

RODRIGO MAGALHÃES FARIA

**PRODUÇÃO E FISIOLOGIA DO FEIJOEIRO SOB DÉFICIT HÍDRICO EM
SEMEADURA DIRETA E CONVENCIONAL**

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

Orientador: Francisco Cláudio L. de Freitas

Coorientadores: José Eustáquio de S. Carneiro
Wagner Luiz Araújo

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2021**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

F224p
2021 Faria, Rodrigo Magalhães, 1991-
Produção e fisiologia do feijoeiro sob déficit hídrico em
semeadura direta e convencional / Rodrigo Magalhães Faria. –
Viçosa, MG, 2021.
1 tese eletrônica (78 f.): il.

Orientador: Francisco Cláudio Lopes de Freitas.
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.
Inclui bibliografia.
DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2021.044>
Modo de acesso: World Wide Web.

1. Feijão - Cultivo. 2. *Phaseolus vulgaris*. 3. Ecofisiologia
vegetal. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de
Fitotecnia. Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia. II. Título.

CDD 22. ed. 635.652

Bibliotecário(a) responsável: Renata de Fátima Alves CRB6/2578

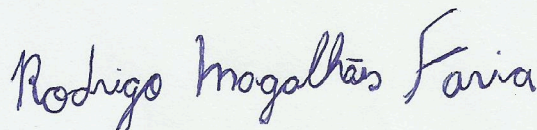
RODRIGO MAGALHÃES FARIA

**PRODUÇÃO E FISIOLOGIA DO FEIJOEIRO SOB DÉFICIT HÍDRICO EM
SEMEADURA DIRETA E CONVENCIONAL**

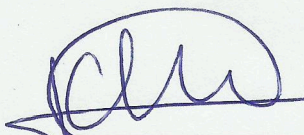
Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 29 de junho de 2021

Assentimento:



Rodrigo Magalhães Faria
Autor



Francisco Cláudio Lopes de Freitas
Orientador

Aos meus pais, Jadir e Leonor, e à minha
companheira, Julia que, por mais difícil que tenha
sido a caminhada, nunca deixaram de me apoiar e
muito menos seguir sozinho.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Jadir e Leonor. À minha companheira, Julia, que, com muita paciência, companheirismo e amor, foram de suma importância para minha vida.

À Julia novamente, porque ela merece.

Ao meu orientador, Francisco, pela confiança, paciência e apoio.

Aos amigos de Dores do Indaiá, de Montes Claros e de Viçosa por fazerem tudo ser mais simples e divertido.

Aos membros do grupo manejo integrado de plantas daninhas (MIPD) pelo apoio e contribuição.

Aos professores e técnicos administrativos da UFV, em especial à Lídia, à Tatiane, ao Luiz e aos funcionários do vale da agronomia, por todo conhecimento compartilhado.

À Escola Municipal Benjamim Guimarães, ao Colégio Promove, à Escola Estadual Francisco Campos, à Universidade Federal de Minas Gerais, à Universidade Federal de Viçosa e seus respectivos professores e funcionários, por possibilitarem que um sonho se tornasse realidade.

Sem todos vocês em minha vida eu não seria a pessoa que sou hoje, gratidão.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pela concessão da bolsa de estudos.

RESUMO

FARIA, Rodrigo Magalhães, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, junho de 2021. **Produção e fisiologia do feijoeiro sob déficit hídrico em semeadura direta e convencional.** Orientador: Francisco Cláudio Lopes de Freitas. Coorientadores: José Eustáquio de Souza Carneiro e Wagner Luiz Araújo.

Ao considerar os recursos hídricos, existem técnicas que podem reduzir o consumo hídrico sem que a produtividade seja negativamente afetada. Dentre essas, destaca-se o déficit hídrico controlado e a semeadura direta. Neste contexto, objetivou-se avaliar o efeito de diferentes períodos de déficit hídrico na cultura do feijoeiro-comum cultivado em semeadura direta e preparo convencional. O experimento foi conduzido em campo experimental, em parcelas subdivididas e em blocos casualizados com quatro repetições, nas parcelas foram avaliados dois sistemas de preparo do solo e nas subparcelas foram alocados cinco períodos de restrição hídrica. No primeiro capítulo abordou-se o consumo hídrico, a eficiência no uso da água e a produtividade de grãos do feijoeiro-comum. A semeadura direta foi mais eficiente e econômica no uso da água e essa economia se deu nas três primeiras quinzenas de cultivo. Em relação ao déficit hídrico, a partir de 13,2 dias de restrição, a produtividade e a eficiência no uso da água decresceram com o aumento do período de suspensão da irrigação. No segundo capítulo avaliou-se a viabilidade econômica também em função do período de restrição hídrica e do sistema de preparo do solo. Os benefícios foram calculados a partir da produtividade e do preço de mercado do feijão. Foram considerados os custos fixos e variáveis na implantação, condução da lavoura e sistema de irrigação. A viabilidade econômica foi avaliada por meio das receitas líquida e bruta, relação benefício-custo, taxa interna de retorno, do valor presente líquido e do payback. Os sistemas de semeadura direta e preparo convencional apresentaram benefícios semelhantes (produtividade), entretanto na semeadura direta houve economia de água, energia elétrica e mão de obra. A partir de 13,2 dias de suspensão da irrigação, à medida que se aumentou o período de restrição hídrica, houve redução na receita bruta, na receita líquida e na relação benefício-custo, atingindo os menores valores com 25 dias de restrição. Avaliando economicamente a curto prazo a relação benefício-custo em ambos os sistemas de cultivo os períodos de restrição hídrica foram viáveis até 24,1 dias; entretanto, os tratamentos economicamente viáveis a longo prazo foram 5, 10 e 15 dias. No terceiro capítulo, avaliou-se a fisiologia e componentes bioquímicos do feijoeiro-comum submetido a estresse hídrico. Foi verificado que o estresse hídrico afetou negativamente a taxa transpiratória, a condutância estomática, a concentração interna de carbono e o acúmulo de amido e de clorofilas. Entretanto,

essa redução foi constatada após 12 dias de restrição hídrica, e isso pode ser justificado pelo solo, que apresenta alta capacidade de retenção de água, e pelas temperaturas amenas durante o cultivo. De modo geral conclui-se que: o manejo hídrico e o preparo do solo alteram o consumo hídrico do feijoeiro-comum; o não revolvimento do solo e a manutenção de cobertura morta sobre esse, favorecem a manutenção de água no solo; o déficit hídrico controlado afeta a ecofisiologia da cultura e os componentes da produtividade que por consequência afetaram a produtividade e a viabilidade econômica de acordo com a duração da suspensão da irrigação.

Palavras-chave: *Phaseolus vulgaris*. Ecofisiologia. Plantio direto.

ABSTRACT

FARIA, Rodrigo Magalhães, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, June, 2021. **Production and physiology of bean under water deficit in direct and conventional sowing.** Adviser: Francisco Cláudio Lopes de Freitas. Co-advisers: José Eustáquio de Souza Carneiro and Wagner Luiz Araújo.

Considering water resources, there are several techniques that can reduce water consumption without negatively affecting productivity. Among these, the controlled water deficit, which consists of interruptions in the water supply in strategic stages of the crop, stands out. Another technique that favors water saving in agriculture is the no-tillage system, which is an agricultural cultivation system based on three main conservationist practices: no soil disturbance, crop rotation, and maintenance of soil mulch. In this context, the aim of this study was to evaluate the effect of different periods of water deficit in the culture of common bean cultivated in no-tillage and conventional tillage systems. The experiment was conducted in an experimental field, in randomized complete blocks design with split plot arrangement. In the main plots were allocated the cropping systems (no-tillage and conventional tillage) and in the subplots the periods of irrigation restriction (5, 10, 15, 20 and 25 days) applied from the beginning of the R5 stage. The first chapter discusses the water consumption, water use efficiency and yield components of the common bean and shows that the tillage system did not affect the yield components, but altered the water consumption of the common bean. Thus, the no-tillage system was more efficient and economical in the use of water and this saving occurred in the first three weeks of cultivation. After 13.2 days of restriction the yield and water use efficiency decreased with the increase of the period of irrigation suspension. The second chapter evaluates the economic feasibility also as a function of the water restriction period and the tillage system. To estimate economic viability, a conventional sprinkler irrigation system with the same water application intensity as the micro-sprinkler system used in the crop was considered. The benefits were calculated from the productivity and the selling price of the beans. The costs were considered in the implementation, conduction of the crop and irrigation system. The economic viability was evaluated in the short term by means of net and gross revenue and the benefit-cost ratio. The economic feasibility was also evaluated in the long term by means of the internal rate of return, net present value, and payback. Both tillage systems presented similar benefits (productivity), however in the no-tillage system there were water, electricity and labor savings. After 13.2 days of irrigation suspension, as the period of water restriction increased, there was a decrease in gross revenue, net revenue and in the benefit-cost

