorrência dos regimes hídricos impostos.

Os valores de CUC foram respectivamente de 80,59% (50% ETc) e 80,21% (100% ETc), os quais são considerados como aceitáveis para irrigação por aspersão (Christiansen,1942), indicando que a aplicação dos RH ocorreu de forma uniforme na área, não se constituindo em fonte de variação adicional no ensaio.

4.3 Armazenamento de água no solo

A Figura 9 apresenta a variação do armazenamento de água no solo durante as fases fenológicas em sistema de plantio direto (PD) e convencional (PC), na camada de 0,0 a 0,3 m, em decorrência da aplicação dos regimes hídricos diferenciados no solo.

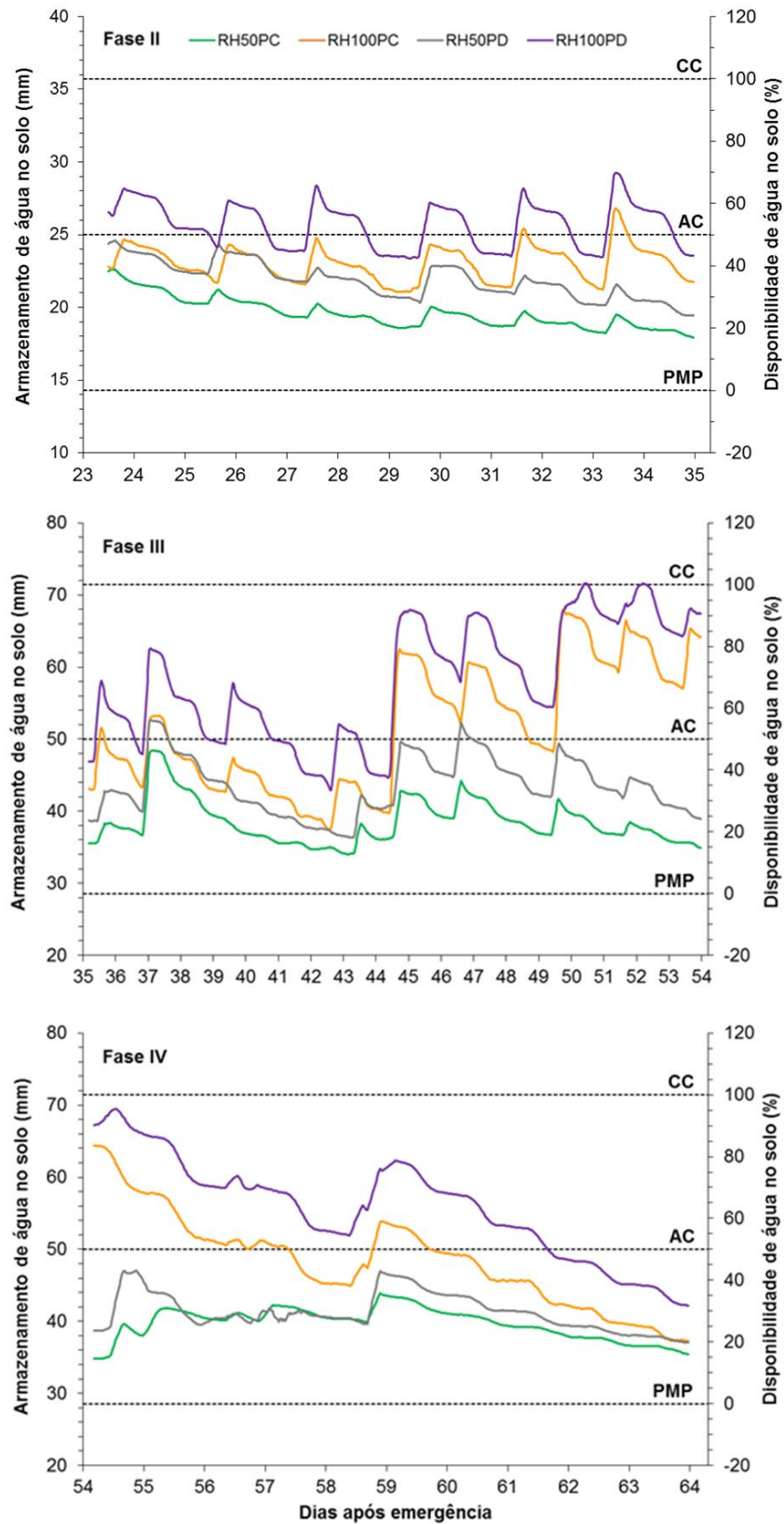


Figura 9. Variação do armazenamento (ARM) e da água disponível (AD) de água no solo, na camada de 0,0 – 0,3 m, em decorrência da aplicação dos regimes hídricos (50 e 100% ETc), ao longo das fases fenológica do feijão-caupi: vegetativo (I), reprodutivo (II) e maturação (IV), em sistema de cultivo direto e convencional. Teresina, PI, 2015.

Houve uma diferença nítida na variação no conteúdo de água disponível no solo, para os sistemas direto e convencional em decorrência dos regimes hídricos aplicados, notadamente, na fase III (dos 41 aos 53 DAS). Essa fase é considerada mais crítica em termos de exigência hídrica pelo feijão-caupi (BEZERRA et al., 2003).

Como forma de permitir avaliar o armazenamento de água no solo em relação aos limites crítico superior e inferior de disponibilidade de água no solo, inseriu na Figura 9 as linhas indicativas do armazenamento de água no solo na condição de capacidade de campo (CC), armazenamento crítico de água para a cultura (AC) e ponto de murcha permanente do solo (PMP). O armazenamento crítico representa a fração de água facilmente disponível no solo para as plantas, ou seja, o limite até o qual as plantas podem extrair água do solo sem haver redução de sua evapotranspiração.

O armazenamento de água no solo (ARM) seguiu a seguinte ordem: RH100PD > RH100PC > RH50PD > RH50PC. Em termos médios, na fase II o ARM no solo variou da seguinte forma: de 23,6 mm a 26,6 mm, com média de 25,2 mm correspondente a 50,9 % AD (RH100PD); de 21,9 mm a 23,3 mm, com média de 22,6 mm, correspondente a 37,8% da AD (RH100PC); de 19,8 mm a 24,1 mm, com média de 21,3 mm correspondente a 34,7% da água AD (RH50PD) e de 18,3 mm a 22,4 mm, com média de 20,4 mm correspondente a 26,8% da AD (RH50PC). Pode-se observar ainda na fase II, para o RH 100% ETc proporcionaram médias de água disponível no solo acima da umidade crítica para os sistemas de plantio convencional e sistema de plantio direto. Com o RH 50% ETc em ambos os sistemas, a água disponível ficou abaixo do AC, porém com maior disponibilidade de água de 8,0% sistema de cultivo direto com relação ao sistema de cultivo convencional.

Na fase III, o ARM no solo oscilou de 47,3 mm a 66,0 mm, com média de 56,6 mm correspondente a 66,6% da AD (RH100PD); de 43,8 mm a 63,6 mm, com média de 53,7 mm correspondente a 59,1% da AD (RH100PC); de 38,8 mm a 40,2 mm, com média de 39,5 mm sendo 23,8% da AD (L50PD) e de 35,7 mm a 36,9 mm, com média de 36,3 mm correspondente a 15,7% AD (RH50PC). Pode-se observar que na fase III, para o RH de 100% ETc no sistema de plantio direto, a água disponível ficou muito próximo da CC, cerca de 7,5% maior que no sistema de plantio

convencional. No RH de 50% ET_c, em ambos os sistemas, a água disponível ficou a baixo do AC, porém em PD com maior disponibilidade 8,1% de água no solo.

Na fase IV, em todos os regimes hídricos avaliados houve uma redução gradual tanto no ARM como na AD no solo motivada pela suspensão da irrigação visando à maturação das vagens.

Em ambos os regimes hídricos avaliados, a disponibilidade de água para o feijão-caupi foi superior na presença de palha na superfície do solo. A cobertura do solo com palha altera a relação solo-água-plantas, por meio da diminuição da taxa de evapotranspiração, devido à redução da evaporação, principalmente nos estádios em que o dossel vegetativo não cobre o solo por completo (STONE, 2006).

Anjos (2014), estudando a dinâmica da água e da temperatura do solo em um Plintossolo Argilúvico cultivado com cana-de-açúcar sob diferentes níveis de palhada, observou que o armazenamento de água no solo no tratamento sem cobertura de palha, durante todo o período de monitoramento, foi inferior aos valores de armazenamento de água no solo nos tratamentos com cobertura de palha.

O ARM de água no solo com a aplicação de 50% da ET_c, nos dois sistemas de plantio (RH50PC e RH50PD), permaneceu abaixo do ARM crítico (AC) para o feijão-caupi (Figura 9), notadamente nas fases II, IV e metade da fase III, indicando que a cultura sofreu estresse hídrico severo, afetando a produtividade de grãos e componentes de produção, conforme será discutido mais adiante.

Bezerra et al. (2003), estudando o déficit hídrico nas diferentes fases fenológicas do feijão-caupi, constataram que o déficit hídrico afetou estatisticamente a produtividade de grãos, o número de vagem por planta e o número de grão por vagem.

Oliveira et al. (2013), estudando a interação de níveis de água e densidade de plantas no crescimento e produtividade do feijão-caupi, em Teresina, PI observaram que os menores valores foram observados nos componentes de produção e na produtividade em virtude do estresse hídrico imposto pelas menores lâminas de irrigação que reduziram o conteúdo de água no solo.

