

EDVALDO ALDO LITOS PAULO NHANOMBE

**EFEITOS DE RESTRIÇÃO HÍDRICA EM FEJJOEIRO CULTIVADO EM
PLANTIO DIRETO E CONVENCIONAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
2019

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

N576e
2019

Nhanombe, Edvaldo Aldo Litos Paulo, 1993-
Efeitos de restrição hídrica em feijoeiro cultivado em
plântio direto e convencional / Edvaldo Aldo Litos Paulo
Nhanombe. – Viçosa, MG, 2019.
ix, 57 f. : il. ; 29 cm.

Inclui apêndice.

Orientador: Francisco Cláudio Lopes de Freitas.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 37-50.

1. *Phaseolus vulgaris* L. 2. Balanço hidrológico. 3. Feijão -
Crescimento. 4. Palha - Utilização na agricultura. I. Universidade
Federal de Viçosa. Departamento de Fitotecnia. Programa de
Pós-Graduação em Fitotecnia. II. Título.

CDD 22. ed. 635.652

EDVALDO ALDO LITOS PAULO NHANOMBE

**EFEITOS DE RESTRIÇÃO HÍDRICA EM FEIJOEIRO CULTIVADO EM
PLANTIO DIRETO E CONVENCIONAL**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 15 de Fevereiro de 2019.


Wagner Luiz Araújo
(Coorientador)


José Eustáquio de Souza Carneiro
(Coorientador)


Rogério Faria Vieira


Francisco Cláudio Lopes de Freitas
(Orientador)

“A tarefa não é tanto ver aquilo que ninguém viu,
mas pensar o que ninguém ainda pensou sobre
aquilo que todo mundo vê”.

(Arthur Schopenhauer)

Aos meus pais Ermelinda Bape e Faustino Nhanombe e aos meus irmãos Melita, Olga, Assunta (*in memoriam*), Flávio, Alsácia, Amnésia e Inelda.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo dom de vida, sabedoria, força e proteção.

Aos meus pais Ermelinda José Bape e Faustino Paulo Nhanombe pela educação, valores passados e exemplo de vida.

Aos meus irmãos Melita, Olga, Assunta (*in memoriam*) Flávio, Alsácia, Amnésia e Inelda, e avôs José e Isabel pelo carinho, incentivo, amizade e conselhos, cada um em seu lugar, ao seu modo, apoiando as minhas escolhas.

À Universidade Federal de Viçosa, por intermédio do Departamento de Fitotecnia, pela oportunidade de formação acadêmica.

Ao Professor Francisco Cláudio Lopes de Freitas pela orientação, confiança, paciência, ensinamentos e conselhos.

Aos Professores coorientadores e membros da banca examinadora Wagner Luiz Araújo, José Eustáquio de Souza Carneiro e Rogério Faria Vieira pelas valiosas sugestões e contribuições apresentadas.

A equipe de Manejo Integrado de Plantas Daninhas (MIPD) e aos funcionários da Estação Experimental Prof. Clibas Vieira pela amizade e convivência, especialmente ao Rodrigo Faria, Hugo Moraes, Wendel Souza, Lucas Heringer, Maria Carolina, Gabriel Miranda, Matheus Teixeira, Guilherme de Moura, Agnaldo Freitas, Luiz Henrique e Júlio Reis pelo apoio, sobretudo no decorrer da fase experimental.

À Borlaug Higher Education for Agricultural Research and Development (BHEARD) pela concessão da Bolsa de Estudos.

À Universidade Zambeze - Moçambique pela autorização para prossecução dos estudos.

Ao Professor Pedro Fernando Chimela Chume pela confiança, exemplo de vida e profissionalismo, apoio e incentivo mesmo à distância.

Enfim, à todos que direta ou indiretamente torceram por mim e contribuíram para o êxito deste trabalho recebam meu profundo sentimento de gratidão.

Muito obrigado!

BIOGRAFIA

EDVALDO ALDO LITOS PAULO NHANOMBE, filho de Faustino Paulo Nhanombe e Ermelinda José Bape, nasceu aos 04 de maio de 1993, em Quissico, Inhambane, Moçambique.

Em março de 2012, iniciou o curso de Engenharia Agro-Pecuária, na especialidade de Produção Vegetal, na Universidade Zambeze, em Ulónguè, Moçambique, graduando-se em 2016.

Em março de 2017, iniciou o Programa de Pós-Graduação, a nível de Mestrado em Fitotecnia na Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se à defesa de dissertação em fevereiro de 2019.

SUMÁRIO

RESUMO	viii
ABSTRACT	ix
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	3
2.1. Aspectos gerais da cultura do feijoeiro	3
2.2. Respostas ecofisiológicas das plantas à deficiência hídrica	5
2.3. Sistemas de preparo do solo	8
2.3.1. Sistema de preparo convencional.....	8
2.3.2. Sistema de plantio direto.....	9
3. MATERIAL E MÉTODOS	12
3.1. Localização e caracterização da área experimental.....	12
3.2. Delineamento experimental.....	13
3.3. Preparo da área	13
3.4. Semeadura, adubação e controle de plantas daninhas	13
3.5. Irrigação.....	14
3.6. Variáveis avaliadas	15
3.7. Análise estatística	18
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	19
4.1. Análise de crescimento.....	19
4.2. Componentes de produção	29
4.3. Características de raízes	31
4.4. Consumo e eficiência no uso da água.....	33
5. CONCLUSÕES	36
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37
7. APÊNDICE.....	51

RESUMO

NHANOMBE, Edvaldo Aldo Litos Paulo, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2019. **Efeitos de restrição hídrica em feijoeiro cultivado em plantio direto e convencional.** Orientador: Francisco Cláudio Lopes de Freitas. Coorientadores: Wagner Luiz Araújo e José Eustáquio de Souza Carneiro.

O déficit hídrico é capaz de reduzir o crescimento, desenvolvimento e produção das culturas. O feijoeiro é sensível à limitação hídrica, por isso a adoção de estratégias para melhorar a eficiência no aproveitamento de recursos hídricos em cultivos irrigados e aumentar a tolerância a períodos de estiagem em cultivos de sequeiro faz-se necessária. Dentre as estratégias que possibilitam a economia de água destaca-se o sistema de plantio direto na palhada (SPD), que melhora a infiltração, a retenção de água e aumenta a eficiência no uso da água (EUA). Propõe-se com o presente trabalho investigar os efeitos de restrição hídrica em feijoeiro cultivado em plantio direto e convencional na EUA. Para tal, foi conduzido um experimento em campo entre julho e novembro de 2017. Foi adotado o delineamento em blocos casualizados em esquema de parcelas subdivididas. Nas parcelas, foram avaliados dois sistemas de plantio (SPD sobre palhada de aveia-preta e preparo convencional com aração e gradagem) e nas subparcelas, três períodos de restrição hídrica [por 05 (sem restrição), 15 e 25 dias]. A interrupção na irrigação para obtenção dos períodos de restrição hídrica foi realizada na fase V4, a partir dos 28 dias após a emergência (DAE). Os sistemas de cultivo não influenciaram o crescimento das plantas e a produtividade, porém o cultivo no SPD proporcionou economia de água de 60 mm ha⁻¹ e elevou a EUA em 34,48%. Restrição hídrica por até 15 dias não influenciou a produtividade do feijoeiro, porém a de 25 dias reduziu o crescimento da parte aérea e a produtividade. Períodos de deficit hídrico no início do ciclo de vida do feijoeiro induzem as plantas a aprofundar o sistema radicular.

ABSTRACT

NHANOMBE, Edvaldo Aldo Litos Paulo, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2019. **Effects of water restriction on common bean grown under no-tillage and conventional tillage.** Advisor: Francisco Cláudio Lopes de Freitas. Co-advisors: Wagner Luiz Araújo and José Eustáquio de Souza Carneiro.

The water deficit is able of reducing the growth, development and production of crops. Beans are sensitive to water limitation, so the adoption of strategies to improve the efficiency in the use of water resources in irrigated crops and increase the tolerance to dry periods in rainfed crops is necessary. Among the strategies that make possible the saving of water stands out the no-till system (NTS), which improves infiltration, water retention and increases water use efficiency (WUE). It is proposed with the present work to investigate the effects of water restriction on common bean grown in no-tillage and conventional tillage in the WUE. For that, an experiment was conducted in the field between July and November of 2017. A randomized block design was adopted in a subdivided plot scheme. In the plots, two planting systems (NTS on black oat straw and conventional tillage and plowing) were evaluated, and in the subplots, three periods of water restriction [by 05 (without restriction), 15 and 25 days] were evaluated. Irrigation interruption to obtain the water restriction periods was performed in V4 phase, starting from 28 days after emergence (DAE). Cultivation systems did not influence plant growth and productivity, but NTS provided water savings of 60 mm ha⁻¹ and raised the WUE by 34.48%. Water restriction for up to 15 days did not influence bean productivity, but that of 25 days reduced shoot growth and productivity. Periods of water deficit at the beginning of the life cycle of the bean induce the plants to deepen the root system.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil se destaca como um dos maiores produtores e um dos principais consumidores do feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) no mundo, com produção média anual de cerca de 1,85 milhões de toneladas (CONAB, 2018). Além dessa leguminosa ser um dos alimentos básicos da população brasileira, é uma das principais fontes de proteína vegetal na dieta alimentar dos estratos sociais menos favorecidos (BORÉM & CARNEIRO, 2015).

Indubitavelmente, o feijoeiro tem se mostrado cada vez mais importante para o país, por possuir ampla adaptação edafoclimática, o que favorece seu cultivo em quase todos os estados da federação o ano todo, possibilitando constante oferta do produto no mercado (SALVADOR, 2014).

Entretanto, diversos fatores exercem influência sobre o cultivo do feijoeiro, entre os quais, os abióticos são os mais prejudiciais (OLIVEIRA et al., 2005). Dentre os fatores climáticos, o déficit hídrico prolongado ao longo do ciclo vital da cultura é a principal causa para o insucesso das lavouras, o que resulta em baixo rendimento de grãos (RAMALHO et al., 2009; OLIVEIRA et al., 2005), com influência em praticamente todos os processos relacionados ao desenvolvimento vegetal (DAMATTA, 2007).

O feijoeiro possui pouca tolerância ao déficit hídrico, sobretudo em virtude da sua baixa capacidade de recuperação após déficit e de seu sistema radicular ser pouco desenvolvido (GUIMARÃES, 1998). Estima-se que cerca de 300 mil toneladas de grãos dessa leguminosa são perdidos anualmente na África devido à deficiência hídrica (MANJERU et al., 2007; RAMALHO et al., 2009).

Para o manejo adequado dessa cultura é fundamental conhecer os mecanismos de resposta das plantas à deficiência hídrica. De acordo com Taiz & Zeiger (2013) as plantas utilizam três principais mecanismos contra a deficiência hídrica: fechamento estomático, que reduz as perdas de água pela evapotranspiração; redução da expansão foliar, que reduz a área foliar transpirante; alongamento das raízes, que permite às plantas obter água em camadas profundas do solo.

Por causa da sazonalidade e da irregularidade na distribuição pluviométrica, tem se verificado a expansão das áreas com cultivos irrigados. Entretanto, em algumas regiões, pode ocorrer limitação no uso da água para irrigação, visto que a prioridade é

o abastecimento para o consumo humano. Por isso a necessidade de se adotarem estratégias que visem melhorar a eficiência no aproveitamento da água em cultivos irrigados e reduzir perdas causadas por períodos prolongados de déficit hídrico em cultivos de sequeiro.

Dentre as práticas agronômicas usadas para melhorar a eficiência no uso da água, destaca-se o sistema de plantio direto na palha (SPD). Este aumenta a infiltração de água no solo, reduz a evaporação, proporciona maior quantidade de água armazenada no solo, o que resulta em redução no consumo de água em cultivos irrigados (TEOFILO et al., 2012; COELHO et al., 2013) e minimiza as oscilações térmicas no solo (NASCIMENTO et al., 2003).

Os efeitos dos sistemas de cultivo sobre o déficit hídrico já foram estudados em diversas culturas. Manjeru et al. (2007); Miorini (2012); Cunha et al. (2013) estudaram os efeitos da deficiência hídrica nos diversos estádios de desenvolvimento do feijoeiro. Esses autores verificaram que o déficit hídrico reduziu a produtividade e seus componentes nos SPD e convencional, quando imposta na fase reprodutiva. Freitas et al. (2014) avaliaram os efeitos de períodos de veranico em SPD e convencional em feijão-caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). Esses autores constataram que o SPD proporcionou maior produtividade e possibilitou maior tolerância das plantas a esses períodos de veranico. Silva et al. (2013) ao avaliarem os efeitos de períodos de veranico no milho para ensilagem, verificaram que o SPD reduziu o consumo de água, melhorou a eficiência no uso da água e diminuiu a suscetibilidade da cultura aos veranicos. Contudo, estudos que abordam a tolerância da cultura ao déficit hídrico em função dos sistemas de cultivo no feijoeiro ainda são incipientes, sobretudo no caso de cultivares de feijão no plantio de inverno com irrigação suplementar.

Portanto, independentemente das dificuldades inerentes ao nosso conhecimento sobre a sua complexidade, a análise de crescimento é a ferramenta mais acessível e bastante precisa para avaliar o desenvolvimento vegetal. Essa análise caracteriza mudanças na produção vegetal ao longo do tempo e a contribuição dos processos fisiológicos sobre o seu desempenho nas diversas condições edafoclimáticas a que são submetidos (PEIXOTO & PEIXOTO, 2004).

Para testar nossa hipótese, objetivou-se avaliar os efeitos da restrição hídrica em feijão-comum cultivado em plantio direto e convencional na eficiência de uso da água.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Aspectos gerais da cultura do feijoeiro

O feijoeiro-comum pertence à família Fabaceae (Leguminosae), gênero *Phaseolus*, espécie *Phaseolus vulgaris* L., originária do continente americano, concretamente a região sul dos Andes. São considerados dois principais centros de domesticação, o Andino e o Mesoamericano (GEPTS & DEBOUCK, 1991).

O feijão é ingrediente indispensável na culinária brasileira e fonte barata de proteínas e energia, com baixo teor de gordura. Além disso, o feijão está presente na dieta alimentar das populações economicamente menos favorecidas, notadamente a rural, de produção principalmente familiar (ETENE, 2017). Além do elevado teor de proteína, principalmente a faseolina, essa leguminosa é importante fonte de ferro, zinco e fibra (KUTOS et al., 2003).

A o feijoeiro possui quatro classes de raízes: primária (mais desenvolvida em relação às demais), que é originária da radícula do embrião; basais, emergem na zona axial e formam a maior parte do sistema radicular; adventícias, são as mais superficiais devido ao seu crescimento horizontal na porção subterrânea do hipocótilo; e, laterais, que emergem de todas as classes de raízes e alcançam volume de solo não explorado pelo eixo principal (SANTOS et al., 2015). De acordo com Fancelli & Dourado Neto (1997) a amplitude do sistema radicular do feijão varia conforme as condições físicas do solo, entre elas a estrutura, porosidade, aeração, capacidade de retenção de umidade, temperatura, entre outras. Aproximadamente 90% das raízes concentram-se em uma faixa de solo com profundidade de 20 cm, tornando-o suscetível ao déficit hídrico.

O caule é herbáceo, morfológicamente classificado como haste e, é o eixo principal da parte aérea da planta. Tem origem no meristema apical do embrião situado no ápice do epicótilo. O caule possui nós que são pontos de inserção das folhas no caule, dos quais saem as ramificações. Do caule originam-se ramos primários, dos quais surgem os ramos secundários e assim por diante. Acima das folhas primárias, o caule desenvolve-se de forma dinâmica e ascendente originando uma sucessão de nós e entrenós. Na axila das folhas encontram-se gemas, podendo ser de três tipos: vegetativa, floral e vegetativa e completamente floral (BINOTTI, 2015).

Segundo Dourado Neto; Fancelli (2000) o feijoeiro pode ser classificado em hábitos de crescimento determinado, em que desenvolvem uma inflorescência no ápice

da haste principal e das laterais, por isso, diz-se que, o florescimento ocorre do ápice da planta para a base (tipo I) e indeterminado, em que os meristemas apicais da haste principal e das laterais continuam vegetativos durante o florescimento, por isso, considera-se que, o florescimento ocorre da base para o ápice, podendo ser arbustivo (tipo II), prostrado (tipo III) e trepador (tipo IV). Esta leguminosa apresenta dois tipos de folhas: as simples, que são também conhecidas como folhas primárias, já presentes no embrião; e, as compostas (do tipo trifolioladas), igualmente denominadas folhas verdadeiras, em que inserem-se nos nós do caule e das ramificações. A inflorescência é um rácimo, podendo ser axilar (hábitos de crescimento tipo II, III e IV) ou terminal (hábito de crescimento tipo I) (VILHORDO et al., 1996).

O fruto é um legume ou vagem constituído de duas valvas unidas por duas suturas, em que sua coloração varia entre cultivares, em função dos estádios de desenvolvimento. Suas sementes são exalbuminosas constituídas, externamente, pelo tegumento, hilo, micrópila, estrofiote e rafe e, internamente, formado pelo embrião que é constituído de eixo embrionário (plúmula, hipocótilo e radícula) e dois cotilédones (VIEIRA; RAVA, 2000).