ratio, reaching the lowest values with 25 days of water restriction. Evaluating the short-term economic benefit-cost ratio in both cropping systems the water restriction periods were feasible up to 24.1 days, however, the long-term economically feasible treatments were 5, 10, and 15 days. In the third chapter, the physiology and biochemical components of water-stressed common bean were evaluated. It was found that water stress negatively affected transpiration rate, stomatal conductance and internal carbon concentration and the accumulation of starch and chlorophylls. However, this reduction was observed after 12 days of suspension of irrigation, and this can be justified by the type of soil that has a high water retention capacity and the mild temperatures during cultivation. Soil preparation and water management alter common bean water consumption. Not turning the soil over and maintaining a mulch over the soil favor the maintenance of water in the soil. Furthermore, controlled water deficit affected the ecophysiology of the crop, as well as the yield components, which consequently altered the economic viability according to the duration of irrigation suspension.

Keywords: *Phaseolus vulgaris*. Ecophysiology. No-tillage.

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	10
REFERENCIAL TEÓRICO	11
A cultura do feijoeiro.....	11
Plantas e o estresse hídrico	13
Preparo do solo e semeadura	15
REFERÊNCIAS	17
CAPÍTULO 1	22
INTRODUÇÃO.....	24
MATERIAL E MÉTODOS.....	24
RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
CONCLUSÕES	36
REFERÊNCIAS	36
CAPÍTULO 2	40
INTRODUÇÃO.....	42
MATERIAL E MÉTODOS.....	42
RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
CONCLUSÕES	57
REFERÊNCIAS	58
CAPÍTULO 3	61
INTRODUÇÃO.....	63
MATERIAL E MÉTODOS.....	63
RESULTADOS E DISCUSSÃO	66
CONCLUSÕES	76
REFERÊNCIAS	76

INTRODUÇÃO GERAL

A agricultura é responsável por cerca de 66% do consumo de água no país (ANA, 2019). Em casos de crise hídrica, pode ocorrer, em algumas regiões, limitação do uso da água para irrigação, ao considerar-se que a prioridade é o abastecimento da população e dessedentação animal. Dessa forma, destaca-se a necessidade de uso da água de forma mais eficiente na agricultura.

Aumentar a eficiência no uso da água (EUA) na agricultura, consiste no cultivo com menor consumo de água sem que a produtividade seja afetada negativamente. Para este fim, alia-se técnicas de manejo do solo, de irrigação e de tratos culturais. Quanto menor a quantidade de água usada em um cultivo sem causar decréscimo na produtividade maior será a EUA. Ao usar a água de maneira mais eficiente em lavouras irrigadas obtêm-se uma série de benefícios, tais como, economia de água e energia elétrica, que resulta em maior margem de lucro e menor impacto ambiental. Já para cultivos de sequeiro a melhoria na EUA aumenta a tolerância da cultura aos veranicos (períodos sem chuva). Diante disso, surge a necessidade de buscar estratégias que permitam aumentar a EUA em cultivos irrigados, bem como, reduzir perdas causadas por veranicos em cultivos de sequeiro. Dentre as práticas agronômicas que permitem melhorar a eficiência no uso da água destaca-se o a semeadura direta sobre cobertura morta.

A semeadura direta (SD) consiste num método de semeadura em que não há revolvimento do solo e sobre este mantém-se uma camada de cobertura morta. Essa cobertura pode ser proveniente da dessecação de plantas daninhas, de uma cultura com essa finalidade, como a aveia-preta e braquiária, ou até mesmo de restos de cultivos anteriores. A cobertura, além de diminuir a germinação e emergência dos propágulos de plantas daninhas presentes solo (Silva et al., 2018), facilita a infiltração de água no solo, dificulta a evaporação e diminui a amplitude térmica e hídrica do solo. Isso favorece a capacidade do solo de armazenar água, o que reduz a lâmina de água aplicada em cultivos irrigados (Teofilo et al., 2012; Coelho et al., 2013). A SD também aumenta a tolerância ao estresse hídrico em cultivos de sequeiro e pode beneficiar diversos cultivos, dentre eles a cultura do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris*).

O feijão é um dos principais alimentos na dieta do brasileiro, sendo plantado em todos os estados do Brasil. Em Minas Gerais, na safra 18/19, foram colhidas 472 mil toneladas desse grão, o que representa 15,35% da produção brasileira (CONAB, 2019). Por ser uma cultura de ciclo rápido, o feijão pode ser cultivado em três safras por ano, duas safras no verão e uma no inverno. Essa cultura, por ser muito difundida em todo país, varia muito de material genético e nível tecnológico empregado no cultivo, sendo comum tanto em áreas irrigadas quanto em

sequeiro. Portanto, pesquisas que envolvam o feijoeiro e a EUA são de suma importância para conhecer os impactos do estresse hídrico nesta cultura.

O déficit hídrico é uma das diversas formas de estresse que as plantas podem sofrer. É caracterizado como um estresse edafoclimático (abiótico) que causa uma série de impactos na planta de acordo com seu nível (Taiz et al., 2017). Alguns dos efeitos de plantas sob condições de estresse hídrico são redução da área foliar, abscisão foliar, murcha, maior investimento em raízes e fechamento estomático (Taiz et al., 2017). As plantas, ao fecharem seus estômatos para reduzir a perda de água por transpiração também reduzem a absorção de gás carbônico da atmosfera. Essa redução nas trocas gasosas afeta praticamente todos os processos fisiológicos dos vegetais (Damatta, 2007). Com seu desenvolvimento prejudicado, a planta deixa de atingir seu potencial genético o que reduz a produtividade da cultura afetando diretamente a margem de lucro do empreendimento.

Nesse sentido, outro importante aspecto do cultivo que deve ser avaliado é a capacidade de gerar lucro e devolver o investimento ao produtor. Conhecer a viabilidade econômica de um investimento é de suma importância para o sucesso do empreendimento. Além disso, são escassos os estudos da viabilidade econômica de restrições hídricas em cultivo de feijoeiro. Diante do exposto, o objetivo do presente estudo foi avaliar a fisiologia, produção e viabilidade econômica do cultivo de feijoeiro-comum em semeadura direta e preparo convencional submetido ao déficit hídrico controlado.

REFERENCIAL TEÓRICO

A cultura do feijoeiro

O feijoeiro-comum (*Phaseolus vulgaris* L) é uma planta herbácea pertencente à família botânica Fabaceae. Tem como centro de origem as américas (Gepts & Debouck, 1991) e atualmente é cultivado em 120 países (FAO, 2020).

O feijoeiro possui três tipos de raízes, principais, basais e adventícias. Cerca de 90% das raízes se encontram até 20 cm de profundidade, o sistema radicular superficial torna a cultura mais sensível a alterações hídricas no solo (Santos et al., 2015). Seu caule é uma haste ramificada, possui gemas nas axilas das folhas, que podem ser gemas vegetativas, gemas vegetativas-florais e gemas florais (Binotti, 2015). O feijoeiro também é classificado quanto ao hábito de crescimento, que pode ser determinado ereto (tipo I) ou crescimento indeterminado que se divide em semiereto (tipo II), indeterminado, prostrado (tipo III) e trepador (tipo IV)

(Oliveira et al., 2018). As folhas definitivas são do tipo composta com três folíolos, a inflorescência é um rácimo e o fruto é um legume seco. Nas plantas com hábito de crescimento determinado as inflorescências são terminais e nas plantas de crescimento indeterminado as inflorescências são axiais. (Vilhordo et al., 1996; Oliveira et al., 2018)

O feijão-comum apresenta grande importância nutricional, econômica e social. Nutricionalmente é a base da dieta da população brasileira junto com o arroz. Caracteriza-se como uma excelente fonte de fibras, proteínas, carboidratos e minerais, principalmente ferro (Kutos et al., 2003). O consumo médio anual de feijão no Brasil é de 15 kg por habitante (Ferreira et al., 2018), o que caracteriza o país como o maior consumidor de feijão do mundo. O Brasil também é o maior produtor de feijão-comum. Foram 2,92 milhões de hectares plantados no Brasil na safra de 2018/19, nessa área foram colhidas em torno de 3 milhões de toneladas (CONAB,2019). Como é uma cultura bastante difundida no país é cultivado em vários níveis tecnológicos, em grandes e pequenas propriedades rurais em todos os estados do país. Os maiores produtores de feijão no Brasil são os estados do Paraná e Minas Gerais com produção estimada na safra 2018/19 de 650 e 530 mil toneladas, respectivamente (CONAB, 2019).