4.4 Componentes de produção, produtividade de grãos (PG) e eficiência do uso da água (EUA).

A aplicação da relação entre os quadrados médios para os componentes de produção, PG e EUA, segundo recomendado por Pimentel Gomes (2009), para a definição quanto à análise conjunta a partir dos ensaios individuais conduzidos sob sistema de plantio convencional e direto, mostrou que apenas a PG e EUA atendeu ao preceito estabelecido.

Dessa forma, apenas para essas duas variáveis efetuou-se a análise conjunta visando-se avaliar o efeito do sistema de cultivo sobre a expressão da PG e EUA. Nesse caso, a análise estatística para esses dois componentes foi reprocessada seguindo o delineamento de parcelas sub-subdivididas assumindo-se os sistemas de plantio (convencional e direto), nas parcelas; os regimes hídricos (50% e 100% ETc), nas subparcelas, e as densidades populacionais (12, 16 e 20 plantas m⁻²), nas sub-subparcelas. Para todos os demais componentes de produção avaliados, a análise dos ensaios ocorreu de forma individual, com a avaliação dos sistemas de cultivo sobre a expressão de cada um, sendo efetuada apenas de forma comparativa.

Os quadrados médios para número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV), comprimento de vagens (CVg), massa de cem grãos (MCG) e relação grão-vagem (RGV), nos sistemas de plantio convencional (PC) e direto (PD), em função dos regimes hídricos (RH) e densidades de plantas estão apresentados nas Tabelas 6 e 7.

Com relação ao sistema de plantio convencional, verificou-se que houve interação significativa ($p < 0,01$ e $p < 0,05$) entre os regimes hídricos e densidade de plantas apenas para número de vagens por planta (NVP). O número de grãos por vagens (NGV) e o comprimento de vagem (CVg) foram afetados apenas pelos regimes hídricos impostos, indicando que a disponibilidade de água no solo promoveu alterações que não se manifestaram com as densidades de plantas. Para o componente relação grão-vagem (RGV), houve resposta apenas para as densidades de plantas, enquanto a massa de cem grãos (MCG) não variou devido aos regimes hídricos e densidades de plantas.

Tabela 6. Quadrados médios referentes ao número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV), comprimento de vagem (CVg), massa de cem grãos (MCG) e relação grão-vagem (RGV) na cultivar BRS Imponente com e sem déficit hídrico e densidades de plantas (D), em sistema de plantio convencional, em Teresina – PI, 2015.

FV	GL	Quadrados médios				
		NVP	CVg	NGV	MCG	RGV
Blocos	3	0,09 ^{ns}	5,73 ^{ns}	0,86 ^{ns}	0,87 ^{ns}	0,00230 ^{ns}
RH (Ta)	1	40,09 ^{**}	39,88 [*]	155,24 ^{**}	1,13 ^{ns}	0,01170 ^{ns}
Resíduo – a	3	0,18	2,57	0,92	0,66	0,00314
Densid (Tb)	2	1,81 ^{**}	2,53 ^{ns}	1,28 ^{ns}	14,42 ^{ns}	0,02258 [*]
Inter. Ta x Tb	2	2,05 [*]	5,78 ^{ns}	1,65 ^{ns}	7,37 ^{ns}	0,00003 ^{ns}
Resíduo – b	12	0,72	2,77	1,05	5,17	0,00410
CV (%) – a	--	16,16	9,40	15,04	2,24	7,60000
CV (%) – b	--	16,04	9,76	16,06	6,28	8,69000
Média	--	1,53	17,05	6,40	36,25	0,73708

^{ns} Não significativo; * Significativo a 5% de probabilidade; ** Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

Tabela 7. Quadrados médios referentes ao número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV), comprimento de vagem (CVg), massa de cem grãos (MCG), relação grão-vagem (RGV) na cultivar BRS Imponente com e sem déficit hídricos e densidades de planta (D) em sistema de plantio direto (PD). Teresina – PI, 2015.

FV	GL	Quadrados médios				
		NVP	CVg	NGV	MCG	RGV
Blocos	3	0,19 ^{ns}	1,03 ^{ns}	0,38 ^{ns}	0,96 ^{ns}	0,00016 ^{ns}
RH (Ta)	1	0,01 ^{ns}	0,84 ^{ns}	5,42 [*]	24,66 [*]	0,00807 ^{**}
Resíduo – a	3	0,66	0,36	0,44	0,94	0,00038
Densid (Tb)	2	5,01 ^{**}	0,03 ^{ns}	0,16 ^{ns}	1,07 ^{ns}	0,00038 ^{ns}
Inter. Ta x Tb	2	0,39 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,96 ^{ns}	0,31 ^{ns}	0,00013 ^{ns}
Resíduo – b	12	0,15	0,54	0,45	0,90	0,00018
CV (%) – a	--	14,13	3,29	8,97	2,59	1,25000
CV (%) – b	--	11,78	4,04	9,08	2,54	1,92000
Média	--	3,32	18,26	7,41	37,40	0,70417

^{ns} Não significativo; * Significativo a 5% de probabilidade; ** Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

Sob sistema de plantio direto, não houve interação significativa entre RH e D para nenhum dos componentes avaliados. Porém, houve resposta significativa ($p < 0,01$ e $p < 0,05$) para RH e D de forma separada. O número de grãos por vagens (NGV), a massa de cem grãos (MCG) e a relação grão-vagem (RGV) respondeu

unicamente ao fator regime hídrico (RH). Já o fator densidade de plantas (D) afetou de forma significativa apenas o número de vagens por planta (NVP) (Tabela 7).

Costa Júnior (2015), trabalhando com o desempenho agrônômico do feijão-caupi sob diferentes regimes hídricos e espaçamentos entre fileiras de plantas, observou valores significativos com relação ao efeito das lâminas para o componente NGV, MCG e RGV, concordando com essa pesquisa.

Número de vagens por planta (NVP)

O NVP é um dos principais componentes de produção do feijão-caupi. Andrade Júnior et al. (2002), analisando níveis de irrigação para o mesmo, verificaram que dos componentes de produção, o NVP é o que mais influencia a produtividade de grãos.

Em sistema de plantio convencional, verifica-se que em todas as densidades de plantas, o NVP obtido com o regime de reposição plena da ETc foi superior em comparação ao regime sob deficiência hídrica (50% ETc). O maior NVP ocorreu com a densidade de 16 plantas m⁻² no regime de 100% da ETc (3,35 vagens por planta) foram obtidas na densidade 12 plantas m⁻², seguido do obtido com a densidade 16 plantas m⁻² (3,05 vagens por planta), não havendo diferenças entre essas, superando a obtida pela densidade de 20 plantas m⁻² (2,07 vagens por planta) (Figura 10).

No sistema de plantio direto, as médias obtidas para NVP em função das densidades de plantas mostraram que a disponibilidade de água no solo não afetou os resultados de NVP em todas as densidades de plantas avaliadas. As maiores médias de NVP (4,19 vagens por planta) foram obtidas na densidade 12 plantas m⁻², seguido do obtido com a densidade 16 plantas m⁻² (3,59 vagens por planta), não havendo diferenças entre essas, superando a obtida pela densidade de 20 plantas m⁻² (2,25 vagens por planta) (Figura 10).

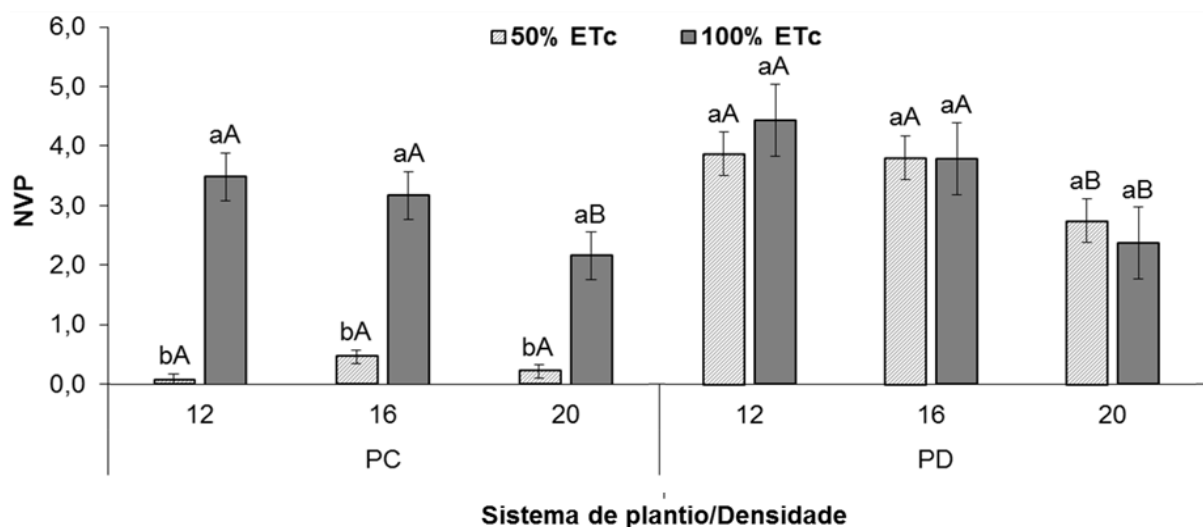


Figura 10. Número de vagem por planta (NVP) em função dos regimes hídricos e de três densidades em sistema de plantio convencional (PC) e direto (PD) e para a cv. BRS imponente. Teresina, PI. 2015.