O feijoeiro é cultivado nas mais variadas condições edafoclimáticas e sistemas de produção, tais como o cultivo solteiro, consorciado ou, ainda, intercalado com uma ou mais espécies (YOKOYAMA et al., 1996). Todavia, temperaturas extremas, geralmente inferiores a 12°C, reduzem a produção de biomassa e retardam seu desenvolvimento devido a alterações metabólicas provocadas pelo resfriamento (Silveira & Stone, 2001) e, superiores a 32°C, ocasionam a abscisão de flores e vagens, a limitação das taxas fotossintéticas e, conseqüentemente, a redução do crescimento das plantas.

Tradicionalmente, o feijão é cultivado nas “águas” e na “secas”. Todavia, em algumas regiões, há uma terceira época de cultivo, a de “inverno”, em virtude da expansão das áreas irrigadas no período da entressafra e do seu ciclo ser relativamente curto, tornando-se uma alternativa vantajosa (ARAÚJO & CAMELO, 2015). No feijão das “águas”, o plantio é realizado entre meados de agosto ou setembro e início de dezembro. A colheita ocorre em pleno verão, com risco de ocorrer chuvas durante a colheita. A chuva na colheita reduz o valor comercial do produto colhido, uma vez que as vagens entram em contato com o solo úmido. O feijão da seca é plantado em período mais seco, entre janeiro e março, o que favorece sua semeadura e colheita, pois esta é feita em período de chuvas escassas. A possível falta de água durante o enchimento de

grãos ou vagens é fato recorrente neste tipo de semeadura, o que constitui grande inconveniente (ARAÚJO & CAMELO, 2015). O feijão de inverno é plantado entre abril e julho, sempre com irrigação suplementar, possibilitando maiores produtividades devido a ocorrência de temperaturas noturnas mais amenas. Nessa época, tanto o plantio quanto a colheita são feitas sem a presença de chuva. Portanto, tanto a safra da “seca” quanto a de “inverno”, ambas estão sujeitas à ocorrência de períodos secos ao longo de seu desenvolvimento (LIBARDI, 1996).

2.2. Respostas ecofisiológicas das plantas à deficiência hídrica

As plantas estão frequentemente expostas aos mais diversos estresses ambientais, o que as permite, dependendo da duração, frequência, severidade, órgãos e tecidos afetados, desenvolver algumas modificações na sua estrutura, possibilitando, deste modo, sua convivência com o fator estressante. Taiz & Zeiger (2013) relatam algumas das adaptações que podem ocorrer como resultado do déficit hídrico: modificações fenológicas, controle estomático, estruturas morfoanatômicas capazes de reduzir as perdas de água, ajuste osmótico, aprofundamento do sistema radicular, entre outras.

Em condição de déficit hídrico, para evitar a desidratação, as plantas fecham estômatos, reduzindo perdas drásticas de água pelo processo transpiratório. Portanto, a perda e a absorção de água pelas células-guarda alteram seu estado de turgidez e mediam a abertura e o fechamento estomático com (hidroativa) e sem gasto energético (hidropassiva), ou seja, os movimentos de abertura e fechamento dos estômatos são simplesmente o resultado do fluxo de água para dentro e para fora das células-guardas (TAIZ & ZEIGER, 2013).

O ácido abscísico (ABA) também influencia o controle de diversos processos relacionados ao crescimento e desenvolvimento das plantas, possibilitando a regulação de respostas adaptativas em condições adversas. Sob situação de baixa disponibilidade de água no solo, ocorre acúmulo desse fitormônio nas folhas estressadas, regulando a abertura e fechamento estomático e reduzindo a perda de água pelo processo de transpiração (ZHU, 2002). Há evidências na literatura que dão conta de que o fechamento estomático também ocorre por causa do aumento de transporte de ABA, via xilema, para a parte aérea, depois de ser sintetizado nas raízes em contato com o solo seco (SCHACHTMAN; GOODGER, 2008).

Por outro lado, as plantas quando submetidas a estresse por deficiência hídrica, produzem espécies reativas de oxigênio (ERO) e peroxidação lipídica nas membranas. Similarmente, tanto o ABA quanto as ERO induzem o sistema de defesa antioxidante (CHEN et al., 2000; JIANG & ZHANG, 2002; 2003).

Para regular as respostas das plantas ao déficit hídrico, diversas alterações nas características morfofisiológicas e anatômicas podem ocorrer na planta (MAKBUI et al., 2011). Entre elas podem se citar a redução da expansão celular, que ocasiona a diminuição da expansão foliar (Taiz & Zeiger, 2013); a presença de epiderme com paredes celulares densamente cutinizadas e cobertas por espessas camadas de ceras (Cameron et al., 2006); os estômatos pequenos e numerosos, por vezes escondidos sob densa cobertura de tricomas para reduzir a desidratação e maximizar as trocas gasosas (Larcher, 2000); a redução no tamanho celular e aumento na espessura da parede celular, muitas vezes lignificada (PITMAN et al., 1983).

Taiz & Zeiger (2013) afirmam que as plantas utilizam três principais mecanismos de proteção contra a deficiência hídrica no solo: o fechamento estomático, que reduz a evapotranspiração; a redução da área foliar, que limita a transpiração e conserva o suprimento de água limitado no solo por período mais longo; o alongamento das raízes, que atingem camadas mais profundas do solo para resistirem à limitação hídrica.

No feijoeiro, a limitação na disponibilidade de água promove mudanças morfofisiológicas pois, induz um aumento na assimetria foliar, afetando a fotossíntese (Souza et al., 2005) a qual é limitada pela água, pela menor absorção de CO₂ (SALISBURY; ROSS, 2012).

Outro fator que provavelmente está associado ao déficit hídrico é a temperatura. A temperatura adequada ao desenvolvimento do feijoeiro está na faixa entre 15 e 29°C (Fancelli; Dourado Neto, 2001; Silva et al., 2006), com o ótimo em 21°C (FANCELLI; DOURADO NETO, 2001; SILVA; RIBEIRO, 2009). No entanto, temperaturas diurnas elevadas, acima de 30°C e noturnas superiores a 25°C causam abortamento de flores, queda de vagens jovens e também, pode decrescer o número de sementes por vagem (BARBOSA; GONZAGA, 2012). Por outro lado, baixas temperaturas podem também impedir, reduzir ou atrasar a germinação das sementes e emergência das plântulas e prolongar o ciclo vital do feijoeiro (ANDRADE, 1998). Temperaturas abaixo de 12°C podem causar abortamento de flores, interferindo diretamente na produtividade de grãos (SILVA; RIBEIRO, 2009).

Por ser planta C3, quando está sujeita a condição de estresse por deficiência hídrica e elevação de temperatura, os feijoeiros fecham estômatos para conservar água. Essa estratégia da planta permite que o O₂ produzido pelo processo fotossintético seja acumulado, o que resulta em baixa concentração de CO₂ e alta concentração de O₂, situação que favorece o incremento da fotorrespiração (RAVEN et al., 2007).

O feijoeiro é sensível à deficiência hídrica, em virtude de apresentar sistema radicular pouco desenvolvido, pela baixa capacidade de recuperação após déficit hídrico e pela sua baixa capacidade fotossintética (GUIMARÃES, 1992). Portanto, a ocorrência de déficit hídrico nos diversos estádios fenológicos da cultura afetam a produtividade de distintas formas. Quando o déficit ocorre após a semeadura diminui a germinação, a emergência e a sobrevivência das plântulas, o que pode resultar em baixo estande, que pode reduzir o rendimento dos grãos (ANDRADE, et al., 2006). Durante a fase vegetativa pode prejudicar o desenvolvimento da planta, sua altura e área foliar. No período reprodutivo, o déficit hídrico no florescimento resulta na queda de flores e, conseqüentemente diminui o número de vagens. No enchimento de grãos, haverá redução no número e na massa dos grãos (GUIMARÃES, 1996).

A produtividade do feijoeiro geralmente é mais afetada pela deficiência hídrica que ocorre no período de pré-florescimento, principalmente durante a formação dos botões florais (FAGERIA et al., 1991). Logo, a queda de produtividade é resultado da baixa percentagem de vingamento das flores e do abortamento de óvulos (RAMIREZ-VALLEJO & KELLY, 1998; STONE & SILVEIRA, 2012).

Silva (2005) constatou que o maior risco de redução da produtividade do feijoeiro em condições de déficit hídrico ocorreu entre os períodos de semeadura e emergência e entre o início do florescimento até 20 dias depois. Robins & Domingo (1956) e Mantovani (1986) observaram que deficiência hídrica durante a fase vegetativa atrasa o início da maturação e, durante a floração ou maturação, reduz o ciclo da cultura e o rendimento dos grãos.

As exigências hídricas no feijoeiro tendem a aumentar ao longo do ciclo de vida, com valor máximo na floração, na formação e enchimento de vagens, decrescendo a partir do início da maturação, variando de 300 a 500 mm por ciclo (ANDRADE, 2010). De acordo com Matzenauer et al. (1991) o maior consumo de água diário no feijoeiro ocorre entre os períodos compreendidos entre o início do florescimento e o início do enchimento de grãos, em função de maior índice de área foliar e da maior atividade fotossintética, sendo influenciado pela cultivar, época e

local de semeadura, condições edafoclimáticas e estágio fenológico (NASCIMENTO, 2009). Portanto, o período mais crítico coincide com o período de maior consumo de água pela cultura.

O déficit hídrico afeta praticamente todos os aspectos do crescimento da parte aérea e da raiz, causando redução na expansão celular, condutância estomática, fotossíntese e conseqüentemente no acúmulo de matéria seca (HSIAO, 1990).

Em síntese, situações de déficit hídrico iniciam-se quando a perda de água excede a absorção pelas raízes (Silveira & Stone, 2005) em intensidade suficiente para causar decréscimo no conteúdo de água, por diminuir seu turgor, reduzir a expansão celular e alterar processos morfológicos e bioquímicos (PEREIRA, 2005). A duração, severidade, frequência, os órgãos e tecidos afetados, fases de desenvolvimento e o genótipo, também interferem na resposta das plantas ao estresse por deficiência hídrica (FRITSCHÉ-NETO et al., 2011).

2.3. Sistemas de preparo do solo

O preparo do solo é um conjunto de práticas que antecedem ao plantio. As ações envolvidas nas etapas do preparo de solo tem como propósito propiciar condições favoráveis para uma boa acomodação e germinação das sementes, emergência de plântulas, bom desenvolvimento radicular e auxiliar o controle de plantas daninhas. Assim, os sistemas de preparo do solo podem beneficiar ou não as condições físicas, químicas e biológicas do solo. Dessa forma, o preparo do solo influencia o crescimento e desenvolvimento das plantas e, por conseqüência a produtividade da cultura. Do ponto de vista físico, os sistemas de manejo do solo alteram a sua densidade, porosidade e resistência à penetração de (BERTOL et al., 2001; STONE; MOREIRA, 2001).

2.3.1. Sistema de preparo convencional

O sistema de preparo convencional do solo proporciona maior aeração, permitindo a quebra dos agregados do solo e a incorporação dos resíduos vegetais, promovendo, decomposição rápida e perda do carbono orgânico no solo, bem como mineralização do nitrogênio e do fósforo orgânico existente no solo (DA SILVA, 2012).

O estabelecimento deste sistema é feito por meio do revolvimento das camadas superficiais do solo com o intuito de auxiliar no controle de plantas daninhas, reduzir

a compactação, incorporar corretivos e fertilizantes, aumentar a porosidade e, assim, elevar a permeabilidade, armazenamento de ar e água. A princípio, sua implantação é realizada por meio de operações de aração e gradagem, sendo que a aração promove o corte, elevação, inversão e queda, com uma desfragmentação de leivas e, a gradagem complementa essa operação, reduzindo o tamanho dos torrões na superfície e nivelamento do terreno (GABRIEL FILHO et al., 2000; ALVES et al., 2015).

O uso intensivo de implementos de discos durante o preparo do solo, pode compactar abaixo da profundidade de trabalho, impedir a expansão radicular, reduzir a taxa de infiltração de água e ocasionar escoamento superficial do solo (Inoue et al, 2002), possibilitando esse incremento se o solo permanecer descoberto, sobretudo no período de maior intensidade de chuva (BENATTI JÚNIOR et al., 1983).

Entretanto, um dos inconvenientes provenientes do revolvimento do solo é a desagregação de partículas, o que afeta a estrutura do solo e dispersa as argilas, que permitem a retenção da maior parte dos nutrientes necessários às plantas, facilitando o seu arraste pela ação da chuva e do vento, causando erosão (Würsche; Denardin, 1980), levando também, ao selamento superficial e à compactação, limitando a capacidade de infiltração de água e assim, prejudicando o desenvolvimento das plantas (SCALÉA, 2007). De acordo com estes autores, a inversão das leivas permite que a cobertura vegetal seja enterrada, deixando a superfície do solo mais exposta aos agentes erosivos, além de maior evaporação da água armazenada no solo.

2.3.2. Sistema de plantio direto

No Brasil, a primeira referência documental sobre o cultivo mínimo e plantio direto, foi escrita, provavelmente, em 1964, pelo então professor da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Clibas Vieira e senhor Russel D. Frazier, no estado de Minas Gerais, explicando as principais vantagens dessas práticas (MUZILLI, 1983 citado por DUARTE JÚNIOR, 2006).

Contrariamente aos demais sistemas de preparo, no sistema de plantio direto (SPD) não ocorre revolvimento de solo, exceto no sulco de semeadura. Esse SPD tem seu fundamento na mínima movimentação do solo, na manutenção da cobertura morta sobre a superfície e na rotação de culturas. A cobertura morta atua como agente isolante, minimizando oscilações bruscas da temperatura do solo e contribuindo para a menor evaporação da água armazenada, com melhor aproveitamento da água no solo

pelas plantas (BIZARI et al., 2009; NASCIMENTO et al., 2003). Portanto, em função do revolvimento do solo apenas no sulco de semeadura e da manutenção da cobertura vegetal, esse sistema é classificado como conservacionista, em virtude de apresentar cobertura igual ou superior a 30% (ASAE, 1992).

Segundo Gassen et al. (2014) como resultado da não inversão de camadas do solo no SPD, ocorre menor desagregação das partículas, em que a cobertura vegetal sob a superfície do solo reduz o impacto das gotas de chuva, facilita o controle da erosão, melhora a capacidade de infiltração e estrutura do solo pela adição de matéria orgânica, aumenta a capacidade de retenção de água e a porosidade do solo em relação ao preparo convencional. Além disso, o SPD proporciona redução dos custos operacionais, pois as excessivas operações de preparo do solo elevam de forma significativa os custos (MACHADO et al., 2005).

A espécie produtora de palha exerce grande influência no rendimento dos grãos do feijoeiro irrigado cultivado no inverno (OLIVEIRA et al., 2002). Isso se deve ao fato do SPD depender de fontes eficientes de cobertura morta capazes de proteger plena e completamente a superfície do solo e ter adequada longevidade. Portanto, o emprego de plantas de cobertura com alta produção de biomassa, como a vegetação espontânea, espécies do gênero *Brachiaria*, aveia-preta, milheto, entre outras espécies que quando manejadas adequadamente, possibilitam a persistência de mais de seis meses na superfície do solo (COBUCCI, 2001).

Diversos trabalhos mostram incrementos na produtividade do feijoeiro e economia de água de irrigação nos SPD em relação ao preparo convencional (SILVA et al., 2001; STONE & SILVEIRA, 1999; GALVÃO et al., 1981). Nascimento et al. (2001) verificaram no feijoeiro que a cobertura vegetal no SPD, além reduzir as perdas de água por evaporação no solo, proporcionou economia de água de irrigação em 20% em relação ao preparo convencional e reduziu as perdas de solo, nutrientes e matéria orgânica.

Stone & Morreira (2001) obtiveram aumento em quase 25% da produtividade em dois cultivares de feijão no SPD comparado ao preparo convencional. Para esses autores, esse aumento ocorreu devido à maior conservação de umidade no SPD.

Urchei et al. (2000) verificaram no feijão-caupi no SPD incremento da produção de matéria seca total, do índice de área foliar, das taxas de crescimento relativo, de crescimento absoluto, de assimilação líquida e da duração de área foliar, reduzindo apenas a razão de área foliar.

Barros & Hanks (1993) verificaram no feijoeiro submetido à diferentes níveis de irrigação que a presença de cobertura morta proporcionou incremento na eficiência do uso de água em $0,362 \text{ kg m}^{-3}$ e biomassa em $0,195 \text{ kg m}^{-3}$ em relação ao preparo convencional.

O consumo de água é uma variável de grande importância em relação ao rendimento obtido, pois reflete na rentabilidade e na eficiência da produção, sobretudo em locais onde a produção do feijão é diretamente determinada pela prática de irrigação (CUNHA, 2009).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido em campo, em Viçosa-MG, na Estação Experimental Prof. Clibas Vieira, pertencente à Universidade Federal de Viçosa (UFV), entre julho e novembro de 2017, em solo classificado como Argissolo Vermelho Amarelo (EMBRAPA, 2013). O município de Viçosa localiza-se na zona da Mata de Minas Gerais, entre as coordenadas 20°45'14" de latitude S, 42°52'54" de longitude W e 680 m de altitude. O clima da região é, segundo a classificação de Köppen, do tipo Cwb - clima subtropical de altitude com verão chuvoso e inverno com temperaturas amenas, com temperatura média anual de 20,6 °C e precipitação média anual de 1.229 mm, com período de baixa precipitação entre os meses de maio e outubro.

Antes da implantação do experimento foram coletadas amostras de solo na profundidade de 0 a 20 cm a fim de realizar as análises química e física (Tabela 1) e curva característica de retenção de umidade no solo (Figura 1).

Tabela 1 - Características químicas e físicas da amostra do solo, segundo a metodologia da Embrapa (1997).