O ciclo médio da cultura é em torno de 90 dias, as cultivares mais precoces tem ciclo de 60 dias e as mais tardias 115 dias (Oliveira et al.,2018). O feijoeiro tem seu ciclo dividido em cinco estágios vegetativos (V0; V1; V2; V3 e V4) e cinco estágios reprodutivos (R5; R6; R7 e R9) (Oliveira et al., 2018).

O ciclo curto do feijoeiro permite que seja cultivado em até três safras por ano, primeira, segunda e terceira safra, que também são conhecidas como a safra das águas, da seca e de inverno, respectivamente. A primeira safra é plantada entre os meses de setembro e novembro, a segunda safra é plantada de janeiro a março, já na terceira safra o plantio acontece de maio a julho. Três safras por ano dispensam longos períodos de armazenamento dos grãos e o mercado sempre está abastecido com produto recém colhido.

Geralmente, a necessidade hídrica de um ciclo da cultura varia entre 250 a 350 mm. Como o inverno no estado de Minas Gerais é seco, a terceira safra depende de irrigação. As fases da cultura mais sensíveis a falta de água são os estádios de floração e formação das vagens. Nesses estádios, dependendo da severidade, o déficit hídrico pode provocar o aborto de flores e queda de vagens, o que afeta diretamente a produtividade (Oliveira et al., 2018).

A produtividade do feijão depende de uma série de fatores. Dentre eles, densidade populacional, potencial genético da cultivar, época de semeadura e manejo (adubação, controle

de pragas e irrigação). Além disso, fatores climáticos também podem reduzir a produtividade. Temperaturas inferiores à 15°C e superiores à 30°C, déficit hídrico em fases críticas e excesso de chuvas na época da colheita também prejudicam a qualidade do produto colhido (Silva et al., 2006). Diante destas perspectivas, se faz necessário o uso de técnicas que melhorem as condições de estabelecimento e desenvolvimento da cultura em especial o preparo do solo e o manejo da irrigação.

Plantas submetidas ao estresse hídrico

Estresse é a resposta de um organismo a um fator externo desfavorável (Larcher, 2000), ou seja, condições bióticas ou abióticas que não permitem que a planta atinja todo seu potencial genético. No ambiente, as plantas estão sujeitas a diversas condições de estresse de modo que a severidade e a duração desse estresse é o que define se os danos causados ao desenvolvimento vegetal serão reversíveis ou não.

O estresse hídrico é uma das formas de estresse mais comuns nas plantas e é caracterizado por períodos de baixa disponibilidade de água para as plantas e pode ocorrer em ambientes naturais e agrícolas (Taiz et al., 2017). A água é imprescindível no processo de germinação das sementes (Marcos Filho, 2015), além disso, atua em diversos processos e manutenção dos tecidos vegetais. Sendo assim, o estresse hídrico afeta praticamente todos os aspectos de desenvolvimento das plantas e se a turgidez celular no vegetal não for mantida o crescimento é interrompido (Angelocci, 2002; Reichardt & Timm, 2012; Bezerra et al., 2013).

Quando as plantas se encontram sob estresse hídrico realizam uma série de alterações morfofisiológicas para facilitar o convívio com a condição de baixa disponibilidade de água no ambiente. Segundo Taiz et al. (2017), o fechamento estomático, a senescência e queda de folhas, o ajuste do potencial osmótico e o aprofundamento radicular são mudanças comuns em plantas submetidas a este tipo de estresse.

De maneira geral, o estresse hídrico ocorre quando a perda de água por transpiração supera a quantidade de água que as raízes são capazes de absorver do solo (Silveira & Stone, 2005). O fechamento estomático é uma maneira que a planta possui para diminuir a perda de água por transpiração. A abertura e o fechamento estomático ocorrem de acordo com a turgidez das células guardas do estômato e são influenciados por alguns fatores tais como: luminosidade, déficit de pressão de vapor do ambiente e pelo fito-hormônio ácido abscísico que é sintetizado em raízes em contato com solo com baixa disponibilidade hídrica (Schachtman & Goodger, 2008).

Com os estômatos fechados a absorção de gás carbônico também diminui, o que afeta, em larga escala, a fixação de carbono e o acúmulo de matéria seca. Além disso, sem a transpiração, a planta perde o principal mecanismo de dissipação de calor o que eleva a temperatura foliar, tornando o transporte de elétrons nas membranas instável e reduzindo a capacidade fotossintética (Taiz et al., 2017)

Outro mecanismo que as plantas possuem para suportar períodos de estresse hídrico é o ajuste osmótico celular. Caracterizado pela capacidade da planta de sintetizar e acumular solutos que serão usados em momentos de baixa disponibilidade de água para reduzir o potencial hídrico celular e manter a célula hidratada e funcional (Taiz et al., 2017). O principal aminoácido regulador osmótico é a prolina que permite a célula reter água mantendo seu metabolismo normal e ainda inibe a peroxidação lipídica (Gill & Tuteja, 2010).

Para contornar a baixa disponibilidade de água no solo as plantas também podem aumentar o crescimento radicular. Raízes mais desenvolvidas, profundas e volumosas possuem maior capacidade de explorar do solo, o que aumenta a absorção de água e nutrientes. O que é vantajoso para a planta, entretanto, em alguns casos o maior crescimento das raízes prejudica o desenvolvimento da parte aérea devido a competição por fotossintatos entre os órgãos na planta (Lima et al., 2016).

Essas alterações em condições de estresse hídrico acontecem também nas plantas cultivadas e, dependendo da severidade e duração do período de baixa disponibilidade hídrica, pode ocorrer redução na produtividade. A restrição hídrica após a semeadura reduz a germinação, emergência e a sobrevivência das plântulas (Andrade et al., 2006). Durante a fase vegetativa pode comprometer o desenvolvimento da cultura.

As fases que mais afetam a produtividade da cultura do feijoeiro quando sofrem estresse hídrico são o florescimento e o enchimento de grãos (Oliveira et al., 2014; Brito et al., 2015). Isso ocorre principalmente devido à queda de flores que reduz o número de vagens por planta, o componente de produção que mais afeta a produtividade do feijoeiro.

A demanda hídrica do feijoeiro varia de acordo com o material genético, estágio fenológico da cultura e local de plantio. A maior demanda hídrica ocorre no período de floração e enchimento de grãos, o período mais crítico do ciclo. Isso reafirma a importância da água nesses estádios da cultura. Portanto, fica evidente a necessidade do uso de técnicas que minimizem os prejuízos causados pelo déficit hídrico, destacando-se o uso de irrigação suplementar e de técnicas de manejo que contribuam para melhorar eficiência no uso da água como o cultivo mínimo, manutenção de cobertura morta e semeadura direta na palha.

Preparo do solo e sistema de cultivo

O preparo do solo para a implantação de uma cultura agrícola é caracterizado por uma série de ações prévias ao plantio que tem como objetivo melhorar as condições para o estabelecimento e desenvolvimento da cultura. O preparo adequado do solo facilita a semeadura, favorece a germinação e o crescimento radicular. O controle de plantas daninhas é outro importante objetivo do preparo do solo, pois é ideal que a cultura se estabeleça com a menor interferência de plantas daninhas possível.

Ademais, o preparo do solo também pode alterar as características físicas e químicas do solo de acordo com o método utilizado. Existem diversas formas de se preparar o solo, quando envolvem revolvimento da leiva denomina-se preparo convencional. Os implementos agrícolas mais usados no preparo do solo convencional são arados e grades. A função do arado é inverter a camada superficial do solo (cerca de 20 centímetros), incorporar restos culturais e realizar o controle mecânico de plantas daninhas. Após a aração, antes do plantio é realizada a gradagem que tem como objetivo reduzir o tamanho dos torrões decorrentes da aração e nivelar o solo para facilitar a semeadura e a emergência das plântulas (Gabriel Filho et al., 2000; Alves et al., 2015). Com o solo gradeado o semeio pode ser realizado por meio de semeadura mecanizada ou manual.