* Médias seguidas da mesma letra minúscula (comparadas dentro da mesma densidade de plantas em ambos os sistemas de cultivo) e maiúscula (comparadas entre as densidades de plantas no diferentes regimes hídricos) não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

Resultado semelhante foi obtido por Locatelli et al. (2014) que, avaliando os componentes de produção, produtividade e eficiência da irrigação do feijão-caupi no cerrado de Roraima, verificaram que o NVP aumentou com o incremento dos regimes hídricos avaliados. Resultado semelhante também foi observado por Nascimento et al. (2004) que, analisando o efeito da variação de níveis de água disponível no solo sobre o crescimento e a produção de feijão-caupi, vagens e grãos verdes, verificaram que o NVP é afetado pelos níveis de estresse hídrico e com mais severidade que o ocorrido nos outros componentes, em todos os níveis de déficit hídrico impostos pelos tratamentos. Para Leite et al. (2000), a explicação para esse comportamento pode estar relacionada a um mecanismo de tolerância a seca pelo qual a planta se utiliza a fim de buscar melhores condições para se adequar à falta de água, produzindo menor quantidade de vagens.

Brito (2014), estudando o comportamento de cultivares de feijão-caupi de porte semi-prostrado em resposta às diferentes densidades de plantas, observaram que houve redução do NVP com o aumento da população de plantas. A competição intraespecífica pode ter sido o motivo principal da redução do NVP. Reduções no NVP em resposta ao aumento da população de plantas ha^{-1} foram obtidas também por Lemma et al. (2009) e Naim et al. (2010).

Bezerra et al. (2012), avaliaram o comportamento morfoagronômico de feijão-caupi, cv. BRS Guariba, sob diferentes densidades de plantas. Concluíram que houve uma redução de 63,8% no NVP quando a população de plantas passou de 10 para 50 plantas m⁻².

Comprimento de vagem (CVg)

Os valores médios para o CVg em sistema de plantio convencional e plantio direto são apresentados na Figura 11. Em sistema de PC, os valores médios de CVg foram de 15,8 cm (50% ETc) e 18,3 cm (100% ETc), os quais foram estatisticamente diferentes entre si ($p < 0,05$). Em sistema de plantio direto, o CVg, com média de 18,3 cm, não variou significativamente ($p > 0,05$) com a aplicação dos regimes hídricos.

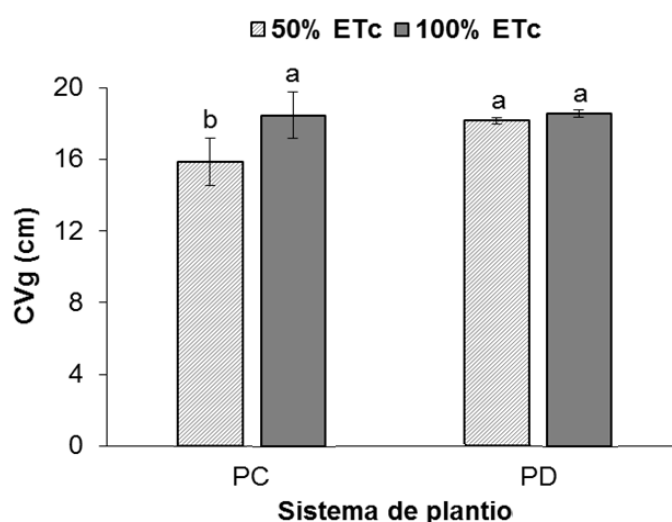


Figura 11. Comprimento de vagem (CVg) em função dos regimes hídricos para a cv. BRS Imponente em sistema de plantio convencional (PC) e plantio direto (PD). Teresina, PI. 2015.

* Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p > 0,05$), dentro do mesmo sistema de cultivo.

O regime de deficiência hídrica no solo, no plantio convencional reduziu o CVg em 13,6% em comparação a reposição plena da ETc. Ressalta-se que o CVg médio dessa cultivar é de 18 cm (EMBRAPA, 2016) e que foi obtido apenas quando se atendeu a exigência plena de água do feijão-caupi. O menor valor do CVg pode ter sido em virtude do déficit hídrico imposto, que reduziu o conteúdo de água e das temperaturas do ar elevadas durante o período do experimento.

Costa Junior et al. (2015), trabalhando com o desempenho agrônômico do feijão-caupi sob diferentes regimes hídricos e espaçamentos entre fileiras de plantas, concluiu que o CVg tende a aumentar com o acréscimo na disponibilidade de água no solo. Comportamento semelhante ao observado nesta pesquisa.

Ressalta-se ainda que, sob plantio direto, mesmo com aplicação de metade da exigência hídrica do feijão-caupi, o CVg não diferiu da condição onde fez-se a reposição plena da exigência da cultura (Figura 11). Essa tendência pode ser explicada pelo fato de que no sistema de plantio direto, a cobertura de palha reduz as perdas de água por evaporação, já que o solo se encontrava menos exposto a radiação solar, proporcionando maior disponibilidade de água para as raízes.

Número de grãos por vagem (NGV)

Em sistema de PC, o maior número médio de grãos por vagem (8,95) foi obtido no regime de reposição plena da ETc, que superou em 57% a obtida com a reposição de apenas metade da demanda hídrica do feijão-caupi (3,86 grãos por vagem) (Figura 12).

Em sistema de PD, o maior número médio de grãos por vagem (7,9 grãos por vagem) foi obtido com a reposição de 100% da ETc que, por sua vez, superou em 12,5% a obtida pela reposição de 50% da ETc (6,9 grãos por vagem) (Figura 12), indicando que a restrição hídrica afeta de forma negativa esse componente. Esse resultado está de acordo com os obtidos por Tatagiba et al. (2013), que em estudo avaliando o crescimento e rendimento produtivo do feijoeiro submetido à restrição hídrica, observaram que os valores do NGV foram superiores nas plantas submetidas a 100% da CC quando comparado com as plantas submetidas 50% da CC. Tais resultados corroboram com as observações de Pimentel e Perez (2000), que avaliaram o comportamento de parâmetros relacionados a tolerância à seca, em genótipos de feijoeiro, e verificaram haver um menor número de grãos por vagem em diferentes genótipos de feijoeiro submetidos a deficiência hídrica no solo.

Segundo Oliveira et al. (2003), o número de grãos por vagem é um componente de produção que apresenta baixa magnitude e pouca importância direta em trabalhos de seleção de plantas produtivas em feijão-caupi.

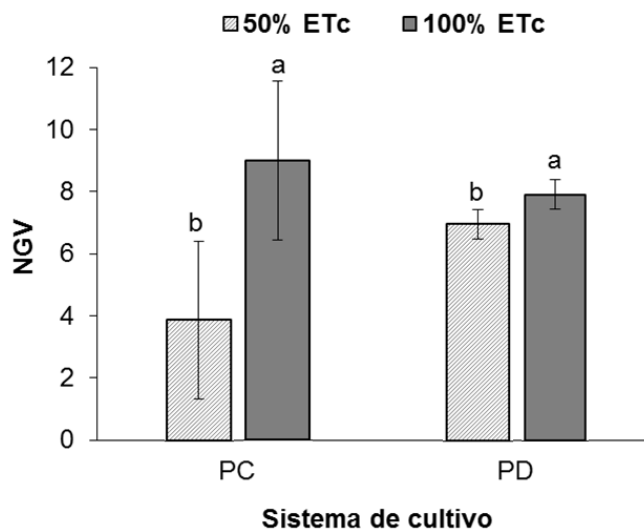


Figura 12. Número de grãos por vagens (NGV) em função dos regimes hídricos impostos para a cv. Imponente em sistema de cultivo convencional (PC) e plantio direto (PD). Teresina, PI. 2015.

* Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p > 0,05$), dentro do mesmo sistema de cultivo.

Massa de cem grãos (MCG)

O estudo comparativo das médias da massa de cem grãos (MCG) em função dos regimes hídricos impostos, em sistema de plantio convencional e direto, é apresentado na Figura 13. Em sistema de plantio convencional, não houve resposta dos regimes hídricos impostos na expressão desse componente de produção, cuja média foi de 37,4 g.

Em sistema de PD, a MCG com a aplicação de 50% da exigência hídrica do feijão-caupi (38,35 g) foi ligeiramente superior ao obtido com a reposição plena da ETc (36,05 g). A causa desse resultado pode ser atribuída a restrição hídrica, que causou redução no número grãos por vagem (Figura 12), favorecendo acréscimo no tamanho dos grãos remanescentes nas vagens. Desta forma, o maior acúmulo de massa de cem grãos nas condições de deficiência hídrica é devido ao “fator compensação” número de grãos por vagem versus tamanho do grão (Santos et al., 2015). Segundo Kuss et al. (2008), aqueles legumes que permaneceram na planta acumulam mais massa seca em seus grãos do que, comparativamente, em plantas com maior número de legumes e grãos, onde é maior a demanda por fotoassimilados.

Para Shouse et al. (1981), há uma relação fonte dreno refletida por este componente de produção, ou seja no momento em que a massa de cem grãos é reduzida, é o indicativo que a produção foi limitada na fonte. Segundo Costa et al. (1997) isso pode ocorrer em decorrência do grande número de vagens, como acontece em tratamentos adequadamente irrigados, ou pelo efeito do estresse hídrico sobre a fotossíntese ou translocação de fotoassimilados.

Costa Junior (2015), com objetivo de avaliar o desempenho agrônômico do feijão-caupi sob diferentes lâminas de irrigação e espaçamentos entre fileiras, verificou efeito linear decrescente para massa de cem grãos. Por outro lado, Locatelli et al (2014), estudando os componentes de produção, produtividade e eficiência do uso da água em feijão-caupi no cerrado de Roraima, encontraram que na cultivar BRS Pajeú, a massa de cem grãos não foi influenciada pelas lâminas de irrigação obtendo-se, assim, média de 18,61 g.