Análise química												
Solo	pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	t	T	V	m
	(H ₂ O)	(mg dm ⁻³)		------(Cmolc dm ⁻³)-----								--(%)--
PVA 0 - 20 cm	5,6	10,1	108	3,5	1,0	0,1	4,29	4,8	4,9	9,1	53	2

Análise física					
Solo	Areia	Silte	Argila	Classe textural	MO
	------(%)-----				(dag kg ⁻¹)
PVA 0 - 20 cm	10	32	58	Argiloso	3,1

pH: água, KCl e CaCl₂ - relação 1:2,5; P - K: Extrator Mehlich 1; Ca - Mg - Al - Extrator: KCl - 1 mol L⁻¹; H + Al - Extrator acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ - pH 7,0; SB - Soma de bases trocáveis; t - Capacidade de troca catiônica efetiva; T - Capacidade de troca catiônica a pH 7,0; V - Índice de saturação de bases; m - Índice de saturação de alumínio; MO - Matéria orgânica; PVA - Argissolo vermelho-amarelo.

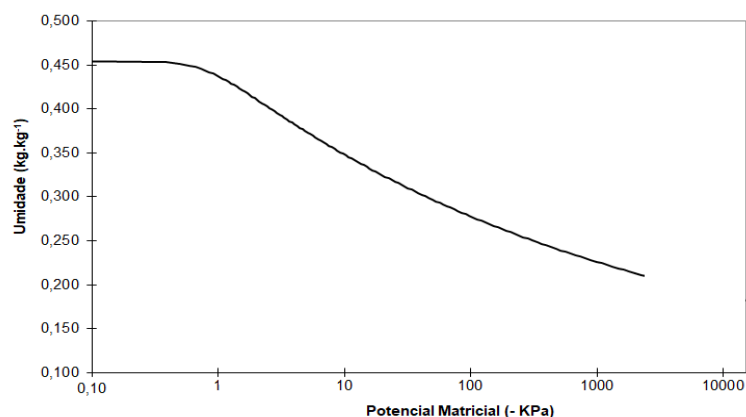


Figura 1 - Curva característica de umidade no solo.

3.2. Delineamento experimental

Foi adotado o delineamento em blocos casualizados, em esquema de parcelas subdivididas, com quatro repetições. Nas parcelas, foram avaliados dois sistemas de preparo de solo (direto e convencional) e nas subparcelas, três tratamentos de restrição hídrica [sem restrição - 05 dias (28 a 33 dias após a emergência), 15 dias (28 a 43 dias após a emergência) e 25 dias (28 a 53 dias após a emergência)]. Cada subparcela foi composta por nove fileiras de 5,0 m de comprimento, espaçadas entre si de 0,50 m. Foi considerada área útil as três fileiras centrais, sem 1,0 m em cada extremidade.

3.3. Preparo da área

Para obtenção de palhada no sistema de plantio direto, realizou-se o plantio de aveia-preta (*Avena strigosa*), em abril de 2017. Previamente à instalação do experimento (quinze dias antes do plantio), foi realizada a dessecação da aveia-preta com 1,9 kg ha⁻¹ de glyphosate (equivalente ácido), que proporcionou cobertura na ordem de 2,25 t ha⁻¹ de palhada. O preparo do solo, nas áreas destinadas ao plantio convencional foi realizado com uma aração e duas gradagens, a 30 cm de profundidade, três dias antes da semeadura. Cumpre referir que a área experimental tem sido cultivada no preparo convencional a mais de 10 anos, em sucessão das culturas de milho no verão e feijão no inverno.

3.4. Semeadura, adubação e controle de plantas daninhas

O plantio do cultivar Ouro Vermelho, do tipo III, com porte semiereto, grãos vermelhos e ciclo entre 80 e 90 dias (Barboza; Gonzaga, 2012), foi realizado por meio

de semeadora tratorizada, depositando-se 13 sementes por metro na fileira, no dia 25 de julho de 2017. A adubação de plantio foi realizada com 300 kg ha⁻¹ da formulação N-P-K 08-28-16, com base no teor de fósforo da análise do solo (Tabela 1), conforme recomendado para a cultura no Estado de Minas Gerais (CFSEMG, 1999). A adubação de cobertura foi realizada no estágio fenológico V4, com 100 kg ha⁻¹ de sulfato de amônio, ocasião em que, também, foi realizada pulverização da folhagem do feijoeiro com 60 g ha⁻¹ de molibdênio, conforme as recomendações da CFSEMG (1999).

O controle de plantas daninhas foi realizado por meio da aplicação dos herbicidas fomesafen (0,5 L ha⁻¹) e fluazifop-p-butil (1 L ha⁻¹) aos 20 e 25 dias após o plantio, respectivamente.

3.5. Irrigação

Após o plantio, foi instalado o sistema de irrigação por microaspersão, utilizando-se para cada subparcela dois microaspersores autocompensantes, com vazão de 60 L h⁻¹, espaçados de 3 m, mantidos com pressão constante de 10 mca, por meio de válvula reguladora de pressão. As subparcelas ficaram separadas de 2,0 m entre si, de modo a permitir o controle individual do suprimento de água e evitar a interferência da irrigação nas subparcelas vizinhas.

O controle do volume de água foi realizado individualmente em cada subparcela por meio de registros, com base na tensão de água no solo obtida em tensiômetros instalados em cada subparcela na profundidade de 15 cm e na curva característica de água do solo (Figura 1). Adotou-se um turno de rega de cinco dias. A interrupção da irrigação para obtenção dos períodos de restrição hídrica foi realizada a partir dos 28 dias após a emergência (DAE), quando a cultura encontrava-se na fase V4.

Os dados climatológicos, como temperaturas máxima, média e mínima, precipitação e umidade relativa média durante o período experimental estão apresentados na Figura 2.

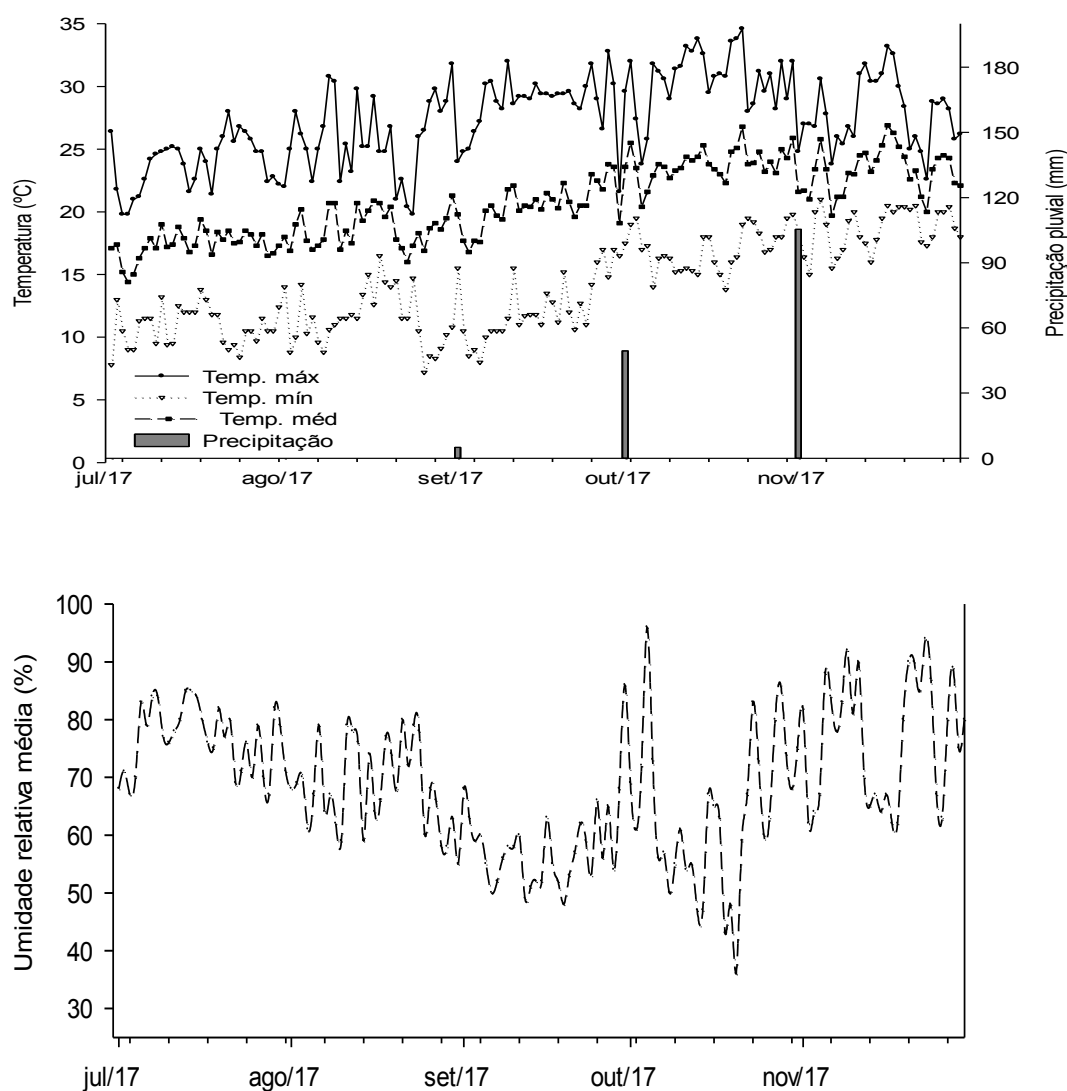


Figura 2 - Temperaturas máxima, média e mínima, precipitação pluvial e umidade relativa média durante o ciclo da cultura. Fonte: INMET, 2017.

3.6. Variáveis avaliadas

Análise de crescimento: aos 7, 14, 21, 28, 35, 49, 63, 77, 84 e 91 dias após emergência (DAE) foram coletadas aleatoriamente três plantas na área útil de cada subparcela para determinação das seguintes características: área foliar (AF, $\text{cm}^2 \text{ planta}^{-1}$), matéria seca do limbo (MSL, g planta^{-1}), de caule (MSC, g planta^{-1}), de pecíolo (MSP, g planta^{-1}), de vagens (MSV, g planta^{-1}) e total da planta (MST, g planta^{-1}).

A área foliar foi feita com o medidor de área Licor Equipamentos[®], modelo LI-3100. Em seguida, as folhas, pecíolos, caules e vagens, foram acondicionadas, separadamente, em sacos de papel e levados a estufa com circulação de ar forçada a temperatura de 65°C até atingir massa constante, para determinação da massa de

matéria seca de limbo, pecíolo, caule, vagens e total das plantas.

Com base na massa da matéria seca total e na área foliar, foram determinados, para cada época de avaliação, a razão de área foliar (RAF) e, para cada intervalo compreendido entre duas épocas de avaliação, foram determinadas as taxas de crescimento absoluto (TCA), de crescimento relativo (TCR) e de assimilação líquida (TAL), seguindo as orientações de fórmulas propostas por BENINCASA (2003):

Índice de área foliar (IAF): determinado pela relação entre a área foliar (AF) média de uma planta (em cm²) e a superfície correspondente de terreno (S) ocupado por planta (cm²).

$$IAF = AF / S \text{ cm}^2$$

Taxa de crescimento absoluto (TCA): representa a massa da matéria seca acumulada por intervalo de tempo. Segundo BENINCASA (2004) esse parâmetro fisiológico indica a variação ou incremento entre duas amostragens sucessivas, isto é, indica a velocidade de crescimento. Onde, MS₂ e MS₁ são as massas de matéria seca entre duas amostragens sucessivas e T₂ e T₁ representam as respectivas épocas de avaliação.

$$TCA = (MS_2 - MS_1) / (T_2 - T_1) \text{ g dia}^{-1}$$

Taxa de crescimento relativo (TCR): expressa o incremento na massa de matéria seca por unidade de peso inicial, em um intervalo de tempo (REIS & MULLER, 1979). De acordo com Magalhães (1985) a TCR é apropriada para avaliação do crescimento vegetal, que é dependente da quantidade de material acumulado gradativamente. Onde, lnMS₂ e lnMS₁ são os logaritmos neperianos das massas de matéria seca entre duas amostragens sucessivas e T₂ e T₁ representam as respectivas épocas de avaliação.

$$TCR = (\ln MS_2 - \ln MS_1) / (T_2 - T_1) \text{ g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$$

Taxa de assimilação líquida (TAL): reflete a capacidade da planta em aumentar massa de matéria seca (MS) em função de sua superfície assimilatória (AF) em determinado intervalo de tempo. Ou seja, representa a taxa de incremento da fitomassa (MS) por unidade de área foliar (AF) da planta. Assumi-se que tanto AF como MS, aumentam exponencialmente (WEST et. al., 1920). Onde, lnMS₂ e lnMS₁ são os logaritmos neperianos das massas de matéria seca entre duas amostragens sucessivas, T₂ e T₁ representam as respectivas épocas de avaliação e AF₂ e AF₁ representam as áreas foliares entre duas amostragens sucessivas.

$$TAL = [(MS_2 - MS_1) / (T_2 - T_1)] * [(\ln AF_2 - \ln AF_1) / (AF_2 - AF_1)] \text{ g cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$$

Razão de área foliar (RAF): representa a relação entre a área foliar (AF) e a massa da matéria seca total da planta (MST).

$$RAF = AF / MST \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$$

Além dos índices fisiológicos, por ocasião da maturação fisiológica, foram coletados os sistemas radiculares de quatro plantas em cada subparcela, com auxílio de uma pá de corte, as quais foram submetidas à lavagem com água corrente e secas à sombra para posterior determinação das seguintes características: comprimento (cm), profundidade (cm), volume (mL/planta) e massa matéria seca de raízes (g/planta).

A determinação da profundidade do sistema radicular foi realizada com auxílio de uma régua graduada (cm) em que mediu-se a partir da superfície do coleto até a superfície máxima explorada pelas raízes, medida no sentido vertical sem estendê-la. O comprimento foi determinado de modo similar à profundidade, porém com as raízes estendidas.

O volume do sistema radicular foi determinado pelo método do volume de água deslocado em proveta graduada (Carrigan; Frey, 1980), utilizando uma proveta graduada de 500 mL preenchida com 250 mL de água, onde as raízes foram submersas e o volume obtido pelo deslocamento da água. Após as medições mencionadas, as raízes das plantas foram acondicionadas em sacos de papel e colocadas em estufa com circulação de ar forçada a 65 °C até atingir massa constante para determinação da massa da matéria seca.

Consumo de água: com base nas lâminas de água aplicadas em cada subparcela, foi determinado o consumo de água para cada tratamento. Essas lâminas foram obtidas a partir da vazão dos microaspersores e do somatório do tempo de todas as irrigações realizadas durante o ciclo de vida da cultura. A precipitação ocorrida no decurso da fase experimental (Figura 2) foi contabilizada e adicionada ao consumo de água total, com exceção da ocorrida em novembro devido ao fato de alguns tratamentos já terem sido colhidos e outros já estarem na maturação fisiológica, não necessitando, portanto, de suplemento de água.

Eficiência no uso da água (EUA): foi determinada a partir da razão entre a produtividade e o volume de água aplicada durante o ciclo vital da cultura para cada tratamento, conforme descrito por DOOREMBOS & KASSAN (1979).

$$EUA = PG / W$$

Em que:

EUA = eficiência do uso da água em kg m^{-3} ;

PG = produtividade de grãos em kg ha^{-1} e,

W = volume de água aplicado em $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$.

Produtividade de grãos e seus componentes: por ocasião da maturação de colheita (80% das vagens secas), foram amostradas aleatoriamente 10 plantas nas outras duas fileiras da área útil, em que não foram coletadas plantas para análise de crescimento, para a determinação do número de vagens por planta, número de grãos por vagem e massa de 100 grãos. O restante das plantas colhidas, foram trilhadas e, os grãos, após beneficiados, foram pesados, juntamente com os grãos das 10 plantas amostradas anteriormente, para determinação da produtividade de grãos, expressa em kg ha^{-1} , com umidade corrigida para 13%.

3.7. Análise estatística

Os dados relativos à análise de crescimento foram submetidos à análise de variância no sentido de avaliar os efeitos sobre os sistemas de plantio, períodos de restrição hídrica e a interação entre eles.

Para as variáveis relacionadas aos componentes de produção, consumo e eficiência no uso da água, os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, quando significativo, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade, utilizando-se o programa estatístico R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2014).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Análise de crescimento

Devido às temperaturas amenas no período em que a cultura foi implantada (Figura 2), a emergência das plântulas demandou cerca de 12 dias para que ocorresse e se iniciasse a coleta das plantas para análise de crescimento.

Não se detectou efeito significativo dos sistemas de plantio, nem interação entre os fatores sistemas de plantio e períodos de restrição hídrica sobre as variáveis relacionadas ao crescimento dos feijoeiros. Entretanto, como não houve ajuste de modelos para análise de regressão, os dados de crescimento em função dos períodos de avaliação foram interpretados de forma descritiva por meio de gráficos de linhas com barra de erro padrão das médias. Por isso, os dados de crescimento para cada período de restrição hídrica foram obtidos a partir das médias dos dois sistemas de plantio.

Urchei et al. (2000); Bizari et al. (2009) em feijoeiro e Freitas et al. (2014) em feijão-caupi, verificaram melhor desenvolvimento dessas culturas no plantio direto em relação ao preparo convencional. Nossos resultados não suportam os resultados desses autores, provavelmente por ter sido o primeiro ano do estabelecimento do sistema de plantio direto na área experimental, com efeitos benéficos sobre as características físicas, químicas e biológicas do solo ao longo do tempo.