O preparo convencional do solo além de incorporar restos culturais e fertilizantes combate a compactação superficial, favorece a aeração e torna o solo mais permeável. O solo revolvido tem menor resistência ao crescimento radicular, favorecendo o desenvolvimento das raízes (Marcolan et al., 2007). Outro benefício desse tipo de preparo é facilitar a degradação e mineralização dos restos culturais incorporados, o que elimina o abrigo de patógenos e insetos reduzindo a reinfestação da área.

Em contrapartida, existem algumas desvantagens em utilizar o preparo do solo com revolvimento. O uso de aração e gradagem em vários cultivos consecutivos pode causar compactação do solo abaixo da profundidade de ação desses implementos (pé de grade). Essa compactação dificulta o desenvolvimento radicular e reduz a capacidade de infiltração da água no solo o que favorece o escoamento superficial e alagamento (Inoue et al, 2002). O solo revolvido e exposto, em especial nas épocas de chuvas intensas, é muito susceptível ao processo de erosão hídrica. Esse carreamento de solo pode assorear corpos de água e transportar resíduos de defensivos, contaminando organismos não alvo. Já nas épocas secas do ano a desfragmentação dos agregados contribui para a erosão eólica, além disso, o solo revolvido e

exposto à radiação solar desfavorece a proliferação da microbiota do solo, reduzindo assim a mineralização de compostos orgânicos e a ciclagem de nutrientes (Silva et al., 2010).

O uso intenso de preparo convencional em área agrícola promove a desestruturação do solo e, descoberto, o mesmo fica susceptível a grande amplitude térmica e hídrica, principalmente em climas tropicais. Grandes variações de temperatura e umidade reduzem bastante os níveis de matéria orgânica do solo (Comin & Lovato, 2014), o que causa a degradação do mesmo.

Por outro lado, existem sistemas de manejo que preconizam o não revolvimento do solo (cultivo mínimo), dentre eles destaca-se a semeadura direta. Por ser um sistema conservacionista, a semeadura direta é uma ferramenta eficiente na manutenção da qualidade do solo e na recuperação de solos que se encontram em algum estágio de degradação. A semeadura direta caracteriza-se como um cultivo mínimo fundamentado em três práticas conservacionistas básicas que são: o não revolvimento do solo, a rotação de culturas e a manutenção de cobertura morta sobre o solo (Cruz et al., 2019).

A cobertura morta é imprescindível para o sucesso da semeadura direta, portanto, o tipo de cobertura e sua qualidade deve ser escolhido de acordo com as características climáticas da região. De acordo com a temperatura e a umidade, a velocidade da degradação da cobertura é alterada. Ou seja, se a cobertura morta for rapidamente degradada e o solo perder essa proteção a eficácia da SD é reduzida (Marcelo, 2007). Portanto, deve-se optar por espécies com alta produção de biomassa e com degradação mais lenta, como é o caso das *Brachiaria spp.*, aveias e milho cuja cobertura morta pode persistir por até seis meses sobre o solo (Cobucci, 2001). Essas espécies apresentam essa característica devido à alta relação carbono/nitrogênio, o que dificulta a ação microbiana sobre esses resíduos, prolongando a permanência da cobertura sobre o solo e seus benefícios (Marcolini et al., 2009)

A SD quando realizada de maneira correta proporciona uma série de benefícios ao solo. Uma alteração marcante do uso de SD no solo é o aumento da concentração de matéria orgânica na camada superficial de 0-10 cm, ocasionado devido ao não revolvimento do solo e a presença de resíduos culturais (cobertura morta e raízes) (Lopes et al., 2004). O aumento da matéria orgânica permite o desenvolvimento de uma microfauna mais diversa e abundante, pois é fonte de nutrientes e energia para os organismos do solo (Merlim et al., 2005). Isso favorece a disponibilidade e a ciclagem destes nutrientes e torna o solo mais fértil e poroso, o que facilita o desenvolvimento radicular. Outro fator que estimula a microfauna no solo cultivado em SD é a proteção decorrente da cobertura morta que reduz a amplitude térmica e hídrica (Bizari et al., 2009; Nascimento et al., 2003) e o risco de erosão hídrica e eólica (Lopes et al., 2004).

A presença da cobertura morta reduz a incidência da radiação solar, o que desfavorece a evaporação da água armazenada no solo. A maior capacidade de armazenamento de água no solo favorece a eficiência no uso da água, o que aumenta a capacidade dos cultivos em sequeiro de suportarem eventuais casos de veranico e, em cultivos irrigados, reduz a quantidade de água aplicada nas irrigações (Nascimento et al., 2001; Coelho et al., 2013).

Nascimento et al. (2001) em estudos com feijoeiro-comum atestaram que a presença da cobertura morta na SD reduziu o consumo de água em 20% em relação ao manejo convencional e ainda diminuiu as perdas de solo. Além da economia de água o cultivo de feijoeiro comum em SD apresentou aumento na produtividade em torno de 25% quando comparado ao preparo com revolvimento do solo, que, segundo os autores, se deve à conservação de água no solo que é maior na SD (Stone & Moreira, 2001).

A partir destas perspectivas, diante da complexidade do meio ambiente agrícola, denota-se a importância do estudo das relações entre fatores bióticos, abióticos e as práticas de manejo e como essas interações afetam as culturas e a rentabilidade econômica dos cultivos agrícolas.

REFERÊNCIAS

- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2019**. Brasília: ANA, 2019.
- 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.; 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: Ed. UFV, ed. 2, p. 67-81, 2006.
- ANGELOCCI, L. R. **Água na planta e trocas gasosas/energéticas com a atmosfera: Introdução ao tratamento biofísico**. Piracicaba: ESALQ/USP, Departamento de Ciências Exatas. 272p. 2002.
- BEZERRA, F. M. L. et al. Feijão-caupi e déficit hídrico em suas fases fenológicas. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 34, p. 5-10, 2003.
- BINOTTI, F. F. S. Descrição e fisiologia da planta. In: Orivaldo Arf et al. **Aspectos gerais da cultura do feijão *Phaseolus vulgaris* L.** – Botucatu: FEPAF, p. 433, 2015.

- BIZARI, D. R. et al. Consumo de água e produção de grãos do feijoeiro irrigado em sistemas plantio direto e convencional. **Ciência Rural**, 39: 2073-2079, 2009.
- BRITO, R. R. et al. Produtividade do feijoeiro sob diferentes potenciais matriciais e fatores de depleção da água no solo. **Nativa**, v. 03, n. 02, p. 109-114, 2015.
- 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: Ed. UFV, p. 583-624, 2001
- COELHO, M. E. H. et al. Coberturas do solo sobre a amplitude térmica e a produtividade de pimentão. **Planta Daninha**, v. 31, n.2, p. 369-378, 2013.
- COMIN, J. J.; LOVATO, P. E. **Manejo para qualidade do solo – Projeto tecnologias sociais para a gestão da água**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina. Centro Tecnológico, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental 2014.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos – 2018/2019**. Brasília: CONAB, 2020.
- CONAB. **Companhia Nacional de Abastecimento**. v. 11, Safra 2018/19, Brasília, p. 1-148, 2019. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br/>>. Acesso em: 22 dez. 2019.
- CRUZ, J. C. et al. **Sistema de Plantio Direto de milho**. Brasília: Agência Embrapa de Informação Tecnológica. Disponível em <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAG01_72_59200523355.html>. Acesso em: 6 jun. 2019.
- DAMATTA, F. M. Ecophysiology of tropical tree crops: on introduction. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, v. 19, n. 4, p. 239 - 244, 2007.
- FAO. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat>>. Acesso em: 02 abr. 2019.
- FERREIRA, C. M., FIGUEIREDO, R. S., ALBERNAZ LUZ, T. C. D. L. Arroz e feijão: intervenção multi-institucional em prol do Brasil. **Revista de Política Agrícola**, v. 27, n. 1, p. 96, 2018.