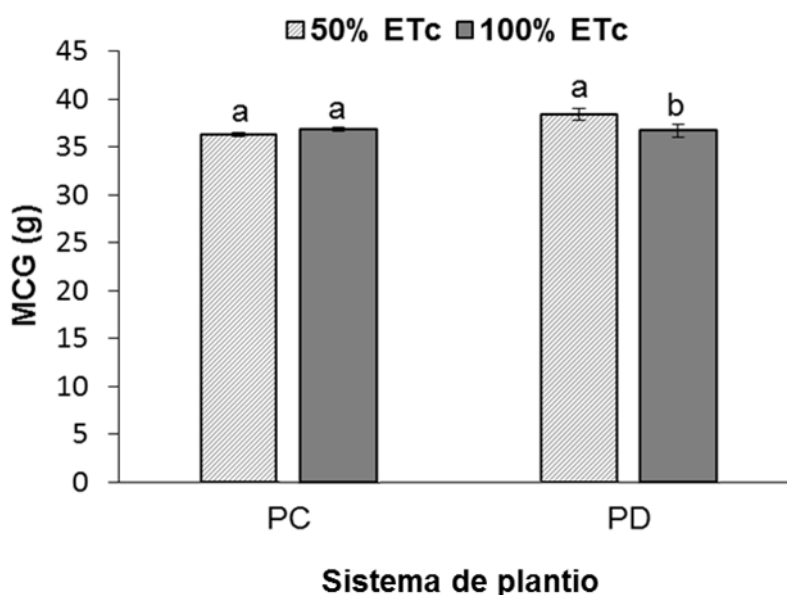


Figura 13. Massa de cem grãos (MCG) em função dos regimes hídricos para a cv. BRS Imponente em sistema de plantio convencional (PC) e plantio direto (PD). Teresina, PI. 2015.

*Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p > 0,05$), dentro do mesmo sistema de plantio.

Relação grão-vagem (RGV)

O estudo comparativo das médias da RGV em plantio convencional, revelou que não houve diferença significativa ($p > 0,05$) com a aplicação dos regimes hídricos

impostos ao feijão-caupi. Porém, sob plantio direto, o componente RGV obtida com a aplicação de 100% da ETc (0,72) foi estatisticamente superior ao regime hídrico de 50 % da ETc (0,62) (Figura 14), o que pode ser explicado pelo fato do estresse hídrico ter reduzido o número de grãos por vagem (Figura 12), ou seja, nessa condição há menos grãos e mais palha nas vagens.

Costa Junior (2015), trabalhando com o desempenho agrônômico do feijão-caupi sob diferentes regimes hídricos e espaçamentos entre fileiras de plantas, também verificaram redução na RGV com o decréscimo na disponibilidade de água às plantas, com valores de RGV variando de 0,41, com a aplicação de 198,3 mm, a 0,75, com a aplicação de 305,4 mm.

Bastos et al. (2013), trabalhando com produtividades de vagens, grãos e índice de grãos verdes de feijão-caupi sob diferentes lâminas de irrigação, encontraram que as frações de 50% da ETo exerceram efeitos negativos sobre essa relação mesmo com os grãos ainda verdes.

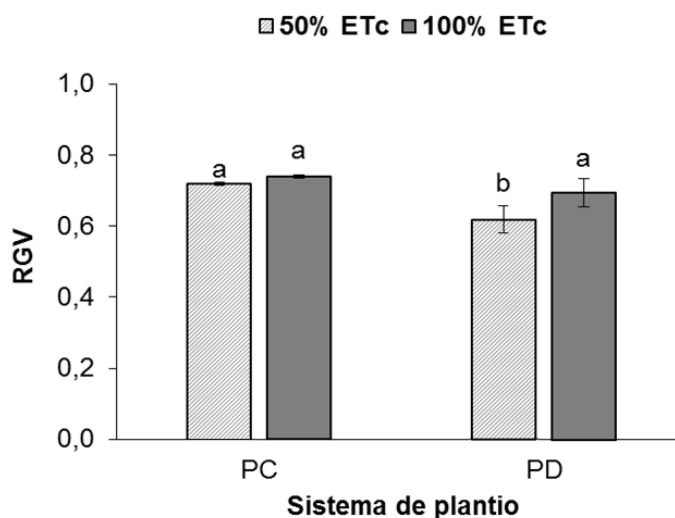


Figura 14. Relação grão-vagem (RGV) em função dos regimes hídricos para a cv. BRS Imponente em sistema de plantio convencional (PC) e plantio direto (PD). Teresina, PI. 2015.

* Médias seguidas das mesmas letras não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

Quanto ao efeito das densidades de plantas sobre a expressão do componente RGV em sistema de plantio convencional, observa-se que a maior RGV foi alcançada com a densidade de 20 plantas m^{-2} (0,79); porém, não diferindo da densidade de 12 plantas m^{-2} (0,74). A menor RGV foi obtida com a densidade de 16 plantas m^{-2} (0,68); porém, não diferindo da densidade de 12 plantas m^{-2} (0,74),

mostrando que o RGV se comporta de forma diferente em diferentes populações de plantas (Figura 14).

Resultados semelhantes aos encontrados no presente trabalho foi obtido por Brito (2014) estudando o comportamento de cultivares de feijão-caupi de porte semi-prostrado em resposta às diferentes densidades de plantas foi observado significância estatística para o fator população de plantas, mostrando que o índice de grãos se comporta de forma indiferente às diferentes populações de plantas.

Santos (2013), em estudo com a resposta do feijão-caupi a diferentes densidades de plantas em Neossolo Regolítico no agreste paraibano, verificou efeitos lineares decrescentes para relação grãos x vagens em função de densidades de plantas. Segundo esse autor, à medida que se aumentou a quantidade de plantas por hectare houve diminuição na massa dos grãos e aumento da massa das vagens, ocorrendo, portanto, aumento da massa seca das vagens em detrimento à dos grãos.

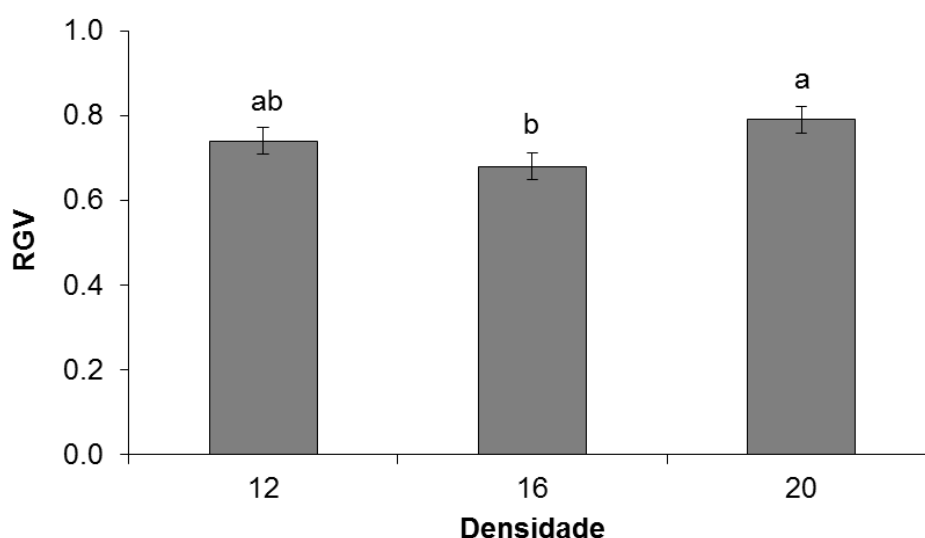


Figura 15. Relação grão-vagem (RGV) em função das densidades de planta para a cv. BRS Imponente em sistema de plantio convencional (PC). Teresina, PI. 2015.

* Médias seguidas das mesmas letras não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

Produtividades de grãos (PG) e eficiência do uso da água (EUA)

Os quadrados médios da análise conjunta para PG e EUA em decorrência dos regimes hídricos impostos e densidades de plantas de feijão-caupi, cv BRS Imponente, estão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8. Quadrados médios referentes à análise conjunta da produtividade de grãos (PG) e eficiência de uso da água (EUA) na cultivar BRS Imponente com e sem déficit hídrico e densidades de planta, avaliados em sistema de plantio convencional e plantio direto. Teresina – PI, 2015.

FV	GL	Quadrados médios	
		PG	EUA
Blocos	3	4147,79 ^{ns}	0,00320 ^{ns}
Sistema de plantio (Ta)	1	1518785,68 ^{**}	0,20137 ^{**}
Resíduo-a	3	3169,33	0,00078
Regime hídrico (Tb)	1	2039330,67 ^{**}	0,11146 ^{**}
Int. TaxTb	1	576147,50 ^{**}	0,10370 ^{**}
Resíduo-b	6	6930,56	0,00087
Densidade (Tc)	2	44372,74 [*]	0,00861 ^{**}
Int. TaxTc	2	2836,55 ^{ns}	0,00270 ^{ns}
Int. TbxTc	2	24228,24 ^{ns}	0,00174 ^{ns}
Int.TaTbTc	2	35611,27 ^{ns}	0,00017 ^{ns}
Resíduo-c	24	8085,61	0,00137
CV – a	--	10,15	15,51
CV – b	--	15,01	16,35
CV – c	--	16,21	20,53
Média	--	554,72	0,18

^{ns} Não significativo; * Significativo a 5% de probabilidade; ** Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F.

Houve interação significativa ($p < 0,01$ e $p < 0,05$) entre os fatores sistemas de plantio versus regimes hídricos para PG e EUA. A PG e a EUA também responderam, de forma isolada, à aplicação dos regimes hídricos e densidades de plantas. Não houve interação significativa tripla entre sistemas de plantio, RH e D para essas duas variáveis, indicando que os níveis populacionais avaliados e os regimes hídricos agem de forma independente na expressão da PG e da EUA, em cada sistema de plantio (Tabela 8).