As variáveis de crescimento referentes às folhas das plantas de feijoeiro, número de folhas por planta (NF), área foliar (AF), índice de área foliar (IAF) e matéria seca do limbo (MSL) (Figuras 3A, 3B, 3C e 3D) tiveram comportamento semelhante dentro de cada condição hídrica, com crescimento inicial lento em todos os tratamentos até entre 28 a 35 DAE, a partir do qual se verificou incremento mais acentuado no tratamento sem restrição hídrica (em que a irrigação foi suspensa por cinco dias), e decréscimo no NF a partir dos 77 DAE devido à senescência das folhas com a proximidade da maturação da cultura, que resultou na redução da AF, IAF e MSL.

As restrições hídricas de 15 (28 a 43 DAE) e 25 dias (28 a 53 DAE), reduziram a emissão de folhas a partir dos 35 DAE, com diferenças significativas em relação ao tratamento sem restrição na irrigação aos 49 DAE, e posterior retomada na emissão de novas folhas a partir do momento em que a irrigação foi restabelecida (Figura 3A). Cumpre ressaltar que com a reidratação o tratamento com restrição de 15 dias manteve comportamento semelhante ao sem restrição, enquanto a restrição hídrica por

25 dias fez com que a planta aumentasse o número de folhas em relação aos demais tratamentos e se mantivesse enfolhada até os 98 DAE, prolongando do ciclo de vida em 14 dias.

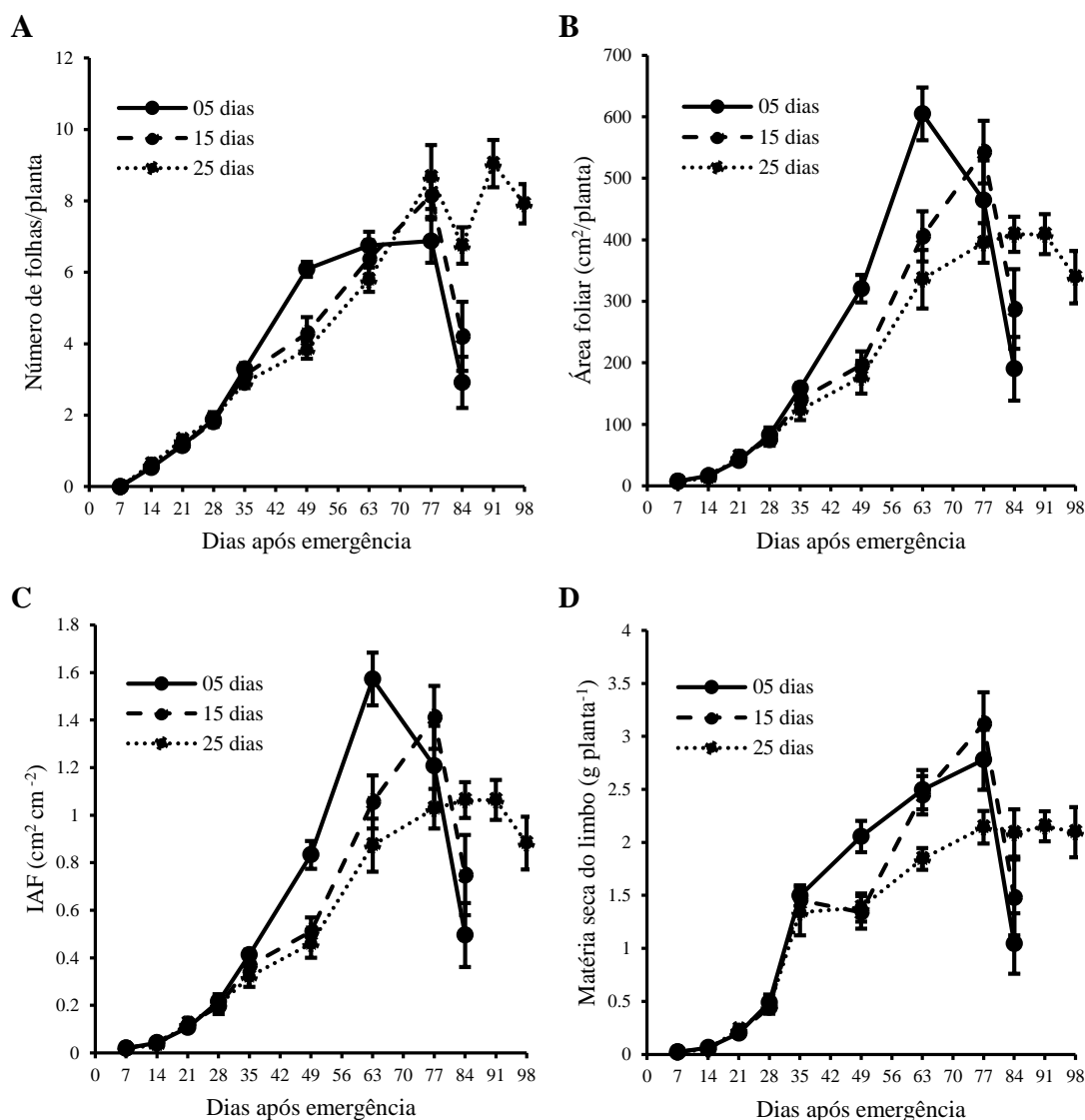


Figura 3 - Número de folhas (A), área foliar (B), índice de área foliar (C) e matéria seca do limbo (D) do feijoeiro sem restrição (05 dias) e submetido a 15 e 25 dias de restrição hídrica.

Palaretti et al. (2015) avaliaram o crescimento do feijoeiro cultivado com e sem restrição hídrica. Verificaram redução do número de folhas nas plantas com início da restrição hídrica no pré-florescimento, ainda que as plantas mantidas em déficit hídrico tenham recuperado após reidratação, com a emissão de novas folhas, contudo, de tamanho menor. Também, Nascimento et al. (2004) constataram redução em 35% no

número de folhas e em 48% no comprimento da haste com restrição hídrica de 60% da capacidade de campo.

O déficit hídrico influenciou a AF e IAF (Figuras 3B e 3C) com menores valores para plantas com restrição de 15 dias nas avaliações realizadas aos 49 e 63 DAE, enquanto plantas mantidas por 25 dias sem suprimento hídrico tiveram valores inferiores ao tratamento sem restrição na irrigação aos 49, 63 e 77 DAE e inferiores as plantas com restrição de 15 dias aos 77 DAE.

Essa tendência também foi verificada por Garrido (1998) quando trabalhou com lâminas de água deficitária, média e excessiva no feijoeiro, em que os menores valores de AF corresponderam aos tratamentos com lâminas de água deficitária e excessiva. Para esse autor, tais resultados ocorreram como consequência da redução da expansão foliar e da taxa de difusão de oxigênio no solo, respectivamente. Em outros trabalhos, Stone, Portes e Moreira (1990) também constataram redução na área foliar do feijoeiro, com a suspensão da irrigação por períodos prolongados.

Segundo Taiz & Zeiger (2013) a área foliar normalmente aumenta com o incremento da umidade no solo dentro de certo limite, condição que permite que as folhas permaneçam túrgidas, o que resulta em maior expansão foliar e eficiência fotossintética, com posterior declínio no final do ciclo vital da cultura, devido à senescência e queda das folhas nesse período. Nossos resultados corroboram com esses autores, os quais ilustram nitidamente incremento proporcional na AF com condições ideais de umidade no solo. Ademais, independentemente do déficit hídrico, houve incremento no IAF até o início do enchimento de grãos, devido ao aumento no número de folhas e à expansão do limbo foliar. A partir dessa fase, cessou a emissão de novas folhas e a perda por senescência superou a expansão foliar.

Urchei et al. (2000) demonstraram que o IAF de um genótipo varia com as condições ambientais, não com o número de dias até o seu valor máximo. Porém, no presente trabalho, constatou-se que a restrição hídrica de 25 dias levou ao prolongamento do período para a planta alcançar o valor máximo no IAF. Esse resultado se deve, provavelmente, à restrição hídrica ter se iniciado na fase vegetativa e ao período relativamente longo sem irrigação.

À medida que a AF cresceu, proporcionalmente, também cresceu o IAF, até alcançar valores a partir dos quais o auto-sombreamento passou a ser prejudicial, o que aumentou a superfície foliar mantida sob iluminação precária, reduzindo bastante a sua eficiência fotossintética (REIS & MULLER, 1979).

As restrições hídricas de 15 e 25 dias paralisaram o acúmulo de matéria seca do limbo (MSL) entre 35 e 49 DAE. Entretanto, com a retomada da irrigação o tratamento com restrição de 15 dias se igualou ao sem restrição, os quais mantiveram índices de MSL semelhantes até ao final do ciclo, que ocorreu aos 84 DAE. Mesmo com o retorno da irrigação aos 63 DAE, o déficit hídrico causado pela suspensão da irrigação por 25 dias resultou em menor acúmulo de MSL em relação aos demais tratamentos até 77 DAE, estes índices de MSL foram mantidos constantes até os 98 DAE.

As plantas dos tratamentos com restrição por 15 e 25 dias podem ter paralisado seu metabolismo com a interrupção da irrigação. Essa paralisação permitiu que possivelmente ocorresse a translocação dos carboidratos para os órgãos subterrâneos, que passaram a funcionar como drenos (FREITAS et al., 2014). Todavia, com o retorno da irrigação, o tratamento com restrição por 15 dias voltou a acumular matéria seca até alcançar o sem restrição, o que indica que o déficit não prejudicou aquele tratamento, por isso possibilitou a sua recuperação.

Por outro lado, como o déficit teve maior duração na restrição hídrica por 25 dias, houve ligeiro atraso no acúmulo de matéria seca. Portanto, esse resultado sugere que o déficit hídrico paralizou a emissão de novas folhas e aumentou a abscisão foliar. Contudo, a reidratação permitiu a recuperação das plantas vegetativamente, prolongando seu ciclo de vida.

De acordo com Lopes (2009) o decréscimo no acúmulo de matéria seca da parte aérea pode ocorrer em virtude da paralisação na emissão de folhas, além das raízes, serem, nesse período, os preferencias drenos dos fotoassimilados. Para esse autor, essa tendência de redução no acúmulo de matéria seca no final do ciclo da cultura é atribuída às estruturas reprodutivas, sobretudo as vagens, que passam a funcionar como drenos preferenciais, devido ao seu intenso acúmulo nesse período em relação aos demais órgãos.

Mendes et al. (2007) mostraram em seu trabalho com déficit hídrico em duas cultivares de feijão-caupi, redução no acúmulo de matéria seca do limbo, em plantas com restrição hídrica tanto na fase vegetativa quanto na reprodutiva. Por outro lado, Freitas et al. (2014) constataram maior incremento no acúmulo de matéria seca do limbo do feijão-caupi no plantio direto em relação ao preparo convencional, independentemente do déficit hídrico.

Importa ressaltar que o aumento no número de folhas por planta (Figura 3A) no tratamento com restrição hídrica por 25 dias a partir da retomada da irrigação com índices semelhantes ou até superiores aos demais tratamentos não se refletiu em aumento na área foliar e no acúmulo de matéria seca do limbo (Figuras 3B e 3C), isso indica que a planta passou a produzir maior número de folhas, porém menores.

Leite et al. (2004) mostraram em feijão-caupi, que as plantas estão sujeitas à redução do crescimento quando submetidas a períodos prolongados de deficiência hídrica, independentemente do início da restrição hídrica. Esses autores, constataram redução na matéria seca de todos os órgãos da planta.

A matéria seca do pecíolo (MSP) teve acúmulo crescente, que atingiu o ponto máximo aos 77 DAE nos tratamentos sem restrição e com restrição hídrica por 15 dias, ocasião em que ocorreu sua queda e/ou estabilização (Figura 4A). Esse comportamento de queda se deve ao aumento da taxa de senescência foliar, que ocasionou a desfolha das plantas no final do ciclo da cultura. Tal como nas demais variáveis relacionadas às folhas, os pecíolos apresentaram menor acúmulo de matéria seca no tratamento em que persistiu déficit hídrico prolongado, fato que corrobora com resultados observados por Krinski (2001).

O acúmulo de matéria seca do caule (MSC) foi afetado pelo déficit hídrico (Figura 4B), com índices inferiores ao tratamento sem restrição na irrigação observados aos 49 DAE quando a irrigação foi restringida por 15 dias. A restrição por 25 dias resultou em índices inferiores ao sem restrição aos 49 DAE e inferior aos tratamentos sem restrição e com restrição hídrica de 15 dias entre 63 e 77 DAE, embora tenha retomado o acúmulo de MSC de forma gradual até ao final do ciclo.

Campos et al. (2016) em seu trabalho com déficit hídrico em soja, constaram redução em 37,5% no acúmulo de MSC quando o solo foi mantido a 30% da capacidade do campo, em relação as plantas mantidas a 80% da capacidade de campo.

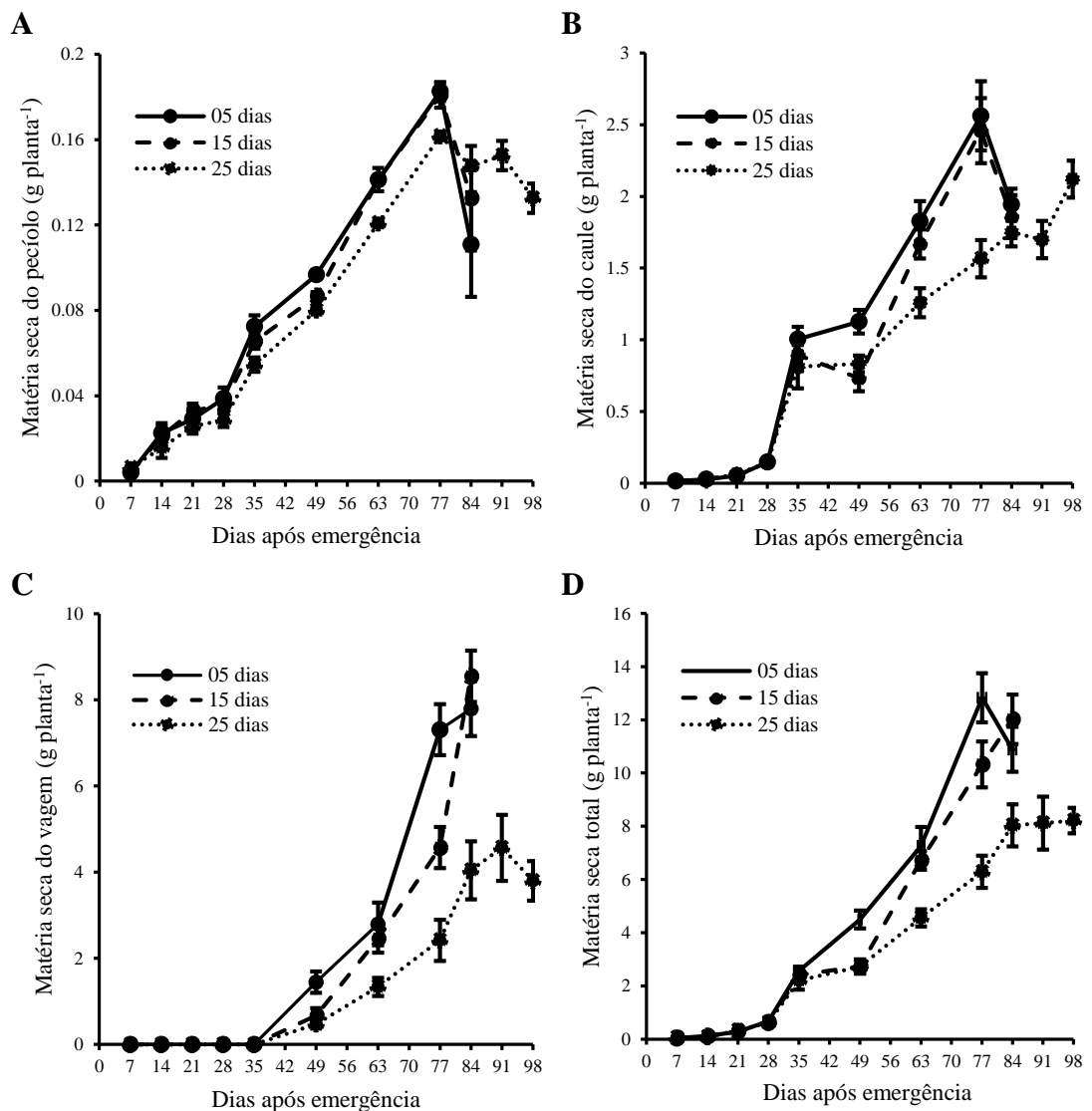


Figura 4 - Matéria seca do pecíolo (A), do caule (B), de vagens (C) e total (D) por planta do feijoeiro sem restrição (05 dias) e submetido a 15 e 25 dias de restrição hídrica.

O acúmulo matéria seca de vagens (MSV) foi contabilizado a partir da amostragem realizada aos 49 DAE (Figura 4C), quando se obteve nos tratamentos com restrição hídrica por 15 e 25 dias índices inferiores aos obtidos no tratamento sem restrição hídrica. Entretanto, com a retomada da irrigação aos 63 DAE, o tratamento com restrição de 15 dias igualou-se ao sem restrição na irrigação, os quais se mantiveram próximos até o final do ciclo, com índices superiores ao mantido com restrição por 25 dias, que teve atraso no início do florescimento em cerca de 14 dias em relação ao tratamento sem restrição. Esse atraso no florescimento se deveu à aplicação do déficit hídrico antes do florescimento, o que proporcionou aumento do

período vegetativo e florescimento intenso após reidratação, fato que demonstrou ser uma importante característica adaptativa do feijoeiro às condições de deficiência hídrica. Nossos resultados corroboram com os obtidos por Nascimento et al. (2004) nos quais constataram redução no acúmulo de MSV do feijão-caupi a partir do momento da aplicação do déficit hídrico.