- GABRIEL FILHO, A. et al. Preparo convencional e cultivo mínimo do solo na cultura de mandioca em condições de adubação verde com ervilhaca e aveia preta. **Ciência Rural**, v. 30, n. 6, p. 953-957, 2000.
- 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.
- GILL, S. S.; TUTEJA, N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. **Plant Physiology and Biochemistry**, v. 48, n. 12, p. 909-930, 2010.
- INOUE, T. T. et al. 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.
- KUTOS, T. et al. 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, 2000.
- LIMA, M. F. P. et al. Weed growth and dry matter partition under water restriction. **Planta Daninha**, v. 34, n. 4, p. 701-707, 2016.
- LOPES, A. S. et al. (2004) **Sistema plantio direto: bases para o manejo da fertilidade do solo**. São Paulo, 115 p.
- MARCELO, A. V. (2007) **Atributos químicos do solo, estado nutricional e produtividade de soja, milho e arroz após culturas de inverno em semeadura direta**. 60 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia-Ciência do Solo) – Unesp, Jaboticabal.
- MARCOLAN A. L. et al. Recuperação de atributos físicos de um argissolo em função do seu revolvimento e do tempo de semeadura direta. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. v. 31, p. 571-579, 2007.
- MARCOLINI, L. W. et al. Effect of the density and of the distance of *Brachiaria decumbens* staff on the initial growth of *Coffea arabica* L. Seedlings. **Coffee Science**, v. 4, n. 1, p. 11–15, 2009.

- MARCOS FILHO, J. **Fisiologia de sementes de plantas cultivadas**. Londrina: ABRATES, 2015. 659p.
- MERLIM, A. O. et al. Soil macrofauna in cover crops of figs grown under organic management. **Scientia Agricola**, v. 62, n. 1, p. 57–61, 2005.
- 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**, v. 31, n. 2, p.159-161, 2001.
- NASCIMENTO, J. T. et al. Efeito de leguminosas nas características químicas e matéria orgânica de um solo degradado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, 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, 2009
- OLIVEIRA, A. E. S. et al. Desenvolvimento do feijão-fava (*Phaseolus lunatus* L.) sob déficit hídrico cultivado em ambiente protegido. **Solos**, v. 1, p. 143-151, 2014.
- OLIVEIRA, M. G. C. et al. **Conhecendo a fenologia do feijoeiro e seus aspectos fitotécnicos**. Brasília: EMBRAPA, 2018. 59 p.
- REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. 2. ed. Barueri: Manole, 2012. 500 p.
- SANTOS, J. B. et al. Botânica. In. CARNEIRO, J. E. S.; PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. **FEIJÃO: do plantio à colheita**, Viçosa: Ed. UFV, p. 37-63, 2015.
- SCHACHTMAN, D. P.; GOODGER, J. Q. D. Chemical root to shoot signaling under drought. **Trends in plant Science**, v. 13, n. 6, p. 281-287, 2008.
- SILVA, A. A. et al. Métodos de controle de plantas daninhas. In: **Tópicos em manejo integrado de plantas daninhas**. Viçosa: Ed. UFV, p. 62, 2018.
- SILVA, R. R. et al. Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica Campos das Vertentes - MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 34, n. 1, p. 1585–1592, 2010.

- 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**, v. 30, p. 391-399, 2006.
- SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F. **Cultivo de feijão irrigado na região noroeste de Minas Gerais**, 2005.
- 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**, v. 36, n. 3, p. 473-481, 2001.
- TAIZ, L. et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed. 2017.
- TEÓFILO, T. M. S. et al. Eficiência no uso da água e interferência de plantas daninhas no meloeiro cultivado nos sistemas de plantio direto e convencional. **Planta daninha**, v. 30, n. 3, p. 547-556, 2012.
- VILHORDO, B. W. et al. H. Morfologia. In: ARAÚJO, R. S. (Coord.) **A cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: Potafós, p. 71-99, 1996.

CAPÍTULO 1

FEIJOEIRO-COMUM (*Phaseolus vulgaris* L.) CULTIVADO EM SEMEADURA DIRETA E PREPARO CONVENCIONAL SOB DEFICIT HÍDRICO CONTROLADO

RESUMO: Atualmente na agricultura faz-se necessário o uso de técnicas que reduzam os impactos ambientais e proporcionem maior eficiência dos recursos utilizados nas lavouras. Nesse sentido, o objetivo deste estudo foi avaliar a produtividade e seus componentes, o consumo hídrico e a eficiência no uso da água no feijoeiro-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivado em semeadura direta e preparo convencional sob déficit hídrico controlado. O experimento foi conduzido em esquema de parcelas subdivididas delineadas em blocos casualizados. Nas parcelas alocaram-se os sistemas de cultivo (semeadura direta na palha e preparo convencional) e nas subparcelas os períodos de restrição da irrigação (5, 10, 15, 20, 25 dias) aplicados a partir do início do estágio R5. Não houve interação significativa entre os fatores. Não houve diferença entre semeadura direta e preparo convencional para as variáveis, número de vagens por planta, número de grãos por vagem, massa de cem grãos e produtividade de grãos do feijoeiro-comum cultivado em semeadura direta e preparo convencional. Entretanto, a semeadura direta consumiu menos água, sendo, portanto, mais eficiente no uso desse recurso. Com relação à duração do déficit hídrico, a produtividade, o número de vagens por planta, o consumo de água e a eficiência no uso da água decresceram com o aumento do período de restrição hídrica a partir de 13,2 dias sem irrigação. Por tanto, o estudo apontou que o cultivo em semeadura direta e a suspensão hídrica por até 13 dias foram as maneiras de cultivo mais eficientes no uso da água.

Palavras-chave: Eficiência no uso da água, manejo sustentável, produtividade.

COMMON BEAN (*Phaseolus vulgaris* L.) CULTIVATED IN NO-TILLAGE AND CONVENTIONAL TILLAGE SYSTEMS UNDER CONTROLLED WATER DEFICIT

ABSTRACT: Currently in agriculture it is necessary to use techniques that reduce environmental impacts and provide greater efficiency of resources used in crops. In this sense, the objective of this study was to evaluate the components of productivity and water use efficiency of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) grown in no-tillage and conventional tillage systems under controlled water deficit. The experiment was conducted in randomized complete blocks design with split plot arrangement. In the main plots were allocated the cropping systems (no-tillage and conventional tillage) and in the subplots the periods of irrigation restriction (5, 10, 15, 20 and 25 days) applied from the beginning of the R5 stage. There was no significant interaction between the factors. There was no difference in the number of pods per plant, in the number of grains per pod, in the mass of one hundred grains and in the grain yield of common bean cultivated in no-tillage system and conventional tillage under controlled water deficit. However, the no tillage system consumed less water, being, therefore, more efficient in the use of this resource. Regarding to the duration of the water deficit, 5 to 13,2 days was the period with the highest productivity and water use efficiency. After 13,2 days of water restriction there was a decrease in productivity.

Keywords: Water use efficiency, sustainable management, productivity.

INTRODUÇÃO

O feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.), junto com o arroz (*Oriza sativa*) formam a base da dieta do brasileiro. Devido ao seu rápido crescimento e ciclo curto, em torno de 90 dias, o feijoeiro pode ser cultivado em até três safras por ano, a primeira com semeadura de setembro a dezembro, a segunda de janeiro a março e a terceira de maio a julho (Araújo & Camelo, 2015; CONAB, 2020). Como durante o inverno em Minas Gerais há baixa precipitação pluviométrica, a terceira safra é dependente de irrigação.

A irrigação na agricultura permite atingir altas produtividades mesmo em regiões áridas ou em períodos de estiagem (Costa et al., 2012). O manejo inadequado da irrigação, seja por excessos ou déficit, acarreta redução na produtividade e desperdício de água (Brito et al., 2017). Ademais, a falta de água afeta diversas atividades humanas, principalmente a agricultura, uma vez que este setor é responsável pelo consumo de cerca de 70% da água doce no mundo (FAO, 2017). Devido a esse elevado consumo são necessárias medidas que aumentem a eficiência do uso da água (EUA) nos cultivos irrigados. Dentre estas, destaca-se a semeadura direta na palha.

A semeadura direta na palha é caracterizado pelo não revolvimento do solo e manutenção de cobertura morta sobre este. Esse sistema de cultivo mantém o solo bem estruturado, protegido contra erosão e com microbiota abundante e diversa (Gassen et al. 2014; Swedrzyńska & Grześ, 2015). A presença de cobertura morta também favorece a infiltração de água no solo, reduz a amplitude térmica e a evapotranspiração, o que aumenta a capacidade de retenção de água no solo (Derpsch et al., 2014).