Produtividade de grãos (PG)

O estudo do comparativo das médias da PG em função dos sistemas de plantio versus os regimes hídricos impostos é apresentado na Figura 16. Os regimes hídricos (RH) de 100% ETc, em sistema de PC e PD, proporcionaram as maiores

produtividades de grãos (692,5 e 829 kg ha⁻¹ respectivamente), as quais diferiram estatisticamente entre si. A produtividade obtida com os regimes hídricos de 50% da ETc, em sistema de PD (636 kg ha⁻¹) foi significativamente superior a essa mesma lâmina em sistema de PC (61 kg ha⁻¹).

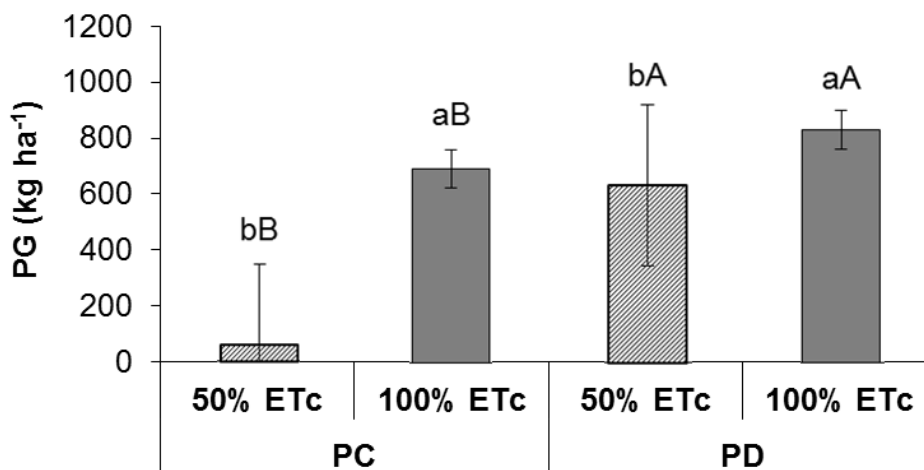
Os resultados mostraram que, com a irrigação plena e na presença de palhada sobre o solo, o feijoeiro cultivado com irrigação por aspersão, proporciona um aumento significativo na produtividade de grãos, o que pode ter sido decorrente da maior disponibilidade de água no solo em sistema de plantio direto (Figura 9), embora os dois sistemas fossem irrigados com a mesma lâmina durante todo o ciclo da cultura. A cobertura da superfície do solo reduz a evaporação e aumenta o armazenamento de água, especialmente nas fases inicial e vegetativa da cultura (Mota et al 2010).

Em sistema de plantio direto, mesmo repondo-se a metade da ETc, obteve-se uma produtividade significativamente igual a reposição plena da ETc em sistema de plantio convencional, mostrando que na presença de cobertura sobre o solo, há aumento do conteúdo de água no solo disponível as plantas, contribuindo para uma maior produtividade de grãos. Pode-se ressaltar ainda que o regime hídrico 50% da ETc, ou seja nas condições déficit hídrico em PC, houve redução de cerca de 90% da PG em relação ao sistema de plantio direto, o que pode ser devido à menor disponibilidade de água no solo em sistema de plantio direto (Figura 9.). A grande redução na produtividade de grãos no RH de 50% da ETc em PC em relação ao PD, pode ser atribuída não somente ao déficit hídrico ocorrido, mas também da ausência de cobertura no solo.

Martorano et al. (2009) afirmam que o tempo de secagem do solo é um indicador direto da sua condição hídrica, sendo mais prolongado no sistema plantio direto, em função de maiores estoques de água, quando comparado com o preparo convencional

Nascimento et al. (2011), em estudo de tolerância ao déficit hídrico em genótipos de feijão-caupi, verificaram que a produtividade de grãos média dos genótipos sob deficiência hídrica reduziu em 60%, quando comparado com irrigação plena. Para Costa Júnior (2015) as reduzidas produtividades de grãos ocorrem porque o déficit hídrico provoca o fechamento dos estômatos e reduz a produção de fotoassimilados. Houve redução da PG do feijão-caupi devido ao déficit hídrico em estudos realizados por Costa Júnior (2013), Nascimento et al. (2009), Ramos (2011)

e Oliveira (2013). O valor máximo de produtividade de grãos ($849,4 \text{ kg ha}^{-1}$) foi obtido com a lâmina de 100% da ET_c , em sistema de plantio direto (Figura 17).



Sistema de cultivo/Regime hídrico

Figura 16. Produtividades de grãos (PG) em função dos sistemas de plantio convencional e direto e regimes hídricos para a cultivar BRS Imponente. Teresina, PI, 2015.

* Médias seguidas de mesma letra maiúscula, para comparação dos regimes hídricos dentro dos sistemas de plantio, e de mesma letra minúscula, para regimes hídricos no mesmo sistema de plantio, não diferem estatisticamente pelo teste Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade

O estudo comparativo das médias da PG, em função da densidade de plantas nos dois sistemas de plantio, revelou que as densidades de 16 e 20 plantas m^{-2} apresentaram as maiores médias de PG (606 e 556,6 kg/ha^{-1} respectivamente), sendo estatisticamente semelhantes entre si (Figura 17). Aumento na produtividade de grãos em resposta a maior população de plantas também foi encontrado por Naim, Jabereldar (2010).

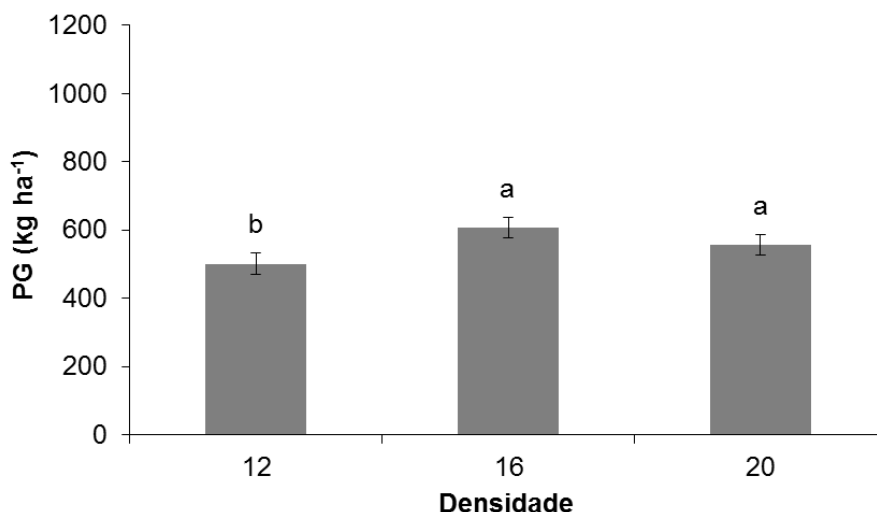


Figura 17. Produtividades de grãos (PG) em função das densidades de plantas de feijão-caupi, cultivar BRS Imponente. Teresina, PI, 2015.

* Médias seguidas das mesmas letras não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

Oliveira et al. (2015) em estudo com a interação de níveis de água e densidade de plantas no crescimento e produtividade do feijão-caupi, em Teresina, PI, verificaram que o valor máximo de PG ($1.668,86 \text{ kg ha}^{-1}$) foi obtido com uma densidade populacional de $241.000 \text{ plantas ha}^{-1}$.

Bezerra et al. (2012), em estudo com o comportamento morfoagronômico de feijão-caupi, cv. BRS Guariba, sob diferentes densidades de plantas, verificaram redução no rendimento de grãos em função do aumento da população de plantas foram de 39,12%, quando comparadas as populações de 10 e 30 plantas m^{-2} .

Coutinho (2016), avaliando o desempenho agrônomo do feijão-caupi sob diferentes populações de plantas em sistema de plantio convencional e direto, encontrou que a máxima produtividade de grãos secos para o plantio convencional de $1.605,65 \text{ kg ha}^{-1}$ e para o plantio direto de 1.548 kg ha^{-1} alcançada ambos na população de 20 plantas m^{-2} . Buso et al. (2013), estudando os componentes produtivos de feijão em duas épocas de plantio na região central de Goiás, encontraram que na população de 200 mil plantas ha^{-1} para todos os genótipos estudados proporcionou maior produtividade de grãos.

Eficiência do uso da água (EUA)

O estudo comparativo das médias da EUA em função dos sistemas de plantio versus os regimes hídricos impostos são apresentados na Figura 18. O RH de 50%

ETc e 100%ETc , em sistema de PD, proporcionaram as maiores EUA (0,24 e 0,25 kg m⁻³, respectivamente), não diferindo entre si; entretanto, a EUA obtida com o regime hídrico de 50% da ETc, em sistema de plantio direto, foi significativamente superior à EUA obtida sob PC. Mesmo com 50% da ETc na presença de palhada sobre o solo, houve aumento significativo na EUA, o que pode ter sido decorrente da maior PG em sistema PD, devido a maior disponibilidade de água no solo (Figura 9), embora os dois sistemas fossem irrigados com a mesma lâmina durante todo o ciclo da cultura (265 mm).