A massa de matéria seca total (MST) teve comportamento similar às variáveis relacionadas as folhas e caule até por volta dos 49 DAE. Entretanto, na etapa final do ciclo a planta passou a investir mais nas estruturas reprodutivas, que passaram a funcionar como principal dreno, de modo que a MSV (Figura 4C) passou a ser responsável por cerca de 50% da MST (Figura 4D), levando a resultados semelhantes aos relatados anteriormente na MSV, com maiores perdas em decorrência da restrição hídrica por 25 dias.

Resultados similares aos nossos foram obtidos por Freitas et al. (2014) no feijão-caupi sob efeito de veranicos nos sistemas de plantio direto e convencional, nos quais verificaram ampliação lenta no acúmulo de MST nos primeiros 30 dias após o semeio (DAS). Após esse período, ocorreu nos tratamentos sem veranicos, intenso acúmulo de MST até aproximadamente 54 DAS, com posterior tendência à estabilização no final do ciclo da cultura.

Urchei et al. (2000) verificaram maior incremento no acúmulo de MST do feijão-caupi no sistema de plantio direto, em decorrência do aumento da disponibilidade de umidade nesse sistema. Esses autores, também verificaram que no plantio direto houve menor evaporação da água devido à presença de palhada que minimizou da temperatura do solo e promovendo maior desenvolvimento das plantas. Fato que não foi verificado no nosso trabalho, em que os sistemas de plantio não diferiram entre si sobre as variáveis relacionadas ao crescimento das plantas.

O déficit hídrico afeta praticamente todos os processos relacionados ao crescimento da parte aérea e da raiz (Hsiao, 1990) reduzindo a expansão foliar, a condutância estomática, a fotossíntese e, conseqüentemente, resultando no baixo acúmulo de matéria seca (DAMATTA, 2007).

As taxas de crescimento absoluto (TCA) e de assimilação líquida (TAL) apresentaram comportamentos similares ao longo do ciclo. Essas taxas, ilustraram um crescimento inicial lento em todos os tratamentos até próximo dos 28 DAE (Figura 5A e 5C).

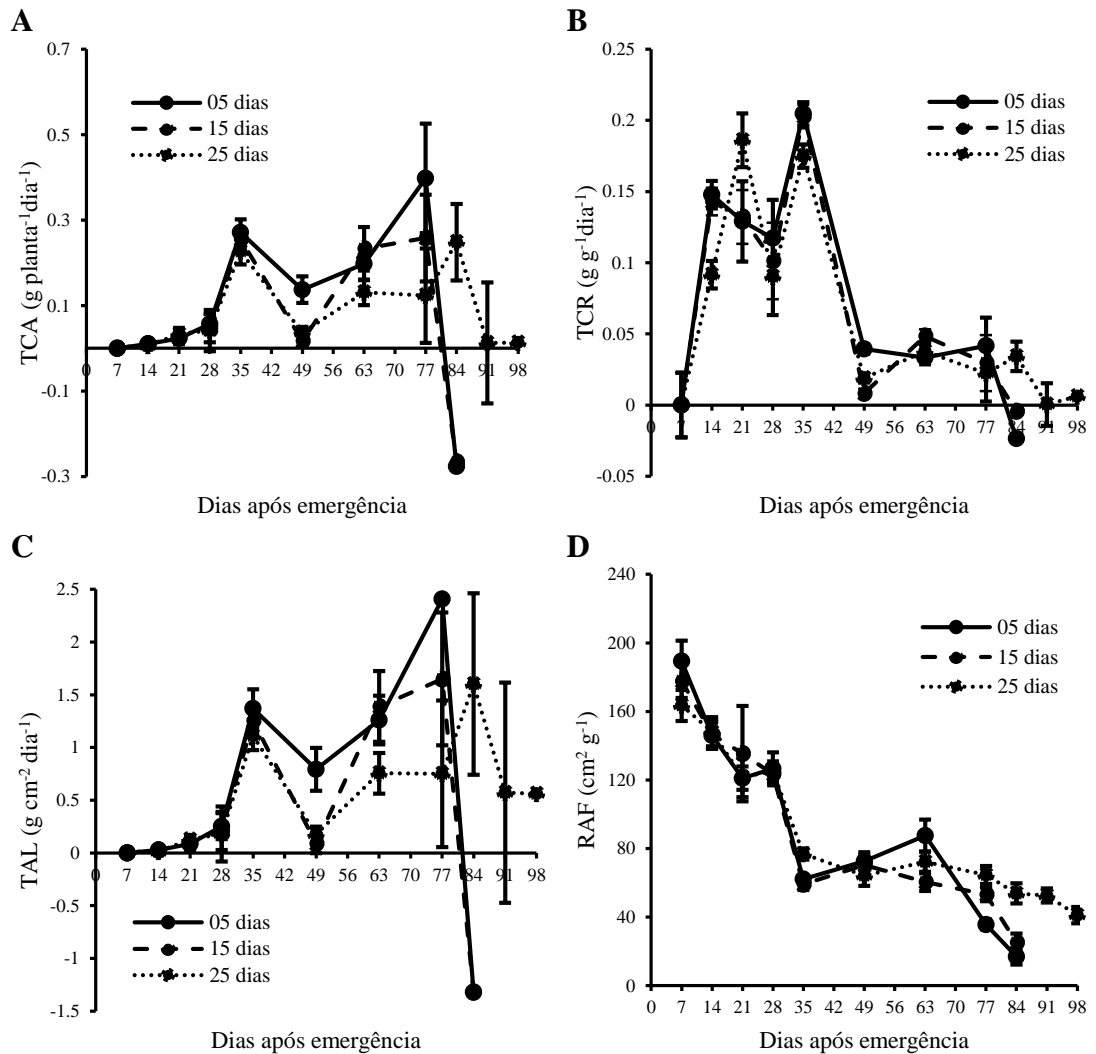


Figura 5 - Taxas de crescimento absoluto (A), de crescimento relativo (B) e assimilatória líquida (C) e razão de área foliar (D) do feijoeiro sem restrição (05 dias) e submetido a 15 e 25 dias de restrição hídrica.

A partir desse período, houve intenso acúmulo na matéria seca até por volta dos 35 DAE, a partir do qual se verificaram reduções bruscas e posteriores aumentos acentuados nessas fitomassas até atingirem o ponto máximo, ocasião em que começou a se observar tendência de queda até ao final do ciclo. Com essa tendência de queda alcançaram-se valores negativos, provavelmente devido à translocação dos fotoassimilados para os órgãos reprodutivos em substituição do crescimento e, principalmente, à desfolha das plantas com o final do ciclo vital da cultura.

A partir dos 35 DAE, as restrições hídricas de 15 e 25 dias tiveram declínio acentuado nas TCA e TAL, as quais alcançaram valores próximo de zero até por volta dos 49 DAE. Esse declínio pode ter ocorrido porque aquando da restrição as plantas

permaneceram em repouso fisiológico e cessaram o crescimento, prevalecendo a translocação dos fotoassimilados para as raízes e órgãos circunvizinhos em substituição ao crescimento. Em seguida, ainda que em proporções distintas, com o retorno da irrigação esses tratamentos retomaram acúmulo de matéria seca até entre 77 e 84 DAE, quando então, ocorreu queda até a colheita.

A TAL reflete o incremento de material vegetal por unidade de área foliar ao longo do tempo, ou seja, indica a eficiência de uma planta na produção de matéria seca. Segundo Benincasa (2004) a TAL representa o balanço entre o material produzido pela fotossíntese, subtraindo as perdas pela respiração, o que permite estimar a fotossíntese líquida. Essa taxa sofre grande influência dos fatores ambientais, sobretudo da radiação solar, além do IAF, do balanço hídrico e das condições intrínsecas da planta (PEIXOTO & PEIXOTO; BENINCASA, 2004).

Os maiores valores de assimilação líquida foram observados na fase reprodutiva, com tendência de decréscimos no final do ciclo de vida da cultura. Essa tendência foi evidenciada em todos os tratamentos avaliados até a colheita devido a redução no acúmulo de matéria seca no final do ciclo (Hunt et al., 2002), além da senescência das plantas com o final do ciclo. Além disso, Singh (2004) afirma que o decréscimo no acúmulo de massa seca em condições de deficiência hídrica está associado à redução da área foliar.

A taxa de crescimento relativo (TCR) teve tendência semelhante em todos os tratamentos (Figura 5B). Para Magalhães (1985) a TCR é a medida mais apropriada para avaliação do crescimento vegetal, pois depende da quantidade de matéria seca acumulada gradativamente. Esse índice fisiológico varia ao longo do ciclo vegetal, visto que é dependente de outros fatores de crescimento, no caso a RAF e a TAL.

Entre 07 e 14 DAE, observou-se acúmulo acentuado na matéria seca em todos os tratamentos, seguido de declínio até aproximadamente 28 DAE. Na sequência, retomou-se o incremento acentuado até próximo dos 35 DAE, que foi mais notório nos tratamentos sem restrição e com restrição de 15 dias. Depois desse período, houve declínio drástico até aos 49 DAE, quando então, ocorreu redução gradativa até ao final do ciclo da cultura. Essa queda na TCR ocorreu possivelmente porque logo depois dos 35 DAE as plantas passaram a investir em estruturas reprodutivas, isto é, em termos de gasto energético, além de crescer, as plantas desprendem mais energia para manter as estruturas já formadas. Por outro lado, o tratamento que permaneceu sem

suprimento na irrigação por 25 dias mostrou ligeiro atraso no acúmulo de matéria seca, embora tenha seguido o mesmo comportamento.

Freitas et al. (2014) sugerem que aumentos e declínios sucessivos na TCR ao longo do ciclo das culturas ocorrem em virtude de aumentos e declínios verificados na TAL. Esses autores, consideram ainda, esta diminuição como sendo decorrente, também, da redução da RAF. Ademais, sucessivas diminuições na TCR verificadas ao longo do ciclo do feijão ocorreram pelo aumento da atividade respiratória e pelo auto-sombreamento (URCHEI et al., 2000). Esses autores, indicam, também, que o crescimento se torna negativo no final do ciclo da cultura, devido a morte de folhas e gemas.

A razão de área foliar (RAF) representa a área foliar útil para a fotossíntese, o que reduziu em todos os tratamentos com o desenvolvimento da cultura (Figura 5D). De acordo com Hunt (1982) os valores da RAF, normalmente, declinam com o crescimento das plantas. No tratamento mantido sem restrição hídrica verificou-se estabilização entre os 35 e 63 DAE, seguido de declínio acentuado até a colheita. Esse declínio observado na RAF com o crescimento da planta, pode ter ocorrido em virtude do surgimento de estruturas reprodutivas, como flores e vagens, que passaram a funcionar como drenos preferenciais dos fotoassimilados, do aumento da abscisão foliar e da redução da quantidade desses assimilados para a emissão de novas folhas (COSTA et al., 1997).

De acordo com Peixoto & Peixoto (2004) a RAF declina com o crescimento ao longo do tempo em função do auto-sombreamento, já que com o crescimento, aumenta a interferência de folhas superiores sobre as inferiores, reduzindo a área foliar fotossinteticamente ativa (área foliar útil) para a produção de matéria seca. Para esses autores, a RAF varia com a área foliar específica (AFE) e a razão de massa de folha (RMF), o que significa que qualquer variação em um deles (ou nos dois) implicará em alterações na RAF. Nossos resultados corroboram com os obtidos por Linhares et al. (2014) e Freitas et al. (2014) em feijão-caupi, Antônio (2013) no tomateiro, Benincasa (2003) na soja e, Morreira (1993) no feijoeiro, nos quais a RAF reduziu ao longo das avaliações em virtude do auto-sombreamento que tende a aumentar à medida que a planta cresce.

Nóbrega et al. (2001) ao estudarem o crescimento do feijoeiro em diferentes níveis de umidade do solo, constaram que os maiores valores da RAF foram obtidos nos tratamentos com redução nos níveis de água. Para esses autores, tal

comportamento resultou, provavelmente, na redução da resistência estomática, o que possibilitou maior taxa de área foliar útil para a fotossíntese. Entretanto, Moreira (1993) constatou decréscimo na RAF do feijoeiro com o aumento da tensão da água do solo. Para esse autor, tal resultado ocorreu devido à redução da área foliar e da matéria seca total da planta.

4.2. Componentes de produção

Não houve diferenças significativas entre os sistemas de plantio, nem interação entre os fatores sistemas de plantio e períodos de restrição hídrica sobre os componentes de produção do feijoeiro avaliados. Contudo, os períodos de restrição hídrica promoveram efeitos significativos sobre o número de vagens por planta (NVP) e a produtividade de grãos (PG), embora não influenciaram o número de grãos por vagem (NGV) e massa de cem grãos (MCG) (Tabela 2).

O déficit hídrico causado pelo tratamento com restrição hídrica de 25 dias reduziu o número de vagens em 19% e a produtividade em 36% em relação ao tratamento sem restrição hídrica. Essa redução pode ter ocorrido em decorrência da maior duração e severidade do déficit hídrico nesse tratamento, o que provavelmente promoveu maior taxa de abscisão de botões florais e vagens jovens, reduzindo a produtividade. Logo, as plantas desse tratamento investiram mais no aprofundamento do sistema radicular como mecanismo de tolerância ao déficit hídrico (Tabela 3), o que explica a queda da produtividade inferior à esperada, considerando a maior duração da restrição hídrica. Além disso, não se verificou diferenças significativas entre os tratamentos sem restrição e com restrição hídrica por 15 dias, o que indica que o cultivar utilizado possibilitou a tolerância ao déficit hídrico por esse período.

A literatura é unânime ao considerar o NVP como um dos principais, senão o principal componente que exerce grande influência no rendimento do feijão, além de apresentar correlação significativa e positiva com o rendimento, embora não se tenha determinado a correlação neste trabalho. Como resultado disso, Nascimento et al. (2004) constataram em feijão-caupi que esse componente de produção foi o mais negativamente afetado em diferentes níveis de déficit hídrico em relação aos demais componentes de produção avaliados.

Tabela 2 - Número de vagens por planta (NVP), de grãos por vagem (NGV), massa de cem grãos (MCG, g) e produtividade de grãos (PG, kg ha⁻¹) do feijoeiro sem restrição (05 dias) e submetido a 15 e 25 dias de restrição hídrica em plantio direto e convencional.

Sistemas de plantio	Períodos de restrição hídrica			
	5 dias	15 dias	25 dias	Média
Número de vagens por planta				
Convencional	16,24	16,36	14,80	15,80 ^{ns}
Direto	16,39	15,11	11,76	14,42
Média	16,32a	15,74a	13,26b	15,11
CV (%)	9,35			
Número de grãos por vagem				
Convencional	3,74	4,00	3,87	3,87 ^{ns}
Direto	4,02	4,15	3,30	3,82
Média	3,88a	4,08a	3,58a	3,85
CV (%)	13,53			
Massa de cem grãos (g)				
Convencional	29,80	29,73	27,58	29,04 ^{ns}
Direto	28,74	27,52	27,58	27,95
Média	29,27a	28,62a	27,58a	28,49
CV (%)	8,12			
Produtividade de grãos (kg ha⁻¹)				
Convencional	2.761,75	2.934,32	1.986,76	2.560,94 ^{ns}
Direto	2.955,96	2.538,54	1.663,06	2.385,86
Média	2.858,86a	2.736,43a	1.824,91b	2.473,40
CV (%)	13,32			

Médias seguidas pela mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; ns = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Martins et al. (2017) verificaram redução em 8, 21 e 39% para o NVP de feijoeiro cultivado em Latossolo Vermelho-Amarelo quando submetida a níveis de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, em relação às plantas não submetidas ao déficit hídrico. Esses autores, também verificaram em Argissolo Vermelho-Amarelo redução na ordem de 14, 29 e 45%, respectivamente, quando as plantas foram submetidas àqueles níveis de déficit hídrico anteriormente mencionados. Esses autores, indicaram que tal redução ocorreu em virtude do abortamento de flores e vagens, além da redução da taxa de fecundação que pode ocorrer em função da restrição hídrica durante o desenvolvimento da cultura. Entretanto, Bizari et al. (2009) constataram efeito significativo entre os sistemas de plantio, com maior número de vagens no sistema direto em relação ao convencional. Nossos resultados também

diferem dos obtidos por Ferreira, 2017; Cunha, 2009; Santana et al., 2008; Jadoski et al., 2003 nos quais não houve interação para o NVP.

Embora o déficit de maior duração (restrição hídrica de 25 dias) tenha resultado em redução expressiva no rendimento do feijoeiro, a produtividade nesse tratamento esteve próximo à média da região do feijão irrigado (terceira safra) que é de 2.600,00 kg ha⁻¹ (CONAB, 2018), fato que pode ser atribuído ao tipo de solo da área experimental (argisolo vermelho-amarelo), que provavelmente, possibilitou maior retenção de água nas camadas mais profundas do solo, o que favoreceu a cultura nessa condição.