Nesse contexto, objetivou-se com esse estudo avaliar a produtividade e seus componentes, o consumo hídrico e a eficiência no uso da água do feijoeiro-comum, cultivado em semeadura direta e preparo convencional, sob déficit hídrico controlado.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido em campo na Unidade de Ensino, Pesquisa e Extensão Aeroporto, pertencente à Universidade Federal de Viçosa, localizada no município de Viçosa – MG. A área experimental situada nas coordenadas 20°74'15'' latitude S, 42°84'54'' longitude O, a 680 m de altitude e o solo foi classificado como Argissolo Vermelho-Amarelo – PVA (Santos et al., 2018). O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cwa - clima mesotérmico com verão quente e inverno seco (Martins et al., 2018).

Antes da implantação do experimento foram coletadas amostras de solo na profundidade de 0 a 20 cm para realizar as análises química e física a fim de calcular as adubações necessárias ao cultivo (Tabela 1).

Tabela 1. Características químicas e físicas do solo.

Análise química												
pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	SB	T	T	V	m	MO
(H ₂ O)	(mg dm ⁻³)		------(Cmolc dm ⁻³)-----						-----(%)------			
5,6	10,1	108	3,5	1,0	0,1	4,29	4,8	4,9	9,1	53	2	3,1
Análise física												
Areia			Silte			Argila			Classe textural			
------(%)-----												
10			32			58			Argiloso			

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. (EMBRAPA, 2017)

O experimento foi conduzido em esquema de parcelas subdivididas, delineado em blocos casualizados, com quatro repetições. Nas parcelas foram avaliados dois sistemas de cultivo (semeadura direta e preparo convencional) e nas subparcelas cinco períodos de restrição hídrica (5, 10, 15, 20 e 25 dias). A área de cada unidade experimental foi de 35 m², contendo 10 linhas de 7 metros, espaçadas de 0,50 m. Como área útil, considerou-se as 4 fileiras centrais, descartando-se 2 m em cada extremidade, resultando em 6 m² de parcela útil.

Entre novembro de 2016 e março de 2017 a área foi cultivada com milho para produção de grãos, em semeadura direta. Em abril de 2017, após a colheita do milho e com o intuito de produzir cobertura morta para os tratamentos a serem cultivados em semeadura direta, semeou-se 10 kg ha⁻¹ de sementes viáveis de aveia-preta (*Avena strigosa*). A irrigação se deu por aspersão convencional e não foram realizadas adubações. Em junho de 2017, 70 dias após a semeadura, foi realizada a dessecação da aveia-preta com aplicação de 1,9 kg ha⁻¹ e.a. do herbicida glifosato. A massa da matéria seca da cobertura morta quando se realizou o semeio do feijoeiro-comum foi de 2.250 kg ha⁻¹.

Nas parcelas com sistema de preparo convencional, quatro dias antes da instalação do experimento realizou-se o preparo da área por meio de uma aração e duas gradagens.

O cultivar de feijão utilizado foi o Ouro Vermelho que é altamente adaptado à região onde o experimento foi conduzido. Esse cultivar possui hábito de crescimento indeterminado

(Tipo II/III), porte semi-ereto, sementes elípticas de coloração vermelha brilhante e ciclo entre 80 e 90 dias.

A semeadura do feijoeiro foi realizada dia 25 de julho de 2017, por meio de semeadora mecanizada, com densidade de 13 sementes por metro. Na adubação de plantio, foi utilizado 300 kg ha⁻¹ da formulação 8-28-16 (N-P-K) e aos 25 dias após a emergência foi realizada adubação de cobertura, com 35 kg ha⁻¹ de N (sulfato de amônio), ocasião em que se realizou também aplicação, via pulverização foliar, de 80 g ha⁻¹ de molibdênio (molibdato de sódio). As plantas daninhas foram controladas com a aplicação dos herbicidas seletivos para a cultura: fomesafen (125 g i.a. ha⁻¹) e fluazifop-p-butil (250 g i.a. ha⁻¹) aos 10 e 15 dias após a emergência (DAE), respectivamente.

A irrigação em cada subparcela foi realizada por meio de dois microaspersores com raio de alcance de 3 m e intensidade de aplicação de 4,24 mm h⁻¹, espaçados a três metros. A pressão do sistema foi mantida a 10 mca por meio de válvulas reguladoras de pressão. Também foi instalado um tensiômetro na profundidade de 15 cm entre os dois microaspersores, para estimar a umidade do solo por meio da tensão. A irrigação de cada subparcela foi controlada individualmente por meio de registro.

O volume de água aplicado foi baseado nas leituras dos tensiômetros e na curva de retenção de água no solo (Figura 1). Manteve-se espaçamento de um metro entre as unidades experimentais para que a irrigação de uma subparcela não atingisse as subparcelas vizinhas. As irrigações foram realizadas a cada cinco dias, mantendo a umidade do solo em valores correspondentes ao potencial matricial da capacidade de campo, cerca de -33 kPa (Taylor, 1965), exceto durante os períodos de restrição hídrica.

A interrupção na irrigação se iniciou aos 28 dias após emergência (DAE), quando a cultura se encontrava no início do estágio R5, sendo reestabelecida aos 33, 38, 43, 48 e 53 DAE, para os períodos de restrição hídrica de 5, 10, 15, 20 e 25 dias, respectivamente. Após os períodos de restrição hídrica, as irrigações voltaram a ser realizadas a cada cinco dias, conforme metodologia adotada antes dos períodos de restrição, até a maturação fisiológica dos grãos.

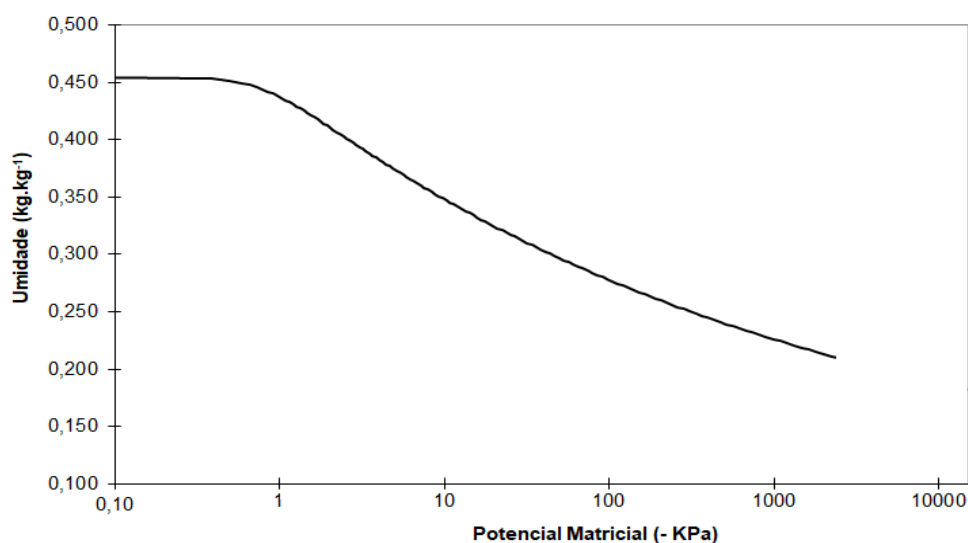


Figura 1. Curva característica de umidade no solo.

O tempo de irrigação em cada tratamento foi contabilizado e, a partir da intensidade de aplicação dos microaspersores, determinou-se a lâmina aplicada. O consumo de água total foi quantificado por meio do somatório da lâmina aplicada em cada subparcela e da precipitação pluviométrica registrada até a maturação fisiológica dos grãos. Calculou-se também o consumo hídrico quinzenal, em que a primeira quinzena correspondeu aos estádios V0, V1 e V2; a segunda quinzena correspondeu aos estádios V3 e V4; a terceira quinzena correspondeu aos estádios, R5 e R6; a quarta, a quinta e a sexta quinzenas corresponderam aos estádios R7, R8 e R9, respectivamente. Os dados meteorológicos relativos às temperaturas máximas e mínimas diárias (Figura 2) foram obtidos no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para a estação meteorológica de Viçosa, situada a menos de quatro quilômetros da área experimental. Os dados de precipitação foram coletados em pluviômetros instalados na área experimental.