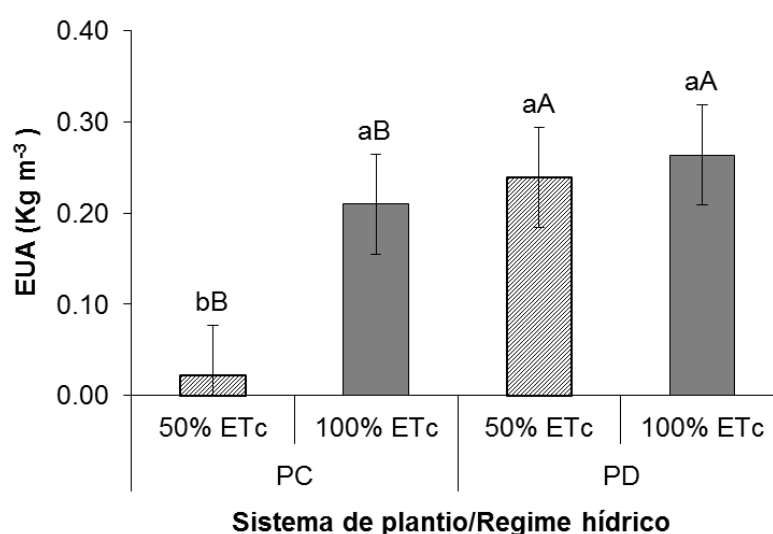


Figura 18. Eficiência do uso da água (EUA) em função dos sistemas de plantio e regimes hídricos para a cultivar BRS Imponente. Teresina, PI, 2015.

* Médias seguidas de mesma letra maiúscula, para comparação dos regimes hídricos dentro dos sistemas de plantio, e de mesma letra minúscula, para regimes hídricos no mesmo sistema de plantio, não diferem estatisticamente pelo teste Tukey, ao nível de 5 % de probabilidade.

Pode-se verificar que a EUA não seguiu rigorosamente a mesma tendência da PG. É importante ressaltar que nem sempre os tratamentos que proporcionam as maiores EUA são os que geram as maiores produtividades de grãos. Resultado assim ocorreu nesse experimento. Souza et al (2011), estudando a EUA das culturas do milho e do feijão-caupi sob sistemas de plantio exclusivo e consorciado no semiárido brasileiro, verificaram, no caso do feijão-caupi, em sistema de plantio exclusivo, que a EUA tendeu a decrescer com o incremento da lâmina de água aplicada.

O valor máximo da EUA de 0,25 kg m⁻³ foi obtido com a lâmina 100% da ETc, em sistema de plantio direto (Figura 18). Andrade Júnior et al. (2002), nas condições

edafoclimáticas dos Tabuleiros Costeiros do Piauí, obtiveram EUA de $0,66 \text{ kg m}^{-3}$, para a cultivar BR 17 Mulato, com aplicação de lâminas de irrigação no intervalo de 306 mm. A EUA obtida nesse experimento é inferior à obtida pelo autor, podendo está associado às características da variedade em estudo ou até mesmo ao efeito conjunto dos regimes hídricos versus sistema de cultivo (LOCATELLI Et al., 2014).

A EUA em função das densidades de plantas, em sistema de plantio convencional e direto, revelou que as densidades 16 e 20 plantas m^{-2} apresentaram as maiores médias de EUA ($0,20$ e $0,19 \text{ Kg m}^{-3}$ respectivamente), sendo estatisticamente semelhantes entre si; porém, superior estatisticamente a densidade de 12 plantas m^{-2} (Figura 19).

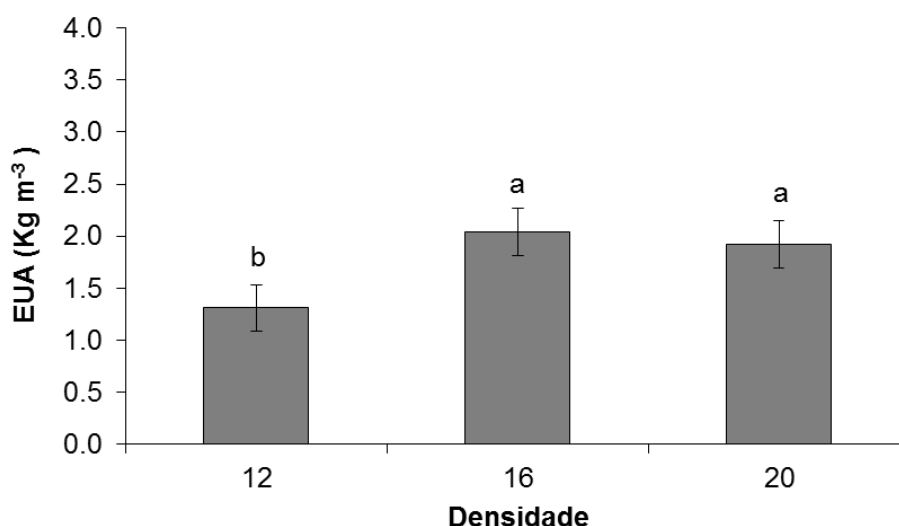


Figura 19. Eficiência do uso da água (EUA) em função das densidades de plantas de feijão-caupi, cultivar BRS Imponente. Teresina, PI, 2015.

*Médias seguidas das mesmas letras não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ($p > 0,05$).

Oliveira (2013) obteve máxima EUA com uma densidade populacional de 233.000 plantas ha^{-1} . O aumento da EUA com as maiores densidades de plantas deve-se ao acréscimo na PG proporcionado pelo aumento do número de vagens por área, embora haja tendência de redução do número de vagens por planta nessa condição (Figura 10).

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

Em sistema de plantio convencional, constatou-se que o NVP é o componente de produção que mais se correlacionou com a produtividade de grãos, seguido do NGV e CVg (Tabela 8), corroborando com os resultados obtidos por Costa Júnior (2014), que também encontraram correlação entre esses componentes de produção. Segundo Fageria et al. (2006), os componentes de produção não influenciam a produtividade final de grãos de forma independente, mas sim em conjunto.

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 Imponente Imponente com e sem déficit hídrico e densidades de plantas. Teresina-PI, 2015.

Sistema	Componente de produção	PG
PC	NVP	0,9222**
	CVg	0,5873**
	NGV	0,9089**
	MCG	0,3750 ^{ns}
PD	NVP	0,1703 ^{ns}
	CVg	0,3216 ^{ns}
	NGV	0,6865**
	MCG	-0,3679 ^{nsiii}

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

Resultados semelhante foram observados por Coelho et al (2002) em estudo com herdabilidades e correlações da produção do feijão e dos seus componentes primários, nas épocas de cultivo da primavera-verão e do verão-outono, verificaram que NVP foi o que apresentou as maiores correlações com a produção, em ambas estações em concordância com este estudo. Teixeira et al (2007), destacam este caractere como sendo importante influenciador da produtividade de grãos.

Andrade et al. (2010) em estudo com as estimativas de parâmetros genéticos em genótipos de feijão-caupi avaliados para feijão fresco, observaram que o CVg e NGV apresentaram os maiores coeficientes de determinação genéticos, 98,72 e 96,68%, respectivamente, sendo os demais também altos.

Ribeiro et al (2014), em estudo com a avaliação dos componentes da produtividade de grãos em feijão de grãos especiais, constataram que o NVP e o

NGV apresentaram os maiores efeitos diretos positivos sobre a produtividade de grãos. Segundo Zilio et al (2011), os resultados mostraram que elevadas produtividades estão associadas com maior NVP e NGV.

Com relação ao sistema de plantio direto, apenas o componente de produção NGV correlacionou-se significativamente com a produtividade de grãos (PG). Não houve correlação entre PG e NVP. Para Teixeira et al. (2007), em estudo com produção, componentes de produção e suas inter-relações em genótipos de feijão-caupi de porte ereto, uma possível explicação para o baixo valor de correlação observada neste estudo, entre o NVP e a PG, deve-se as densidades de plantio adotadas, que, embora tendo aumentado o número de vagens por planta, implicou na redução da variação do número médio de vagens por planta entre os tratamentos, o que conseqüentemente, pode ter provocado a diminuição da correlação entre os dois caracteres.

As baixas correlações entre PG e MCG tanto em sistema de plantio convencional como no direto indicam ausência de ganhos indiretos para produtividade de grãos. Este resultado é discordante do encontrado por Andrade et al. (2010), que em estudo com estimativas de parâmetros genéticos em genótipos de feijão-caupi avaliados para feijão fresco, verificaram que a produtividade de grãos fresco (PGF) apresentou correlação genotípica positiva com a massa de cem grãos frescos (P100GF).

5 CONCLUSÕES

Há interação significativa entre os regimes hídricos e as densidades plantas somente para número de vagens por planta em sistema de plantio convencional.

O comprimento de vagem e o número de grãos por vagem são afetados pelos regimes hídricos em sistema de plantio convencional.

O número de grãos por vagem, a massa de cem grãos e relação grão-vagem são influenciados pelos regimes hídricos em sistema de plantio direto.

Há influência das densidades de semeadura sobre a relação grão-vagem, em sistema de plantio convencional, e número de vagem por planta, em sistema de plantio direto.