De acordo com Aguiar et al. (2014) deficiência hídrica nas diversas fases do ciclo das culturas é considerada uma das principais causas da redução da produtividade, o que indica que esta (deficiência hídrica), apenas é superada pela ocorrência de doenças. Andrade et al. (2002) em feijão-caupi, e Garrido (1998) em feijoeiro, verificaram nas maiores e nas menores lâminas de água redução no NVP e produtividade. Esses autores, mostraram que essas variáveis apresentaram correlação positiva entre elas. Bizare et al. (2009) obtiveram maior produtividade no sistema direto, que foi cerca de 36,2% superior ao convencional, fato não constatado neste trabalho em que os sistemas de plantio não diferiram entre si. Não obstante, Silveira & Stone (2002); Kluthcouski et al. (2000) obtiveram maior produtividade de grãos de feijão no preparo convencional em relação ao plantio direto durante oito anos.

Os períodos de restrição hídrica não influenciaram o NGV e a MCG. Portanto, nossos resultados sugerem que estas variáveis sofrem menos influencia do manejo e do ambiente de cultivo (CRUSCIOL et al., 2003), os quais corroboram com os obtidos por Bizari et al. (2009); Meira et al. (2005); Costa et al. (2004); Andrade et al. (2002).

4.3. Características de raízes

As raízes não foram influenciadas pelos sistemas de plantio, nem pela interação entre os fatores sistemas de plantio e períodos de restrição hídrica. Porém, houve efeito significativo dos períodos de restrição hídrica sobre as raízes (Tabela 3).

Tabela 3 - Comprimento de raízes (CR, cm), profundidade de raízes (PR, cm), volume de raízes (VR, mL/planta) e matéria seca de raízes (MSR, g/planta) do feijoeiro sem restrição (05 dias) e submetido a 15 e 25 dias de restrição hídrica em plantio direto e convencional.

Sistemas de plantio	Períodos de restrição hídrica			
	5 dias	15 dias	25 dias	Média
Comprimento de raízes (cm)				
Convencional	20,55	25,11	26,90	24,19 ^{ns}
Direto	21,66	22,66	25,65	23,32
Média	21,11b	23,88ab	26,27a	23,75
CV (%)	10,43			
Profundidade de raízes (cm)				
Convencional	16,38	19,36	21,67	19,14 ^{ns}
Direto	16,34	17,72	19,47	17,84
Média	16,36b	18,55ab	20,57a	18,49
CV (%)	11,96			
Volume de raízes (mL)				
Convencional	4,25	5,63	7,33	5,74 ^{ns}
Direto	3,44	5,94	7,63	5,67
Média	3,85b	5,78ab	7,48a	5,71
CV (%)	36,12			
Matéria seca de raízes (g planta⁻¹)				
Convencional	1,12	1,48	1,58	1,39 ^{ns}
Direto	1,30	1,41	1,89	1,53
Média	1,21b	1,45ab	1,74a	1,46
CV (%)	19,27			

Médias seguidas pela mesma letra, na linha, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; ns = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

O tratamento com restrição hídrica por 25 dias aumentou o comprimento, profundidade, volume e matéria seca de raízes em relação ao tratamento mantido sem restrição hídrica na ordem de 20%, 20%, 49% e 30%, respectivamente. Esse aumento no desenvolvimento de raízes ocorreu provavelmente em virtude da limitação hídrica no solo induzir a síntese do ácido abscísico nas raízes, que por via de sinalização é percebido na parte aérea, promovendo o crescimento das raízes pela inibição da síntese de etileno durante a deficiência hídrica, inibindo assim o crescimento da parte aérea (TAIZ & ZEIGER, 2013).

De acordo com Taiz & Zeiger (2013) déficit hídrico moderado a prolongado, em algumas espécies, possibilita que as plantas paralise o seu metabolismo, o que as permite o investimento em raízes, favorecendo o seu acúmulo de matéria seca. Esse crescimento de raízes em condições de déficit hídrico pode ocorrer, também, devido à alocação dos fotoassimilados para os ápices radiculares em redução da expansão foliar que diminui o consumo de carbono e energia.

O estímulo ao crescimento de raízes em consequência do déficit hídrico demonstra que períodos de restrição hídrica na fase vegetativa mediante prolongamento no turno de rega, podem ser interessantes no sentido de promover crescimento e aprofundamento do sistema radicular, tornando a cultura menos vulnerável à ocorrência do déficit durante as fases em que esta é mais sensível ao estresse por deficiência hídrica, como o florescimento e enchimento de grãos e, ainda, melhorar a área de exploração do sistema radicular para absorção de nutrientes.

Nossos resultados corroboram com os obtidos por Lima et al. (2016) e Vale et al. (2012) em que a restrição de maior duração induziu as plantas ao crescimento de raízes. Todavia, diferem dos obtidos por Lopes et al. (2009) e Singer et al. (2007) nos quais constataram maior capacidade de aprofundamento e desenvolvimento do sistema radicular do feijão-caupi no preparo convencional em relação ao plantio direto devido as operações realizadas no preparo do solo. Para esses autores, quando as plantas foram submetidas ao déficit hídrico reduziram substancialmente a proporção de raízes nas camadas superficiais do solo, investindo no aprofundamento do sistema radicular, podendo ser, em algumas espécies, um dos mecanismos de tolerância à seca (COSTA et al.,1997).

4.4. Consumo e eficiência no uso da água

Houve interação entre os fatores sistemas de plantio e períodos de restrição hídrica sobre as variáveis relacionadas ao consumo de água, cujos desdobramentos estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 - Consumo de água (CA, mm) e eficiência no uso da água (EUA, kg m⁻³) do feijoeiro sem restrição (05 dias) e submetido a 15 e 25 dias de restrição hídrica em plantio direto (PD) e convencional (PC).

Períodos de restrição hídrica	CA (mm)		EUA (kg m ⁻³)	
	PD	PC	PD	PC
05 dias	252,59aB	313,25aA	1,17aA	0,87aB
15 dias	238,97aB	299,64aA	1,06aA	0,98aB
25 dias	217,31bB	278,59bA	0,77bA	0,71bA
Média	236,29	297,16	1,00	0,85
CV (%)	4,80		14,54	

Médias seguidas de letras distintas, minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas, diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Houve maior consumo de água no preparo convencional em relação ao plantio direto na palha. Se levarmos em conta os dados obtidos no tratamento sem restrição

hídrica (cinco dias), a lâmina total de água aplicada ao preparo convencional foi de 313,25 mm, quantidade essa que foi 24,01% superior à aplicada no sistema direto, que foi de 252,59 mm, gerando economia de 60,66 mm ha⁻¹. Esta economia pode ser atribuída à presença da cobertura morta promovida pela palhada no sistema de plantio direto, que possibilitou a redução de perdas de água por evaporação, o que permitiu a manutenção de umidade por mais tempo.

A Organização das Nações Unidas (ONU) considera que o consumo ideal necessário por pessoa mensalmente é de 3,3 m³, o que indica que a economia gerada em 1,0 ha em um ciclo da cultura no sistema direto é suficiente para abastecer 36,76 famílias compostas por cinco membros durante 30 dias.

Resultados semelhantes aos nossos foram obtidos por Bizari et al. (2009); Stone (2005); Andrade et al. (2002) e Stone & Moreira (2000) nos quais constataram economia de água no feijoeiro no plantio direto com palhada em relação ao preparo convencional, variando de 14 a 30%. Da mesma forma, Teófilo et al. (2012) ao avaliarem o efeito dos sistemas de plantio e estratégias de manejo de plantas daninhas na economia de água de irrigação no melão. Esses autores, verificaram que a cobertura do solo com filme de polietileno no preparo convencional e no plantio direto e a palhada no plantio direto reduziram o consumo de água em 23%, 21% e 13%, respectivamente, em relação ao tratamento com capinas no plantio convencional.

Com relação a EUA, que reflete a relação entre a quantidade produzida e o volume de água aplicada, o sistema direto mostrou-se mais eficiente, independentemente da condição hídrica (Tabela 4). Entretanto, ao se levar em consideração o tratamento sem restrição na irrigação constata-se que o cultivo no SPD elevou a EUA em 34,48% em relação ao preparo convencional, com índices de 1,17 kg m⁻³ e 0,87 kg m⁻³, respectivamente.

De maneira semelhante, Arf et al. (2004) em estudo sobre lâminas de irrigação e coberturas do solo no feijoeiro, obtiveram valores próximos aos do presente estudo, nos quais mesmo aplicando lâminas de irrigação próximas a 300 mm, verificaram produtividades semelhantes às maiores lâminas de irrigação aplicadas. Ademais, Bizari et al. (2009) e Andrade et al. (2002) também verificaram maior EUA no sistema direto com palhada, tendo obtido valores acima de 1,000 kg m⁻³, valores esses próximos dos obtidos no presente estudo. Isso mostra a importância da palhada no SPD que contribui para a redução de perdas de água por evaporação e manutenção de água disponível no solo para as plantas.

Entretanto, Santos et al. (2017) ao avaliarem a EUA em três cultivares de feijão-caupi sob déficit hídrico, constataram que não houve efeito significativo para essa variável, indicando que restrição hídrica por até 16 dias a partir da floração não alterou a EUA nas cultivares utilizadas.

Embora não tenha sido verificado neste trabalho efeito dos sistemas de plantio sobre aspectos relacionados ao crescimento e à produtividade do feijoeiro, o cultivo no sistema de plantio direto proporcionou economia de água e eficiência no uso da água na ordem de 24,01% e 34,48%, respectivamente, em relação ao preparo convencional, possibilitando economia de água de irrigação sem comprometer a produtividade.

5. CONCLUSÕES

A produtividade do feijoeiro reduz em resposta à incrementos na duração da deficiência hídrica. Ademais, os resultados obtidos sugerem também que o déficit hídrico aplicado no início do ciclo de vida do feijoeiro induz o aprofundamento do sistema radicular nessas plantas. Em síntese, o feijão cultivado com restrição hídrica no sistema de plantio direto proporciona economia de água e aumenta a eficiência de uso da água em relação ao sistema convencional de plantio.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, A. T. E.; GONÇALVES, C.; PATERNIANI, M. E. A. G. Z.; TUCCI, M. L. S.; CASTRO, C. E. F. **Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas**. Boletim 200, 7ª ed. Instituto Agrônomo de Campinas, p. 170-172, 2014.

ALVES, M. C.; CARVALHO, M. P.; SOUZA, E. J. Manejo do solo. In: Orivaldo Arf et al. 2015. **Aspectos gerais da cultura do feijão *Phaseolus vulgaris* L.** – Botucatu: FEPAF, p. 433, 2015.

ANDRADE, M. J. B. Clima e Solo. In: VIEIRA, C.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. (Eds.) **Feijão: Aspectos gerais e cultura no estado de Minas**. Viçosa: UFV, cap. 4, p. 83-98, 1998.

ANDRADE, M. J. B. Cultura do Fejoeiro. In: SCORSOLINI-COMIN, F. (Org.). **Aperfeiçoamento em agronegócio**. Ribeirão Preto – SP: INEPAD, v. 2, p. 48-62, 2010.

ANDRADE, M. J. B.; CARVALHO, A. J.; VIEIRA, N. M. Exigências Edafoclimáticas. In: VIEIRA, C.; PAULA JUNIOR, T. J.; BORÉM, A. **Feijão: aspectos gerais e cultura no Estado de Minas Gerais**. Viçosa: Editora UFV, ed. 2, p. 67-81, 2006.

ANTÔNIO, A. C. **Respostas ecofisiológicas do tomateiro no sistema Viçosa comparativamente a sistemas tradicionais em duas épocas de cultivo**. Viçosa, MG, UFV, (Tese Doutorado) p. 60, 2013.

ARAÚJO, G. A. A.; CAMELO, G. N. Preparo do solo e plantio. In: CAENEIRO, J. E. S.; PAULA JUNIOR, T. J.; BORÉM, A. **Feijão: do plantio a colheita**. Viçosa: Editora UFV, p. 115-144, 2015.

ARAÚJO, S. R.; RAVA, C. A.; STONE, L. F.; ZIMMERMANN. **Cultura do fejoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: POTAFOS, p. 1-21, 1996.

ASAE - AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. Terminology and definitions for soil tillage and soil tool relationships. **ASAE Standards 1982**, Saint Joseph, v. 52, p.130-132, 2005.

BARRETO, A. F.; BARBOSA J. K. A. Mecanismos de resistência à seca que possibilitam a produção em condições do semi – árido nordestino. In: 3º Simpósio Brasileiro de Captação de Água de Chuva no Semi-Árido, 8, Campina Grande, 2001, **Anais eletrônicos...** Disponível em <http://www.abcmac.org.br/files/simpodio/3simp_artur_mecanismoederesistenciaaseca>

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

BENATTI Jr., R.; FRANÇA, G. V. & MOREIRA, C. A. Manejo convencional e reduzido em quatro tipos de solos na cultura do milho em São Paulo. Campinas, Fundação Cargill, p. 68, 1983.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de Crescimento de Plantas** (noções básicas). Jaboticabal. FUNEP, p. 42, 2004.

BENINCASA, M. M. P. **Análise de crescimento de plantas: noções básicas. Jaboticabal:** Funep, 2 ed. p. 41, 2003.

BERTOL, I.; BEUTLER, J.F.; LEITE, D. & BATISTELA, O. Propriedades físicas de um Cambissolo Húmico afetadas pelo tipo de manejo do solo. **Sci. Agric.**, 58:555-560, 2001.

BINOTTI, F. F. S. Descrição e fisiologia da planta. In: Orivaldo Arf et al. 2015. **Aspectos gerais da cultura do feijão *Phaseolus vulgaris* L.** – Botucatu: FEPAF, p. 433, 2015.

BIZARI, D. R.; MATSURA, E. E.; ROQUE, M. W.; SOUZA, A. L. Consumo de água e produção de grãos do feijoeiro irrigado em sistemas plantio direto e convencional. **Ciência Rural**, 39: 2073-2079, 2009.

BORÉM, A.; CARNEIRO, J. E. S. A Cultura. In: CARNEIRO, J. E. S.; PAULA JUNIOR, T. J.; BORÉM, A. **Feijão do plantio à colheita: a cultura**. Viçosa: Editora UFV, p. 9-14, 2015.

CAMERON, K. D.; TEECE, M. A.; SMART, L. B. Increased accumulation of cuticular wax and expression of lipid transfer protein in response to periodic drying events in leaves of tree tobacco. **Plant physiology**, Rockville, v. 140, n. 1, p. 176-183, Jan 2006.

CAMPOS, G. W. B. **Comportamento de variedades de soja submetidas ao estresse hídrico**. Goiás, UniRV (Dissertação), p. 60, 2016.

CARRIGAN, L.; FREY, K. J. Root volumes of Avena species. **Crop Science**, v. 20, p. 407 - 408, 1980.

CHEN, W. P.; LI, P. H.; CHEN, T. H. H. Glycinebetaine increases chilling tolerance and reduces chilling-induced lipid peroxidation in *Zea mays* L. **Plant Cell & Environment**, Oxford, v. 23, n. 6, p. 609-618, June 2000.

COBUCCI, T. Manejo integrado de plantas daninhas em sistemas de plantio direto. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Manejo Integrado Fitossanidade: cultivo protegido, pivô central e plantio direto**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, p. 583-624, 2001;

COELHO, M. E. H.; FREITAS, F. C. L.; CUNHA, J. L. X. L.; SILVA, K. S.; GRANGEIRO, L. C.; OLIVEIRA, J. B. Coberturas do solo sobre a amplitude térmica e a produtividade de pimentão. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 31, n.2, p. 369-378, 2013.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS – CFSEMG. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais – 5a Aproximação**. Viçosa, MG, 1999. 359 p.

CONAB (Brasil). **Companhia Nacional de Abastecimento**. v. 11, Safra 2017/18, Brasília, p. 1-148, 2018. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/>> Acesso em: 22 dez. 2018.

COSTA, M. M. M. N.; TÁVORA, F. J. A. F.; PINTO, J. L. N.; MELO, F. I. O. Produção, componentes e distribuição das raízes de caupi submetido à deficiência hídrica. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 32, n. 1, p. 43-50, 1997.

CRUSCIOL, C. A. C.; LIMA, E. D.; ANDREOTTI, M.; NAKAGAWA, J.; LEMOS, L. B.; MARUBAYASHI, O. M. Efeito do nitrogênio sobre a qualidade fisiológica, produtividade e características de sementes de feijão. **Revista Brasileira de Sementes**, Brasília, v. 25, n. 1, p. 108-115, 2003.

CUNHA, P. C. R.; ALVES JÚNIOR, J.; SILVEIRA, P. M.; NASCIMENTO, J. L. **Manejo de irrigação do feijoeiro cultivado em sistema de plantio direto no sistema integrado lavoura-pecuária**. Dissertação (mestrado): Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2009.

CUNHA, P. C. R.; SILVEIRA, P. M.; NASCIMENTO, J. L.; ALVES JÚNIOR, J. Manejo da irrigação no feijoeiro cultivado em plantio direto. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.7, p.735-742, 2013.

CUNHA, W. G.; RAMALHO, M. A. P.; ABREU, A. F. B. Selection aiming at upright growth habit common bean with carioca type grains. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 5, n. 4, p. 379-386, 2005.

DA SILVA, J. M. Variabilidade espacial do Ph, P, K E Mo cultivado com soja sob preparo convencional. **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, v. 9, n. 4, 2012.

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

DOORENBOS, J.; KASSAN, A. H. **Crop response to water**. Roma: FAO, 194p. (FAO, irrigation and Drainage Paper, 33), 1979.

DOURADO NETO, D.; FANCELLI, A. L. **Produção de feijão**. Guaíba: Agropecuária, p. 385, 2000.