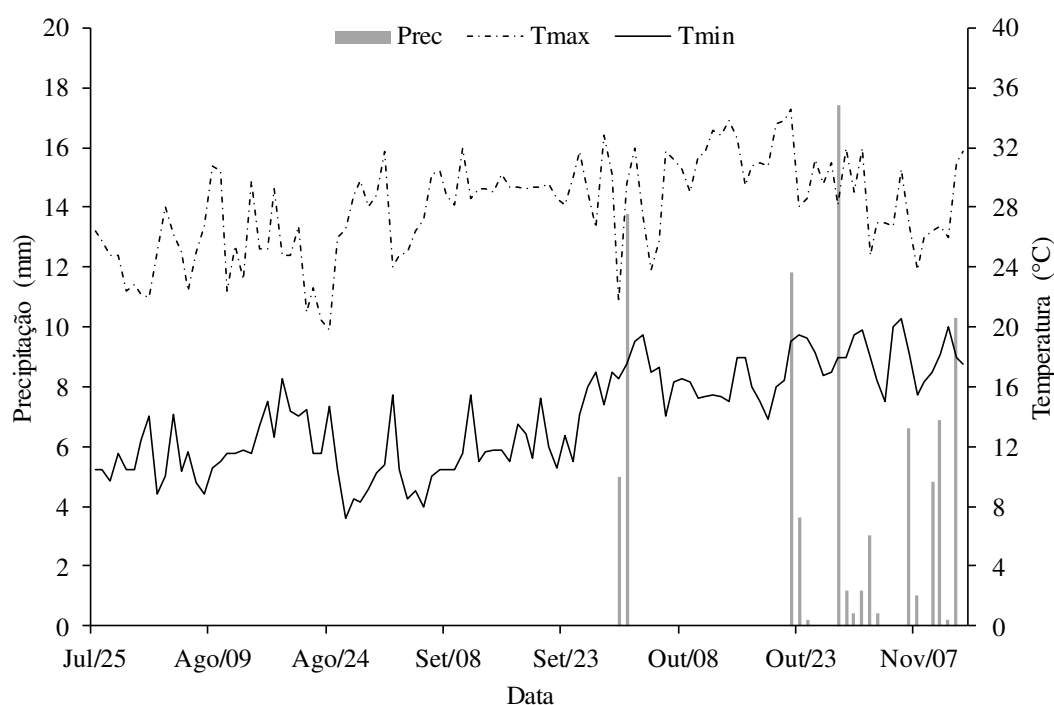


Figura 2. Temperatura máxima, mínima e precipitação pluviométrica durante o período experimental (INMET, 2018).

Ao final do ciclo do feijoeiro (80% das vagens secas), foram colhidas as plantas de duas fileiras da área útil de cada unidade experimental. Destas, uma amostra aleatória de 20 plantas foi utilizada para determinação do número de vagens por planta (VP), número de grãos por vagem (NGV) e massa de cem grãos (MCG). O restante das plantas colhidas de cada subparcela foram trilhadas e os grãos, após a limpeza, pesados juntamente com os grãos das 20 plantas amostradas anteriormente, para a determinação da produtividade de grãos, em kg ha^{-1} com teor de umidade corrigido para 13%.

De posse dos dados de produtividade e quantidade de água consumida, foi calculada a eficiência de uso de água (EUA), conforme descrito por Doorembos e Kassan (1979):

$$\text{Eficiência no uso da água (kg m}^3\text{)} = \frac{\text{Produtividade (kg ha}^{-1}\text{)}}{\text{Irrigação + Precipitação (m}^3\text{ ha}^{-1}\text{)}}$$

Os resultados foram submetidos à análise de variância e de regressão. Os sistemas de cultivo foram comparados pelo teste F a 5% de significância e os períodos de restrição hídrica foram avaliados por meio de regressão. Para a escolha do modelo considerou-se a explicação

biológica, a significância dos parâmetros pelo teste t a 5% e o coeficiente de determinação (R^2). O software usado para ambas as análises foi o R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2014).

$$R^2 = \frac{\text{Soma de quadrados da regressão}}{\text{Soma de quadrados do tratamento}}$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve interação entre os sistemas de cultivo (parcela) e os períodos de restrição hídrica (subparcela) para as características analisadas (Tabela 2). Portanto, analisou-se os efeitos de sistema de cultivo e restrição hídrica parcela e subparcela isoladamente.

Tabela 2. Resumo das análises de variância para número de vagens por planta (VP), número de grãos por vagem (GV), massa de 100 grãos (MCG), produtividade de grãos (PROD), consumo de água (CA) e eficiência no uso da água (EUA) do feijoeiro submetido a 5, 10, 15, 20 e 25 dias de restrição hídrica em semeadura direta e preparo convencional.

FV	Quadrados médios						
	GL	VP	GV	MCG	PROD	CA	EUA
Bloco	3	0,54	0,27	4,90	8092	110	0,01
Sistema de cultivo (SDC)	1	5,11 ^{ns}	0,02 ^{ns}	12,46 ^{ns}	62383 ^{ns}	34237 ^{**}	0,31 [*]
Erro a	3	0,78	0,17	6,21	41330	336	0,01
Restrição Hídrica (RH)	4	18,05 ^{**}	0,40 ^{ns}	4,01 ^{ns}	2429056 [*]	2037 ^{**}	0,22 ^{**}
RH x SDC	4	5,76 ^{ns}	0,26 ^{ns}	2,21 ^{ns}	107896 ^{ns}	110 ^{ns}	0,02 ^{ns}
Erro b	24	74,95	0,23	3,75	44412	149	0,01
CV 1 ¹		5,9	10,8	8,69	8,25	6,91	11,9
CV 2 ²		11,8	12,4	6,75	8,55	4,96	10,7

* F significativo a 5%; ** F significativo a 1%; ^{ns} F não significativo a 5% de probabilidade. ¹ Coeficiente de variação da parcela, ² Coeficiente de variação da subparcela.

Ao considerar os sistemas de cultivo, não houve efeito significativo para produtividade de grãos e seus componentes. Já para nos períodos de restrição hídrica houve diferença no número de vagens por planta, produtividade, consumo de água e eficiência no uso da água (Tabela 3).

Tabela 3. Número de vagens por planta (VP), número de grãos por vagem (GV), massa de cem grãos (CEM), produtividade (PROD), consumo de água (CA) e eficiência no uso da água (EUA) de feijoeiro cultivado em semeadura direta (SD) e preparo convencional (SC) sob déficit hídrico controlado.

	VP	GV	CEM (g)	PROD (kg ha ⁻¹)	CA (mm)	EUA (kg m ⁻³)
SD	14,5 A	3,9 A	28,1 A	2423,6 A	235,9 B	1,02 A
SC	15,2 A	3,9 A	29,2 A	2502,8 A	294,4 A	0,84 B

Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem entre si pelo teste F a 5% de probabilidade.

Estudos afirmam que a produtividade de diversas culturas é superior na semeadura direta (SD) em relação ao sistema convencional (SC) (Freitas et al., 2019; Silva et al., 2015; Teófilo et al., 2012), diferente do que foi observado no presente estudo onde não houve diferença entre os sistemas de cultivo. Franchini et al. (2012), comparando SC e SD ao longo de duas décadas de cultivo, concluíram que a SD possui uma fase inicial de estabilização em torno de cinco anos, nesse período a produtividade nos dois sistemas de cultivo é semelhante ou até mesmo inferior no SD. Isso pode justificar a equidade nas médias de produtividade observadas neste estudo (Tabela 3), uma vez que foi o segundo ano de implantação do SD.

E mesmo que no presente estudo o SD esteja em fase de estabilização nota-se resultados promissores de economia hídrica e aumento da eficiência da água. Destaca-se que a partir do ponto em que o sistema de SD se estabiliza a tendência da EUA é aumentar, uma vez que a melhora nas características químicas do solo resultante da SD ao longo do tempo eleva a produtividade (Soares et al., 2019). Soares et al., (2019) estudando a rotação do cultivo de soja e milho consorciado com braquiária em sistema de SD ao longo de 26 anos, constataram aumento do carbono microbiano, carbono orgânico total e nitrogênio total. E que o aumento e qualidade dessas características estão intimamente relacionadas à quantidade e qualidade da cobertura morta.