A maior produtividade de grãos ($829,0 \text{ kg ha}^{-1}$) e eficiência do uso da água ($0,25 \text{ kg m}^{-3}$) são alcançadas sem estresse hídrico em sistema de plantio direto.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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).
- ANDRADE JÚNIOR, A. S.; RODRIGUES, B. H. N.; BASTOS, E. A. Irrigação. In: CARDOSO, M. J. (Org.). **A cultura do feijão-caupi no Meio-Norte do Brasil**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2000. p. 127 – 154. (Embrapa Meio-Norte. Circular Técnica, 28).
- ANDRADE JÚNIOR, A. S.; RODRIGUES, B. H.; FRIZZONE, J. A.; CARDOSO, M. J.; BASTOS, E. A.; MELO, F. B. Níveis de irrigação na cultura do feijão caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 1, 2002.
- ANDRADE, F. N.; ROCHA, M. M.; GOMES, R. L. F, FREIRE FILHO, F. R.; RAMOS, S. R. R. Estimativas de parâmetros genéticos em genótipos de feijão-caupi avaliados para feijão fresco. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 2, p. 253-258, 2010.
- ANDRADE JÚNIOR, A.S.; SILVA, C.R.; COELHO, E.F. Monitoramento do teor de água no solo. In: AGUIAR NETTO, A.O.; BASTOS, E.A. **Princípios agronômicos da irrigação**. Brasília: Embrapa, p. 69-99, 2013.
- ANDRADE, C. L. T.; SILVA, A. A. G.; SOUZA, I. R. P.; CONCEIÇÃO, M. A. F. Coeficientes de cultivo e de irrigação para o caupi. Parnaíba: EMBRAPA CNPAI, 1993. 6p. (EMBRAPACNPAI. **Comunicado Técnico**, 9).
- ANDRADE, R. S.; MOREIRA, J. A. A.; STONE, L. F.; CARVALHO, J. A. Consumo relativo de água do feijoeiro no plantio direto em função da porcentagem de cobertura morta do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, p. 35-38, 2002.
- ANJOS, J.C. R. **Dinâmica da água e da temperatura em um Plintossolo Argilúvico cultivado com cana-de-açúcar sob diferentes níveis de palhada**. 2014. 79 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2014.
- BA, F.S.; PASQUET, R.E.; GEPTS, P. Genetic diversity in cowpea [*Vigna unguiculata* (L.) Walp.] as revealed by RAPD markers. **Genetic Resources and Crop Evolution**, v.51, p.539-550, 2004.
- BARBIN, D. **Planejamento e análise de experimentos agronômicos**. Araponga: Midas, 2003. 208 p.

BARROS, L.C.G.; HANKS, R.J. Evapotranspiration and yield of beans as affected by mulch and irrigation. **Agronomy. Jornal**, v.85, n 3, 692-697, 1993.

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

BASTOS, E. A.; RAMOS, H. M. M.; ANDRADE JÚNIOR, A. D; NASCIMENTO, F. D; CARDOSO, M. J. Parâmetros fisiológicos e produtividade de grãos verdes do feijão-caupi sob déficit hídrico. **Water Resources and Irrigation Management**, v. 1, n. 1, p. 31-37, 2012.

BASTOS, E. A.; RAMOS, H. M. M.; CARDOSO, M. J.; ANDRADE JUNIOR, A. S. ; NASCIMENTO, F. N. Produtividades de vagens, grãos e índice de grãos verdes de feijão-caupi sob diferentes lâminas de irrigação.. In: III CONGRESSO NACIONAL DE FEIJÃO-CAUPI – CONAC, 2013. Anais. Recife – Pernambuco, 2013.

BASTOS, E. A., FERREIRA, V. M., SILVA, C. D; ANDRADE JÚNIOR, A. S. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo do feijão-caupi no Vale do Guruguéia, Piauí. **Irriga**, v.13, n.2, p.182-190, 2008.

BASTOS, E.A.; ANDRADE JÚNIOR, A.S. **Boletim agrometeorológico de 2013 para o município de Teresina, Piauí**. Teresina: Embrapa Meio-Norte, 2014. 38p (Documentos / Embrapa Meio-Norte, ISSN 0104-866X; 228).

BEZERRA, F. M. L.; ARARIPE, M. A. E.; TEÓFILO, E. M.; CORDEIRO, L. G. E SANTOS, J. J. A. Feijão-caupi e déficit hídrico em suas fases fenológicas. **Revista Ciência Agrônômica**, v. 34, n. 1, p.13 -17, 2003.

BEZERRA, J. R. C.; FREIRE FILHO, F. R. Evapotranspiração da cultura do feijão macassar (*Vigna unguiculata* L. Walp.) no município de Teresina-Piauí. In: SEMINÁRIO DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DO PIAUÍ, 3., 1982, Teresina. **Anais**. Teresina: EMBRAPA-UEPAE Teresina, 1984. p. 304-324.

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

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

BEZERRA, A. A. de C.; TÁVORA, F. J. A. F.; FREIRE FILHO, F. R.; RIBEIRO, V. Q. 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. C.; NEVES, A. C.; NETO, F. A.; SILVA JÚNIOR, J. V. Morfofisiologia e produção de feijão-caupi, cultivar BRS Novaera, em função da densidade de plantas. **Revista Caatinga**, v. 27, n. 4, p. 135-141, 2014.

BRITO, A.S.; LIBARDI, P.L.; GHIBERTO, P.J. Componentes do balanço de água no solo com cana-de-açúcar, com e sem adubação nitrogenada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 33, p.295-303, 2009.

BRITO, L. C. R. **Comportamento de cultivares de feijão-caupi de porte semiprostrado em resposta à diferentes densidades de plantas**. 2014. 88 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2014.

BUSO, W. H. D.; BORGES, L.; SILVA, A. D. F. R. Componentes produtivos de feijão em duas épocas de plantio na região central de Goiás. **Revista Agrarian**, v.7, n.24, p.205-210, 2013.

CAMPOS, J. H. B. da C; SILVA, V. P. R. ; ARAÚJO, L. E.; SILVA, M. T. Estimativa da produtividade do feijão-caupi no município de Juazeiro-Ba mediante cenários de mudanças climáticas utilizando o modelo DSSAT. In: XVII CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, Anais, Guarapari – Espírito Santo, 2011.

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.; RIBEIRO, V. Q. Produtividade de grãos de feijão caupi relacionada à densidade de plantas e à associação com milho em solo de tabuleiro costeiro. In: REUNIÃO NACIONAL DE CAUPI, 5., 2002, Teresina. **Anais**. Teresina: Embrapa MeioNorte, p.76-79, 2005.

CHRISTIANSEN, J. E. Irrigation by sprinkling. California agricultural experiment station bulletin 670. **University of California**, v. 4275, 1942.

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

COELHO, A.D.F.; CARDOSO, A.A.; CRUZ, C.D.; ARAÚJO, G.A.A.; FURTADO, M.R.; AMARAL, L.F.A. Heritabilities and correlations of common bean yield and its primary components, in the spring-summer and summer-fall cultivation seasons. **Ciência Rural**, v. 32, n. 2, p. 211-216, 2002.

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

COELHO, E. F.; COELHO FILHO, M. A.; BASTOS, E. A.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. **Instruções Básicas para Instalação e Operação de TDR 100**. Embrapa Meio-Norte, 2005b. 28p.

COSTA, M. M. M. N.; TÁVORA, F. J. A. F.; PINHO, J. L. N. de; MELO, F. I. O. Produção, componentes de produção, crescimento e distribuição das raízes de caupi submetido a deficiência hídrica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.32, p.43-50, 1997.

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

COUTINHO, A. G. **Desempenho agrônômico do feijão-caupi sob diferentes populações de plantas em sistema de plantio convencional e direto**. 2016. 35 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2016.

CRUZ, A. C. R. **Consumo de água por cultura de citros cultivada em latossolo vermelho amarelo**. 92p. 2003. Tese (Doutorado).- Universidade de São Paulo, 2003.

CUNHA, P. C.; DA SILVEIRA, P. M.; DO NASCIMENTO, J. L.; JÚNIOR, J. AI. Manejo da Irrigação no Feijoeiro Cultivado em Plantio Direto. **Revista Brasileira. Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 7, p. 735-742, 2013.

DALTON, F. N.; VAN GENUCHTEN, M. T. The time-domain reflectometry method for measuring soil water content and salinity. **Geoderma**, v. 38, p. 237-250, 1986.

DOURADO NETO, D.; NIELSEN, D. R.; HOPMANS, J. W.; REICHARDT, K.; BACCHI, O. O. S. Software to model soil water retention curves (SWRC, version 2.00). **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.57, n.1, p.191-192, jan./mar. 2000.

EMBRAPA. **BRS Imponente**. Teresina: Embrapa Meio Norte, 2016. (Embrapa Meio Norte. Folder).

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).

EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO. **Dados conjunturais da produção de feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) e caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) no Brasil (1985 a 2015): área, produção e rendimento.** Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2016. Disponível em: <<http://www.cnpaf.embrapa.br/socioeconomia/index.htm>>. Acesso em: 05 de junho. 2017.

Embrapa Meio-Norte. **Cultivo do feijão-caupi.** Sistemas de Produção. 2003. Versão Eletrônica. Disponível em: <<http://sistemadeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijão/feijãocaupi/autos.htm>>. 2003. Acesso em: 26 junho de 2017.

FAO (2015). FAOSTAT. **Crops. Cowpeas dry.** Disponível em: <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>. Acesso em 05 de junho de 2017.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; CLARK, R. B. **Physiology of crop production.** New York: Food Products Press, 2006. 345 p.

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

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

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

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

GASPARIM, E.; RICIERI, R.P.; SILVA, S.L.; GNOATTO, R.D.E. Temperatura no perfil do solo utilizando duas densidades de cobertura e solo nu. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 27, n. 1, p.107-115, 2005.

GUIMARÃES, C. M.; STONEL, L. F.; PELOSOL, J. D.; OLIVEIRA, J. P. Genótipos de feijoeiro comum sob deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 7, p. 649–656, 2011.

KUSS, R.C.R.; KÖNIG, O.; DUTRA, L.M.C.; BELLÉ, R.A.; ROGGIA, S.; STURMER, G.R. Populações de plantas e estratégias de manejo de irrigação na cultura da soja. **Ciência Rural**, v. 38, n. 4, p. 1133-1137, 2008.

LARCHER, W. **Ecofisiologia Vegetal**. Tradução: PRADO, C. H. B. A. e Franco. A.C. São Carlos, RIMA, 2000. 533p.