DUARTE JÚNIOR, J. B. **Avaliação agronômica da cana-de-açúcar, milho e feijão em sistema de plantio direto em comparação ao convencional**. Tese

(Doutorado em Produção Vegetal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Goytacazes-RJ, 284 f, 2006.

EMBRAPA SOLOS. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Brasília-DF, 2013, 3 ed. 353p. EMBRAPA ARROZ E FEIJÃO, Goiânia, GO. Home Page. 2012. Disponível em: <<http://www.cnpaf.embrapa.br/socioeconomia/index.htm>>. Acesso em: 12 fev. 2018.

ETENE - Escritório Técnico de Estudos Econômicos do Nordeste. ano 2, nº 19, novembro, 2017.

FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; JONES, C. A. Common bean and cowpea. In: FAGERIA, N. K.; BALIGAR, V. C.; JONES, C. A. Growth and mineral nutrition of field crops. New York: Maecel Dekker, p. 280-318, 1991.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. Ecofisiologia: implicações práticas de manejo. In: FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. (Ed.) **Sistemas de produção de feijão irrigado**. Piracicaba: Departamento de Produção Vegetal/ESALQ/USP, p. 196-211, 2001.

FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D. **Tecnologia da produção do feijão irrigado**. Piracicaba: ESALQ/USP, p. 158, 1997.

FREITAS, R. M. O.; DOMBROSKI, J. L. D.; FREITAS, F. C. L.; NOGUEIRA, N. W.; PINTO, J. R. S. Cowpea growth as affected by dry spell in no-tillage and conventional crop systems. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 30, n. 2, p. 393-401, Mar./Apr. 2014.

FRITSCHÉ-NETO, R.; VALE, J. C.; CAVATTE, P. C. **Melhoramento para tolerância a estresses ou para eficiência no uso de recursos**. In: FRITSCHÉ-NETO, R.; BORÉM, A. Melhoramento de Plantas para Condições de Estresses Abióticos. Visconde do Rio Branco: Suprema, p. 30-38, 2011.

GABRIEL FILHO, A.; PESSOA, A. C. S.; STROHHAECKER, L.; HELMICH, J. J. Preparo convencional e cultivo mínimo do solo na cultura de mandioca em condições de adubação verde com ervilhaca e aveia preta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 30, n. 6, p. 953-957, 2000.

GALVÃO, J. D.; RODRIGUES, J. J. D.; PURÍSSIMO, C. Sistemas de plantio direto e convencional, na cultura de feijão da seca, em Viçosa, Minas Gerais. **Revista Ceres**. Viçosa, v. 28, n. 158, p. 412-416, 1981;

GARRIDO, M. A. T. **Respostas do feijoeiro às lâminas de água e adubação nitrogenada**. Lavras, UFLA, (Tese Doutorado), p. 205, 1998.

GASSEN, J. R. F.; ALONÇO, A. S.; BAUMHARDT, U. B.; BELLÉ, M. P.; BONOTTO, G. J. Resistência específica à tração na operação de escarificação do solo em camadas de forma simultânea. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 1, p.116-124, 2014.

GEPTS, P; DEBOUCK, D. Origin, domestication and evolution of the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). In: VAN SCHOONHOVEN, A.; VOYSEST, O. (Ed.), Common bean: **Research for crop improvement**. Cali: CIAT, p. 7-53, 1991.

GUIMARÃES, C. M. **Características morfofisiológicas do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) relacionadas com a resistência à seca**. Campinas, p. 131, (Tese D.S.), 1992.

GUIMARÃES, C. M. Relações hídricas. In: ARAÚJO, R. S.; RAVA, C. A.; STONE, L. F.; ZIMMERMANN, M. J. O. (Coord.). Cultura do feijoeiro comum no Brasil. Piracicaba: **Potafos**, cap. 2, p. 139-167, 1996.

GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F.; BRUNINI, O. Adaptação do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) à seca. II. Produtividade e componentes agrônômicos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.31, n.7, p. 481-488, 1998.

HSIAO, T. C. Measurements of plant water status. In: STEWART, B. A.; NIELSEN, D. R. **Irrigation of agricultural crops**. New York: American Society of Agronomy, p. 244-280, 1990.

HUNT, R. **Plant growth curves the functional approach to plant growth analysis**. Ed. Edward Arnold, Londres, p. 248, 1982.

INOUE, T. T.; ARAÚJO, M. A.; TORMENA, C. A.; ESTEVES, N.; MIGNOSO, V.; LEITE, J. C. Influência da escarificação em propriedades físicas de

um Latossolo Vermelho distroférico após 13 anos de plantio direto. In: Reunião brasileira de manejo e conservação do solo e da água, 14., Cuiabá, 2002. **Resumos Expandidos**. Cuiabá: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002.

JIANG, M.; ZHANG, J. Involvement of plasma membrane NADPH Oxidase in abscisic acid- and water stress induced antioxidant defense in leaves of maize seedlings. **Planta**, Berlim, v. 215, n. 6, p. 1022-1030, Oct. 2002.

KLUTHCOUSKI, J.; FANCELLI, A. L.; DOURADO NETO, D.; RIBEIRO, C. M.; FERRARO, L. A. Manejo do solo e o rendimento de soja, milho, feijão e arroz em plantio direto. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.57, n.1, p. 97-104, 2000.

KRINSKI, S. A. **Arranjos espaciais para o feijoeiro em semeadura direta**. Parana, UFPR (Dissertação), p. 70, 2001.

KUTOS, T.; GOLOB, T.; KAC, M.; PLESTENJAK, A. Dietary fibre content of dry and processed beans. **Food Chemistry**, Barking, v. 80, n. 2, p. 231-235, 2003.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: RiMa, p. 529, 2000.

LEITE, M. L.; VIRGENS FILHO, J. S. Produção de matéria seca em plantas de caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp) submetidas a déficits hídricos. **Ciências Exatas e da Terra, Ciências Agrárias e Engenharias**, v. 10, n. 1, p. 43-51, 2004.

LIBARDI, V. C. M. **Efeitos de diferentes níveis de irrigação e do déficit hídrico na produção do feijoeiro**. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, p. 49, 1996.

LIMA, M. F. P., DOMBROSKI, J. L. D.; FREITAS, F. C. L.; PINTO, J. R. S.; SILVA, D. V. Weed growth and dry matter partition under water restriction. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 34, n. 4, p. 701-707, 2016.

LINHARES, C. M. S.; FREITAS, F. C. L.; SILVA, K. S. LIMA, M. F. P.; DOMBROSKI, J. L. D. Crescimento do feijão-caupi sob efeito dos herbicidas fomesafen e bentazon+imazamox. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 27, n. 1, p. 41 – 49, 2014.

LOPES, J. P.; MACHADO, E. C.; DEUBER, R.; MACHADO, R. S. Análise de crescimento e trocas gasosas na cultura de milho em plantio direto e convencional. **Bragantia**, v. 68, n. 4, p. 839-848, 2009.

LOPES, N. F.; OLIVIA, M. A.; GOMES, M. M. S.; SOUZA, V. F. CARDOSO, M. J. Crescimento, morfologia, partição de assimilados e produção de matéria seca do feijão submetido a três densidades de fluxo radiante e dois regimes hídricos. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 34, n. 192, p. 110-124, 1987;

MACHADO, A. L. T.; MACHADO, A. L. T.; REIS, A. V.; MORAES, M. L. B.; ALONÇO, A. S. **Máquinas para preparo de solo, semeadura, adubação e tratamentos culturais**. Pelotas: UFPEL, p. 235, 2005.

MAGALHÃES, A. C. N. **Análise quantitativa do crescimento**. In: FERRI, M. G. Fisiologia vegetal. São Paulo, EPU, V.1, p.363 – 50, 1985.

MAKBUI, S. et al. Changes in anatomical and physiological parameters of soybean under drought stress. **Turkish Journal of Botany**, Ankara, v. 35, n. 4, p. 369-377, Jan 2011.

MANJERU, P.; MADANZI, T.; MAKEREDZA, B.; NCIIZAH, A.; SITHOLE, M. Effects of water stress at different growth stages on components and grain yield of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **African Crop Science Conference Proceedings**, El-Minia, Egypt, v. 8, p. 299-303, 2007.

MANTOVANI, E. C. **Determinação do coeficiente da cultura para o feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) irrigado, em duas épocas de plantio**. Viçosa, UFV, 73p., Tese (M.S.), 1986.

MARTINS, C. A. S. REIS, E. F. TOMAZ, M. A. GARCIA, G. O. Crescimento e produção do feijoeiro comum cultivado sob déficit hídrico. **Water Resources and Irrigation Management**, Bahia, v.6, n.1, p.95-106, Jan.-Apr., 2017.

MATZENAUER, R.; BUENO, A. C.; MALUF, J. R. T. Evapotranspiração máxima e coeficiente da cultura para feijão. IN: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 7. 1991, Viçosa. Resumos... Viçosa: **Sociedade Brasileira de Agrometeorologia**/Universidade Federal de Viçosa, p. 235-236, 1991.

MEIRA, F. A.; SÁ, M. E.; BUZETTI, S.; ARF, O. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio no feijoeiro irrigado cultivado em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 40, n. 4, p. 383-388, 2005.

MENDES, R. M. 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.

MIORINI, T. J. J. **Produtividade do feijoeiro sob supressão de irrigação em diferentes fases fenológicas**. 2012. 111 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2012.

MOREIRA, J. A. A. **Efeitos da tensão água do solo e do parcelamento da adubação nitrogenada, sobre o crescimento e produtividade do feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.)**. Botucatu: UNESP-Campus de Botucatu, Tese de Doutorado, 100 p., 1993.

MUZILLI, O.; VIEIRA, M. J.; ALMEIDA, F. L. S.; NAZARENO, N. R. X. de; CARVALHO, A. O. R.; LAURENTI, A. E. & LLANILO. R. F. Comportamento e possibilidade da cultura do milho em plantio direto no Estado do Paraná. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, 18 (1): 41-47, 1983.

NASCIMENTO, J. L.; STONE, L. F.; OLIVEIRA, L. F. C. Demanda total de água do feijoeiro nos sistemas de plantio convencional e direto. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 31, n. 2, p.159-161, 2001.

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

NASCIMENTO, J. T.; SILVA, I. F.; SANTIAGO, R. D.; SILVA NETO, L. F. Efeito de leguminosas nas características químicas e matéria orgânica de um solo degradado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v.7, n. 3, p. 457-462, 2003.

NASCIMENTO, S. P. **Efeito do déficit hídrico em feijão-caupi para identificação de genótipos com tolerância à seca.** 95f. Dissertação (Mestrado em agronomia) – Universidade Federal do Piauí-UFPI, Teresina, 2009.

NÓBREGA, J. Q.; RAO, T. V. R.; BELTRÃO, N. E. de M.; FIDELIS FILHO, J. Análise de crescimento do feijoeiro submetido a quatro níveis de umidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.5, n.3, p.437443, 2001.

OLIVEIRA, A. D.; FERNANDES, E. J.; RODRIGUES, T. J. D. Condutância estomática como indicador de estresse hídrico em feijão. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 86-95, 2005.

OLIVEIRA, T. K.; CARVALHO, G. J.; MORAES, R. N. S. Plantas de cobertura e seus efeitos sobre o feijoeiro em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 8, p. 1079-1087, 2002;

PEIXOTO, C. P.; PEIXOTO, M. F. S. P. **Dinâmica de crescimento vegetal (princípios básicos).** Cruz das Almas, p. 20, 2004.

PEREIRA, A. L.; MOREIRA, J. A. A.; KLAR, A. E. Efeito de níveis de cobertura do solo sobre o manejo da irrigação do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L). **Irriga**, Botucatu –SP, v.7, n.1, p.42-52, 2002.

PEREIRA, A. R. Simplificando o balanço hídrico de Thornthwaite-Mather. **Bragantia**, Campinas, v. 64, n. 2, p. 311-313, 2005.

PITMAN, W. D. et al. Histological differences in moisture-stressed and nonstressed kleingrass forage. **Crop Science**, Madisson, v. 23, n. 4, p. 793-795, 1983.

R Development Core Team (2014) R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. R Foundation for Statistical Computing, Vienna.

RAMALHO, M. A. P.; SILVA, G. S.; DIAS, L. A. S. Genetic plant improvement and climate changes. **Crop Breeding and Applied Biotechnology**, Viçosa, v. 9, n. 2, p. 189-195, 2009.

RAMIREZ-VALLEJO, P.; KELLY, J. D. Traits related to drought resistance in common bean. **Euphytica**, v.99, p.127-136, 1998.

RAVEN, P. H.; EVERT, R. F.; EICHHORN, S. E. **Biologia vegetal**. 7.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, p. 728, 2007.

REIS, G. G.; MULLER, M. W. **Análise de crescimento de plantas - mensuração do crescimento**. Belém, CPATU, p. 35, 1978.

RESENDE, M. D. V.; DUARTE, J. B. Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.37, n. 3, p.182-194, 2007.

ROBINS, J. S. & DOMINGO, C. E. Moisture deficits in relation to the growth and development of dry bean. **Agronomy Journal**, 48: 67-70, 1956.

SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. **Fisiologia das plantas**. 4. ed. (trad. SANTAROSA, P. L.). São Paulo: Cengage Learning, p. 774, 2012.

SALVADOR, C. A. Feijão - **análise da conjuntura agropecuária**. Curitiba: DER/SAA, 2014.

SANTOS, J. B.; GAVILANES, M. L.; VIEIRA, R. F.; PINHEIRO, L. R. Botânica. In: CARNEIRO, J. E. S.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. **FEIJÃO: do plantio à colheita**, Viçosa: Ed. UFV, p. 37-63, 2015.

SCALÉA, M. J. Avaliação do plantio direto frente a aspectos relevantes da cultura moderada. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PLANTAS DANINHAS NO SEMI-ÁRIDO, 1., 2007, Mossoró. **Anais...** Mossoró: UFERSA, p. 85-112, 2007.

SCHACHTMAN, D. P.; GOODGER, J. Q. D. Chemical root to shoot signaling under drought. **Trends in plant Science**, London, v. 13, n. 6, p. 281-287, June 2008.

SILVA, J. C. **Épocas de menor risco de estresse hídrico e térmico para o feijoeiro na região central do Rio Grande do Sul**. 64f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade de Santa Maria-UFSM, Santa Maria, 2005.

SILVA, S. C.; RIBEIRO, J. R. Zoneamento Agroclimático para o Feijão (2a Safra) nos Estados de Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e Bahia. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE L. F.; AIDAR, H. (Eds.) **Fundamentos para uma agricultura sustentável, com ênfase na cultura do feijoeiro**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, cap. 6, p. 97-106, 2009.

SILVA, V. A.; ANDRADE, M. J. B.; RAMALHO, M. A. P. Efeitos de métodos de preparo do solo e doses de adubação NPK sobre o feijão da seca em sequência à cultura do milho. **Ciências Agrotécnicas**, Lavras, v. 25, n. 2, p. 454-461, 2001;

SILVA, V. R.; REICHERT, J. M.; REINERT, D. J. Variação de temperatura do solo em três sistemas de manejo na cultura de feijão. **Revista Brasileira de Ciência de Solos**, Viçosa-MG, v. 30, p. 391-399, 2006.

SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F. **Cultivo de feijão irrigado na região noroeste de Minas Gerais**, 2005. Disponível em: <<http://www.sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Feijao/FeijaoIrrigadoNoroesteMG/irrigacao.htm>>

SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F. **Irrigação do feijoeiro**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e feijão, p. 230, 2001.

SINGER, J. W.; LOGSDON, S. D.; MEEK, D. W. Tillage and compost effects on corn growth, nutrient accumulation, and grain yield. **Agronomy Journal**, v. 99, p. 80-87, 2007.

SINGH, M. Effects of plant spacing, fertilizer, modified urea material and irrigation regime on herbage, oil yield and oil quality of rosemary in semi-arid tropical conditions. **The Journal of Horticultural Science and Biotechnology**, Ashford, v. 79, n. 3, p. 411-415, 2004.

SOUZA, G. M.; VIANA; J. O. F.; OLIVEIRA; R. F. Folhas assimétricas em feijoeiro sob deficiência hídrica exibem fotossíntese assimétrica. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Londrina, v. 17, n. 2, p. 223-227, 2005.

SOUZA, R. P. & VÁLIO, I. F. Seed size, seed germination, and seedling survival of Brazilian Tropical tree species differing in successional status. **Biotropica** 33: p. 447- 457, 2001.

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. **Manejo de Irrigação**. 2012. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/feijao/arvoreCONTAG01_86_1311200215104.html> Acesso: 06 de Junho de 2017.

STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. S. Efeitos do sistema de preparo na compactação do solo, disponibilidade hídrica e comportamento do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 34, n. 1, p. 83-91, 1999;

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 4.ed. Porto Alegre: ARTMED, p. 449-484, 2004.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. 5.ed. Porto Alegre: ARTMED, p. 848, 2013.

TEÓFILO, T. M. S.; FREITAS, F. C. L.; MEDEIROS, J. F.; FERNANDES, D.; GRANGEIRO, L. C.; TOMAZ, H. V. Q.; RODRIGUES, A.P. M. S. Eficiência no uso da água e interferência de plantas daninhas no meloeiro cultivado nos sistemas de plantio direto e convencional. **Planta daninha**, Viçosa-MG, v. 30, n. 3, p. 547-556, 2012.

URCHEI, M. A.; RODRIGUES, J. D.; STONE, L. F. Análise de crescimento de duas cultivares de feijoeiro sob irrigação, em plantio direto e convencional. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 3, p. 497-506, 2000.

VIEIRA, E. H. N; RAVA, C. A. **Sementes de feijão**: produção e tecnologia. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e feijão, p. 270, 2000.

VILHORDO, B. W.; MIKUSINSHI, O. M. F.; BURIN, M. E.; GANDOLFI, V. H. Morfologia. In: ARAÚJO, R. S. (Coord.) **A cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Potafós, p. 71-99, 1996.

WEST, C.; BRIGGS, G. E.; KIDD, F. Methods and significant relations in the quantitative analysis of plant growth. **New Physiologist**, v. 19: p. 200-207, 1920.

WÜRSCHÉ, W.; DENARDIN, L. E. Conservação e manejo dos solos - I. Planalto Rio-grandense. Considerações gerais. **Circular Técnica Nacional de Pesquisa do Trigo**, Passo Fundo, n. 2, p. 1-20, 1980.

YOKOYAMA, L. P.; BANNO, K.; KLUTHCOUSKI, J. Aspectos socioeconômicos da cultura. In: ARAÚJO, R. S. et al. **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Associação Brasileira para pesquisa da potassa e do fosfato, p. 1-21, 1996.

ZHU, J. K. Salt and drought stress signal transduction in plants. **Annual Review of Plant Biology**, Palo Alto, v. 53, n. 1, p. 247 – 273, 2002.

7. APÊNDICE

Tabela 5 - Resumo da análise de variância para o número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV), massa de 100 grãos (MCG), produtividade (PROD), comprimento de raízes (CR), profundidade de raízes (PR), volume de raízes (VR), massa de matéria seca de raízes (MSR), consumo de água (CA) e eficiência no uso da água (EUA) do feijoeiro sem restrição (05 dias) e submetido a 15 e 25 dias de restrição hídrica em plantio direto e convencional.

Quadrados médios											
F.V.	G.L	NVP	NGV	MCG	PROD	CR	PR	VR	MSR	CA	EUA
Períodos de restrição (PR)	2	29306,6**	1230,29 ^{ns}	5,767 ^{ns}	2553205**	53,452**	35,53**	26,4463*	0,55563**	2486,5**	0,213252**
Sistemas de plantio (SP)	1	1148,8 ^{ns}	35,04 ^{ns}	7,0959 ^{ns}	183936 ^{ns}	4,455 ^{ns}	10,127 ^{ns}	0,0294 ^{ns}	0,11482 ^{ns}	22231,9**	0,122223*
Blocos	3	1148,8	821,82	8,8801	121695,0	12,061	3,580	3,1824	0,03497	86,1	0,017992
PR x SP	2	691,5 ^{ns}	1061,29 ^{ns}	2,432 ^{ns}	207170 ^{ns}	6,545 ^{ns}	2,517 ^{ns}	0,8327 ^{ns}	0,07683 ^{ns}	0,3 ^{ns}	0,03501 ^{ns}
Resíduo	15	2358,7	677,15	5,3511	108610,0	6,141	4,893	4,2416	0,07950	164,2	0,018268
CV (%)	-	9,35	13,53	8,12	13,32	10,43	11,96	36,12	19,27	4,80	14,54

* F significativo a 5%; ** F significativo a 1%; ^{ns} F não-significativo a 5% de probabilidade.

Tabela 6 – Valores de número de folhas (NF) em função das épocas de avaliação do feijoeiro sem restrição (05 dias) e submetido a 15 e 25 dias de restrição hídrica.

Períodos de restrição hídrica	NF								
	Épocas de avaliação (DAE)								
	7	14	21	28	35	49	63	77	84
05 dias	0,00 ^{ns}	0,53 ^{ns}	1,15 ^{ns}	1,87 ^{ns}	3,29 ^{ns}	6,08a	6,75 ^{ns}	6,87 ^{ns}	2,91b
15 dias	0,00	0,59	1,16	1,81	3,13	4,29b	6,37	8,16	4,20ab
25 dias	0,00	0,62	1,31	1,91	2,92	3,83b	5,79	8,66	6,75a
SPD	0,00 ^{ns}	0,64 ^{ns}	1,33 ^{ns}	2,04 ^{ns}	3,27 ^{ns}	4,77 ^{ns}	6,25 ^{ns}	8,00 ^{ns}	4,69 ^{ns}
SPC	0,00	0,52	1,08	1,69	2,94	4,83	6,33	7,80	5,08
CV (%)	0,00	22,59	19,63	22,38	11,01	20,35	20,62	28,09	39,85

Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; ns = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Tabela 7 – Valores de área foliar (AF) em função das épocas de avaliação do feijoeiro sem restrição (05 dias) e submetido a 15 e 25 dias de restrição hídrica.

Períodos de restrição hídrica	AF								
	Épocas de avaliação (DAE)								
	7	14	21	28	35	49	63	77	84
05 dias	7,30 ^{ns}	16,31 ^{ns}	41,34 ^{ns}	83,01 ^{ns}	158,76 ^{ns}	320,33a	604,84a	464,40 ^{ns}	190,49b
15 dias	7,26	16,38	46,38	75,12	140,83	196,51b	405,80b	542,71	287,53ab
25 dias	7,39	12,80	47,51	76,86	123,52	176,45b	335,96b	394,15	409,03a
SPD	7,55 ^{ns}	16,78 ^{ns}	48,09 ^{ns}	69,85 ^{ns}	152,60 ^{ns}	230,55 ^{ns}	437,03 ^{ns}	459,49 ^{ns}	291,69 ^{ns}
SPC	7,07	13,55	42,06	66,69	149,48	243,46	460,70	475,19	342,75
CV (%)	16,08	25,80	24,40	32,59	18,47	31,01	31,22	34,37	42,08

Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; ns = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Tabela 8 – Valores de índice de área foliar (IAF) em função das épocas de avaliação do feijoeiro sem restrição (05 dias) e submetido a 15 e 25 dias de restrição hídrica.

Períodos de restrição hídrica	IAF								
	Épocas de avaliação (DAE)								
	7	14	21	28	35	49	63	77	84
05 dias	0,0040 ^{ns}	0,0090 ^{ns}	0,02296 ^{ns}	0,0461 ^{ns}	0,0661 ^{ns}	0,1334a	0,2520a	0,1935 ^{ns}	0,0793b
15 dias	0,004	0,0091	0,0258	0,0417	0,0587	0,0818b	0,1690b	0,2261	0,1198ab
25 dias	0,0041	0,0071	0,0264	0,0426	0,0515	0,0735b	0,1399b	0,1645	0,1704a
SPD	0,0041 ^{ns}	0,0093 ^{ns}	0,0267 ^{ns}	0,0401 ^{ns}	0,0635 ^{ns}	0,0960 ^{ns}	0,1820 ^{ns}	0,1914 ^{ns}	0,1033 ^{ns}
SPC	0,0039	0,0075	0,0233	0,0370	0,0602	0,1014	0,1919	0,1979	0,1428
CV (%)	16,80	25,80	24,40	32,59	18,47	31,01	31,22	34,37	49,05

Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; ns = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Tabela 9 – Valores de matéria seca do limbo (MSL) em função das épocas de avaliação do feijoeiro sem restrição (05 dias) e submetido a 15 e 25 dias de restrição hídrica.

Períodos de restrição hídrica	MSL								
	Épocas de avaliação (DAE)								
	7	14	21	28	35	49	63	77	84
05 dias	0,02 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,49 ^{ns}	1,50 ^{ns}	2,06a	2,50a	2,78a	1,04 ^{ns}
15 dias	0,02	0,60	0,20	0,44	1,45	1,34b	2,44a	3,12a	1,48
25 dias	0,02	0,05	0,24	0,45	1,34	1,39b	1,84b	2,14b	2,09
SPD	0,02 ^{ns}	0,07 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,50 ^{ns}	1,57 ^{ns}	1,70 ^{ns}	2,23 ^{ns}	2,75 ^{ns}	1,44 ^{ns}
SPC	0,02	0,06	0,21	0,47	1,50	1,67	2,30	2,61	1,83
CV (%)	24,19	25,39	29,58	30,09	29,80	26,37	21,69	29,32	51,48

Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; ns = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Tabela 10 – Valores de matéria seca do pecíolo (MSP) em função das épocas de avaliação do feijoeiro sem restrição (05 dias) e submetido a 15 e 25 dias de restrição hídrica.

Períodos de restrição hídrica	MSP								
	Épocas de avaliação (DAE)								
	7	14	21	28	35	49	63	77	84
05 dias	0,0040 ^{ns}	0,0225 ^{ns}	0,0290 ^{ns}	0,0387 ^{ns}	0,0725a	0,0966a	0,1412a	0,1825a	0,1108 ^{ns}
15 dias	0,004	0,0212	0,0328	0,0359	0,0654ab	0,0866b	0,1412a	0,1808a	0,1325
25 dias	0,0062	0,0156	0,0256	0,0287	0,0545b	0,0800b	0,1208b	0,1616b	0,1475
SPD	0,0053 ^{ns}	0,0252 ^{ns}	0,0352 ^{ns}	0,0481 ^{ns}	0,0716 ^{ns}	0,0908 ^{ns}	0,1397 ^{ns}	0,1786 ^{ns}	0,1269 ^{ns}
SPC	0,0062	0,0214	0,0331	0,0408	0,0696	0,0872	0,1291	0,1713	0,1362
CV (%)	34,78	36,56	38,45	25,93	16,24	7,63	9,43	7,13	40,47

Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; ns = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Tabela 11 – Valores de matéria seca do caule (MSC) em função das épocas de avaliação do feijoeiro sem restrição (05 dias) e submetido a 15 e 25 dias de restrição hídrica.

Períodos de restrição hídrica	MSC								
	Épocas de avaliação (DAE)								
	7	14	21	28	35	49	63	77	84
05 dias	0,0143 ^{ns}	0,0275 ^{ns}	0,0518 ^{ns}	0,1487 ^{ns}	1,0029 ^{ns}	1,1258a	1,8266a	2,5612a	1,9429 ^{ns}
15 dias	0,0153	0,0318	0,0528	0,1446	0,8959	0,7325b	1,6679a	2,4579a	1,8583
25 dias	0,0181	0,0234	0,0650	0,1418	0,8125	0,8325b	1,2587b	1,5650b	1,7504
SPD	0,0143 ^{ns}	0,0300 ^{ns}	0,0666 ^{ns}	0,1289 ^{ns}	0,9141 ^{ns}	0,9686 ^{ns}	1,6913 ^{ns}	2,4579 ^{ns}	1,7200 ^{ns}
SPC	0,0175	0,0250	0,0564	0,1212	0,8933	0,8938	1,5775	2,0675	1,9425
CV (%)	23,19	24,80	23,86	35,33	31,34	23,91	21,97	28,88	20,08

Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; ns = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Tabela 12 – Valores de matéria seca de vagens (MSV) em função das épocas de avaliação do feijoeiro sem restrição (05 dias) e submetido a 15 e 25 dias de restrição hídrica.

Períodos de restrição hídrica	MSV			
	Épocas de avaliação (DAE)			
	49	63	77	84
05 dias	1,44a	2,79a	7,30a	7,79a
15 dias	0,67b	2,45a	4,56b	8,54a
25 dias	0,47b	1,33b	2,41c	4,04b
SPD	0,74 ^{ns}	2,29 ^{ns}	4,55 ^{ns}	6,97 ^{ns}
SPC	0,77	2,10	4,98	7,39
CV (%)	62,79	34,88	27,37	52,24

Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; ns = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Tabela 13 – Valores de matéria seca total (MST) em função das épocas de avaliação do feijoeiro sem restrição (05 dias) e submetido a 15 e 25 dias de restrição hídrica.

Períodos de restrição hídrica	MST								
	Épocas de avaliação (DAE)								
	7	14	21	28	35	49	63	77	84
05 dias	0,04 ^{ns}	0,11 ^{ns}	0,28 ^{ns}	0,68 ^{ns}	2,57 ^{ns}	4,49a	7,26a	12,83a	10,89ab
15 dias	0,04	0,11	0,29	0,62	2,41	2,74b	6,71a	10,33a	12,02a
25 dias	0,05	0,09	0,33	0,62	2,21	2,72b	4,56b	6,29b	8,03b
SPD	0,04 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,35 ^{ns}	0,58 ^{ns}	2,55 ^{ns}	3,62 ^{ns}	6,35 ^{ns}	9,81 ^{ns}	9,09 ^{ns}
SPC	0,04	0,10	0,29	0,50	2,25	3,49	6,00	9,82	11,29
CV (%)	18,65	24,74	26,87	28,63	26,73	20,84	22,84	24,45	40,22

Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; ns = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Tabela 14 – Valores da taxa de crescimento absoluto (TCA) em função das épocas de avaliação do feijoeiro sem restrição (05 dias) e submetido a 15 e 25 dias de restrição hídrica.

Períodos de restrição hídrica	TCA							
	Épocas de avaliação (DAE)							
	14	21	28	35	49	63	77	84
05 dias	0,0107 ^{ns}	0,0235 ^{ns}	0,0565 ^{ns}	0,2708 ^{ns}	0,1372a	0,1976a	0,3977a	-0,2767b
15 dias	0,0104	0,025	0,0477	0,2557	0,0170b	0,2330a	0,2580ab	-0,2657b
25 dias	0,006	0,034	0,0416	0,2271	0,0366b	0,1311b	0,1235b	0,2486a
SPD	0,0113 ^{ns}	0,0317 ^{ns}	0,0622 ^{ns}	0,2528 ^{ns}	0,0760 ^{ns}	0,1952 ^{ns}	0,2469 ^{ns}	-0,1020 ^{ns}
SPC	0,0867	0,0293	0,0536	0,2496	0,0891	0,1792	0,2726	0,2101
CV (%)	43,63	34,5	54,41	36,08	73,04	33,88	41,58	1142,87

Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; ns = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Tabela 15 – Valores da taxa de crescimento relativo (TCR) em função das épocas de avaliação do feijoeiro sem restrição (05 dias) e submetido a 15 e 25 dias de restrição hídrica.

Períodos de restrição hídrica	TCR							
	Épocas de avaliação (DAE)							
	14	21	28	35	49	63	77	84
05 dias	0,1478a	0,1290b	0,1172 ^{ns}	0,2045 ^{ns}	0,0393a	0,0334 ^{ns}	0,0416 ^{ns}	-0,0236 ^{ns}
15 dias	0,1429a	0,1321b	0,1011	0,2026	0,0082b	0,0484	0,0295	-0,0045
25 dias	0,0915b	0,1860a	0,0901	0,1748	0,0190ab	0,0378	0,0222	0,0341
SPD	0,1472 ^{ns}	0,1491 ^{ns}	0,1177 ^{ns}	0,1942 ^{ns}	0,0412 ^{ns}	0,0407 ^{ns}	0,0284 ^{ns}	-0,0049 ^{ns}
SPC	0,1176	0,149	0,0879	0,2237	0,0373	0,039	0,0337	0,0174
CV (%)	33,65	21,56	56,67	32,01	72,22	23,56	32,50	852,78

Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; ns = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Tabela 16 – Valores da taxa assimilatória líquida (TAL) em função das épocas de avaliação do feijoeiro sem restrição (05 dias) e submetido a 15 e 25 dias de restrição hídrica.

Períodos de restrição hídrica	TAL							
	Épocas de avaliação (DAE)							
	14	21	28	35	49	63	77	84
05 dias	0,0286 ^{ns}	0,0862 ^{ns}	0,2543 ^{ns}	1,3705 ^{ns}	0,7934a	1,2606a	2,4077a	-1,3186b
15 dias	0,0271	0,0933	0,2083	1,2556	0,0878b	1,3888a	1,6500ab	-1,3186b
25 dias	0,0133	0,1298	0,1802	1,1109	0,1782b	0,7559b	0,7498b	1,6017a
SPD	0,0303 ^{ns}	0,1211 ^{ns}	0,2760 ^{ns}	1,2889 ^{ns}	0,4142 ^{ns}	1,1799 ^{ns}	1,5019 ^{ns}	-0,1654 ^{ns}
SPC	0,0286	0,085	0,2515	1,2024	0,4914	1,0902	1,7031	1,9972
CV (%)	59,75	37,42	60,97	38,10	75,25	37,31	44,60	352,34

Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; ns = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Tabela 17 – Valores da razão da área foliar (RAF) em função das épocas de avaliação do feijoeiro sem restrição (05 dias) e submetido a 15 e 25 dias de restrição hídrica.

Períodos de restrição hídrica	RAF								
	Épocas de avaliação (DAE)								
	7	14	21	28	35	49	63	77	84
05 dias	189,39 ^{ns}	146,05 ^{ns}	121,00 ^{ns}	126,53 ^{ns}	62,08 ^{ns}	72,64 ^{ns}	87,52a	35,66b	16,91b
15 dias	177,82	146,52	135,35	123,35	59,06	70,26	60,35b	53,23a	25,13b
25 dias	163,53	148,14	121,78	125,08	76,78	64,18	72,29ab	64,57a	53,75a
SPD	180,37 ^{ns}	149,26 ^{ns}	170,54 ^{ns}	135,02 ^{ns}	61,43 ^{ns}	63,99 ^{ns}	69,53 ^{ns}	32,82 ^{ns}	33,85 ^{ns}
SPC	173,46	154,54	172,56	134,94	58,23	69,15	77,24	38,49	33,72
CV (%)	17,05	12,12	33,87	12,25	13,33	24,22	27,19	16,10	39,53

Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade; ns = não significativo a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.