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

LEMMA, G.; WORKU, W.; WOLDEMICHAEL. Moisture and planting density interactions affect productivity in cowpea (*Vigna unguiculata*). **Journal of Agronomy**, n. 8, v. 4, p. 117-123, 2009.

LIBARDI, P.L.; SAAD, A.M. Balanço hídrico em cultura de feijão irrigada por pivô central em Latossolo Roxo. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 18, p. 529-532, 1994.

LIMA, J. R. S.; DANTAS, A. C.; LIRA, OLIVEIRA, C. A. B.; SOUZA, E. S.; SILVA, I. F. Balanço de Energia e Evapotranspiração de feijão-caupi sob condições de sequeiro. **Revista Ciência Agronômica**, v. 42, n 1, p 65-74, 2011.

LOCATELLI, V.; DE MEDEIROS, R. D.; SMIDERLE, O. J.; DE ALBUQUERQUE, J. D. A.; ARAÚJO, W. F.; DE SOUZA, K. T. 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.

MAGLOIRE, N. **The Genetic, Morphological and Physiological Evaluation of African Cowpea Genotypes**. 2005. 119 p. Thesis (Magister Scientiae Agriculturae) - University of the Free State, Bloemfontein.

MARTORANO, L. G.; BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; FARIA, R. D.; MIELNICZUK, J.; COMIRAN, F. Indicadores da condição hídrica do solo com soja em plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, n. 4, p. 397-405, 2009.

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

MELO FILHO, J.F.; LIBARDI, P.L. Estabilidade temporal de medidas do teor e do potencial mátrico da água no solo em uma transeção. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 29, p. 497-506, 2005.

MENDES, R. M. D. S.; TÁVORA, F. J. A. F.; PITOMBEIRA, J. B.; NOGUEIRA, R. J. M.C. Relações fonte-dreno em feijão-de-corda submetido à deficiência hídrica. **Revista Ciência Agronômica**, v. 38, n. 1, p. 95-103, 2007.

MOTA, J. C. A.; LIBARDI, P. L.; BRITO, A. D. S.; ASSIS JÚNIOR, R. N. D.; AMARO FILHO, J. Armazenagem de água e produtividade de meloeiro irrigado por gotejamento, com a superfície do solo coberta e desnuda. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 1721-1731, 2010.

MOURA, M. S. B.; DE SOUZA, L. S. B.; FREIRE, T. G. **Efeito da lâmina de irrigação na produtividade do feijão-caupi no semiárido brasileiro**. XXXVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, Juazeiro, 2009.

MOUSINHO, F. E. P.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; FRIZZONE, J. A. Viabilidade econômica do cultivo irrigado do feijão-caupi no Estado do Piauí. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 30, n. 1, p. 139-145, 2008.

NAIM, A. M.; JABERELDAR, A. A. Effect of Plant density and Cultivar on Growth and Yield of Cowpea (*Vigna unguiculata* L.Walp). **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, v. 4, n. 8, p. 3148-3153, 2010.

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

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

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.

NG, N.Q.; MARÉCHAL, R. Cowpea taxonomy, origin germ plasm. In: SINGH, S. R. RACHIE, K. O. (Ed.) **Cowpea research, production and utilization**. Cheichecter: John Wiley, p. 11-21, 1985.

NÓBREGA, J. Q. E.; RAO, T. V.; BELTRÃO, N. E. D. M.; FIDELES FILHO, J. E. 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, I. P.; CARVALHO, A.M. A cultura do caupi nas condições de clima e de solo dos trópicos úmido e semiárido do Brasil. In: ARAÚJO, J. P. P. de (Ed.). **O caupi no Brasil**. IITA/ EMBRAPA. Brasília, DF. 1988. 722p.

OLIVEIRA, F. J.; ANUNCIÇÃO FILHO, C. J., BASTOS, G. Q.; REIS, O. V.; TEÓFILO, E. M. **Caracteres agronômicos aplicados na seleção de cultivares de caupi**. Revista Ciência Agronômica, v.34, p.5-11, 2003.

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

OR, D.; WRAITH, J.M. Soil water content and water potential relationships. In: SUMNER, M. E. (ed.) **Handbook of Soil Science**. Boca Raton, Washington. p. A-53-A-85, 2000.

PARAMAVISAM, S.; ALVA, A.K.; FARES, A. An evaluation of soil water status using tensiometers in a sandy soil profile under citrus production. **Soil Science**, v. 165, n. 4, p. 343-353, 2000.

PIMENTEL, C.; PEREZ, A. J. de La C. Estabelecimento de parâmetros para avaliação de tolerância à seca, em genótipos de feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.35, p.31-39, 2000.

PIMENTEL GOMES, F. **Curso de estatística experimental**. 15 ed. Piracicaba: FEALQ, 2009. 451p.

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) - Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2011.

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

RESCK, D.V.S. O plantio direto como alternativa de sistema de manejo e conservação do solo e da água na região dos cerrados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27, Brasília, 1999.

RICHARDS, L.A.; FIREMAN, M. Pressure - plate apparatus for measuring moisture sorptin and transmission by soils. **Soil Science**, v.56, p.395-404, 1943.

RIBEIRO, N. D.; SILVA DOMINGUES, L.; ZEMOLIN, A. E. M. Avaliação dos componentes da produtividade de grãos em feijão de grãos especiais. **Científica**, v. 42, n. 2, p. 178-186, 2014.

ROCHA, M. M.; SOARES, M. C.; FREIRE FILHO, F. R.; RAMOS, S. R. R.; RIBEIRO, V. QI. Avaliação preliminar de genótipo de feijão-caupi para feijão verde. **Revista Científica Rural**, v.12, p.153-156, 2007.

SANTOS, E. L.; CATTELAN, A.J.; CAVENAGHI PRETE C. E.; NEUMAIER N.; OLIVEIRA M. C. N.; FARIAS J. R. B.; NEPOMUCENO A. L. Níveis de disponibilidade hídrica sobre componentes de produção e rendimento de cultivares de soja. **Global science and technology**, v. 7, n. 3, p.1-11, 2015.

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

SHOUSE, P.; DASBERG, S.; JURY, W. A.; STOLZY, L.M. Water deficits effects on water potential yield, and water use of cowpeas. **Agronomy Journal**, v. 73, p. 333-336, 1981.

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

SIMON, M. V.; BENKO-ISEPPON, A. M.; RESENDE, L. V.; WINTER, P.; KAHL, G. Genetic diversity and phylogenetic relationships in Vigna Savi germplasm revealed by DNA amplification fingerprinting (DAF), **Genome**, v. 50, p. 538-547, 2007.

SOARES, A.L.L.; PEREIRA, J.P.A.R.; FERREIRA, P.A.A.; VALE, H.M.M.; LIMA, A.S.; ANDRADE, M.J.B.; MOREIRA, F.M. S. **Eficiência agrônômica de rizóbios selecionados e diversidade de populações nativas nodulíferas em perdões (MG)**. I – caupi. *Revista Brasileira de Ciências do Solo*, Viçosa, MG, v. 30, n. 5, p. 795-802, 2006.

SOUSA, V. F.; COELHO, E. F.; ANDRADE JÚNIOR, A.S; FOLEGATTI, M. V.; FRIZZONE, J. A. Eficiência do uso da água pelo meloeiro sob diferentes frequências de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, n. 2, p. 183-188, 2000.

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

STONE, L.F.; MOREIRA, J.A.A. **Resposta do feijoeiro ao nitrogênio em cobertura sob diferentes lâminas de irrigação e preparos do solo**. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 36, n. 3, p.473-481, 2001.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M.; MOREIRA, J. A. A; BRAZ, A. J. B. P. Evapotranspiração do Feijoeiro Irrigado em Plantio Direto Sobre Diferentes Palhadas de Culturas de Cobertura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 577-582, 2006.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M L.; MOREIRA, J. A. A. Efeitos do sistema plantio direto no uso da água pelas culturas e no manejo da irrigação. **Comunicado Técnico**, 207. Santo Antônio de Goiás, GO, julho, 2012.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819 p

TATAGIBA S.D.; NASCIMENTO, K. J. T.; MORAES, G. A. B. K.; PELOSO A. F. Crescimento e rendimento produtivo do feijoeiro submetido à restrição hídrica. **Engenharia na agricultura**, V. 21 N. 5, p. 465-475, 2013.

TEIXEIRA, N. J. P.; MACHADO, C. F.; FREIRE FILHO, F. R.; ROCHA, M. M.; Gomes; R. L. F.; Produção, componentes de produção e suas inter-relações em genótipos de feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.) de porte ereto. **Revista Ceres**, v. 54, n. 314, p. 374-382, 2007.

TOURINO, M. C. C.; REZENDE, P. D.; SALVADOR, N. Espaçamento, densidade e uniformidade de semeadura na produtividade e características agrônômicas da soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, n. 8, p. 1071-1077, 2002.

TOPP, G.C.; DAVIS, J.L.; ANNAN, A.P. Electromagnetic determination of soil water content: measurement in coaxial transmission lines. **Water Resources Research**, v.16, p. 574-582, 1980.

VAN GENUCHTEN, M.T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity unsaturated soils. **Soil Science Society American Journal**, v.47, p.892-898, 1980.

XAVIER, G. R.; MARTINS, L. M.V.; RUMJANEK, N. G.; FREIRE FILHO, F. R. Variabilidade genética em acessos de caupi analisada por meio de marcadores RAPD. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.40, p.353, 2005.

ZILIO, M.; COELHO, C. M. M.; SOUZA, C. A.; SANTOS, J. C. P.; MIQUELLUTI, D. J. Contribuição dos componentes de rendimento na produtividade de genótipos crioulos de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Ciência Agrônômica**, v.42, n.2, p.429-438, 2011.