Além disso, um sistema de SD estabilizado entra em equilíbrio físico e se mantém fisicamente funcional (não compactado) pois o não revolvimento mantém os poros criados pelas raízes de cultivos anteriores que favorecem a estruturação do solo e o armazenamento de água (Moreira et al., 2016)

O consumo de água foi menor na SD em relação ao SC (Tabela 3). Isso ocorreu pelo não revolvimento do solo e a manutenção da cobertura morta que reduzem as perdas de água por evaporação (Derpsch et al., 2014), aumenta a capacidade de armazenamento do solo e, conseqüentemente, diminui a necessidade de irrigação. A economia de água no SD em relação ao SC foi de 58,5 mm, equivalente a 585 m³ ha⁻¹, volume capaz de suprir a demanda hídrica de

177 pessoas ou 44 famílias (quatro pessoas) durante um mês, considerando a necessidade mensal de 3,30 m³ por pessoa (ONU, 2019). Ou ainda, em casos onde a água é um recurso limitante, essa economia possibilita aumento na área cultivada de 24,79%.

Por apresentar a mesma produtividade e consumir menor volume de água, o SD foi o mais eficiente no uso da água (EUA) (Tabela 3). Aumentar a EUA é interessante, principalmente, para cultivos de inverno em regiões onde há escassez de chuvas nessa época do ano, como é o caso da região em que o estudo foi conduzido (Figura 2).

Ao considerar o consumo de água ao longo do ciclo da cultura, Bizari et al., (2009), comparando a demanda hídrica de feijoeiro cultivado em SD e SC, constataram que o SC consome mais água somente nos estádios de florescimento e enchimento de grãos. Em contrapartida, observou-se no presente estudo que a economia no SD se deu na 2^a e 3^a quinzena após o semeio, período correspondente ao estágio vegetativo da cultura. Essa economia nas 2^a e 3^a quinzenas ocorreu porque, nessa fase, em que as plantas ainda não se desenvolveram a ponto de sombrear o solo, a principal forma de perda hídrica é por evaporação da água no solo (Allen et al., 2006). Entretanto, no SD a cobertura morta protege o solo o que desfavorece a evaporação. Já no SC o solo exposto contribuiu para a evaporação de água do solo e isso praticamente dobrou a necessidade de irrigação nas segunda e terceira quinzenas (Figura 3).

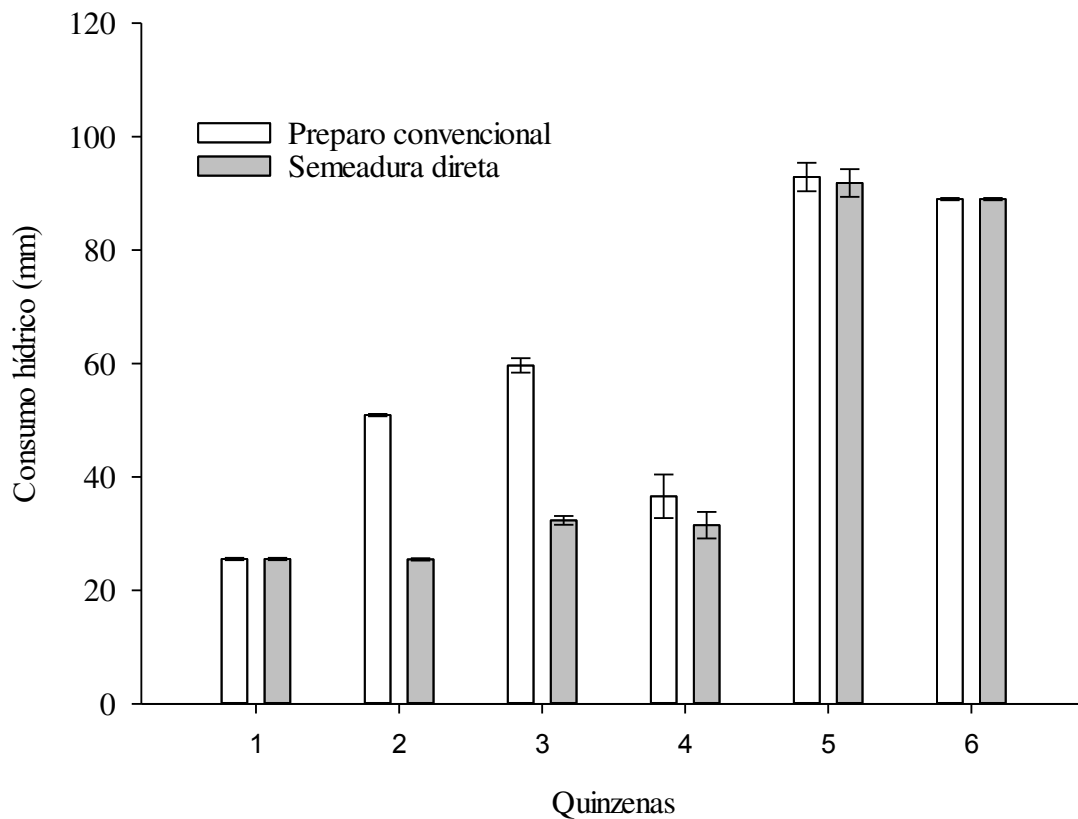


Figura 3. Média e Consumo hídrico (mm) quinzenal a partir da semeadura de feijoeiro-comum cultivado nos sistemas de semeadura direta e preparo convencional submetido a períodos de restrição hídrica.

Na 4ª quinzena foi quando se iniciou a suspensão da irrigação e por isso o consumo não aumentou em relação as quinzenas anteriores. À medida que as plantas se desenvolvem, a área foliar aumenta e contribui para o sombreamento do solo. Em condições de sombreamento a evaporação do solo reduz e a transpiração das plantas se torna a principal forma de perda de água (Allen et al., 2006; Teófilo et al., 2012; Coelho et al., 2013), o que explica o consumo igual, a partir da 5ª quinzena, em ambos os sistemas de cultivo (Figura 3). Além disso, ocorreram chuvas no final da 5ª e durante a 6ª quinzena (Figura 2), o que também contribuiu para essa equidade.

Além da cobertura morta, outro fator que reduziu o consumo de água foi o período de restrição hídrica, que apresentou comportamento linear. Ao aumentar os dias de restrição hídrica, o consumo de água reduziu devido ao menor número de irrigações realizadas ao longo do ciclo da cultura. O tratamento com 25 dias de suspensão na irrigação consumiu quantidade de água 13% inferior em relação ao tratamento com cinco dias de restrição (Figura 4).

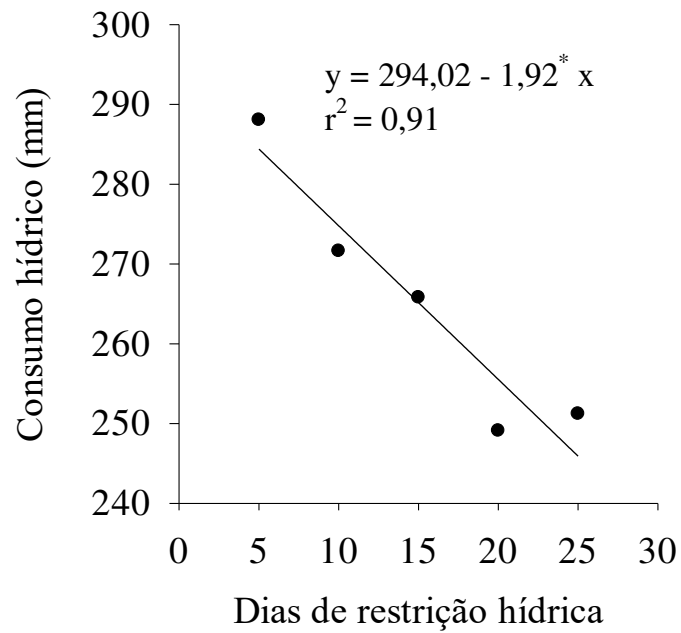


Figura 4. Consumo hídrico (mm) de feijoeiro-comum cultivado nos sistemas de semeadura direta e preparo convencional, submetido a períodos de restrição hídrica.

As médias de número de vagens por planta (NVP), de produtividade e de eficiência no uso da água foram influenciadas pela restrição hídrica e ajustaram-se ao modelo sigmoidal. O NVP se manteve próximo a 16 vagens até 15 dias de restrição e a partir desse ponto reduziu e estabilizou próximo a 13 vagens nas restrições de 20 e 25 dias (Figura 5).

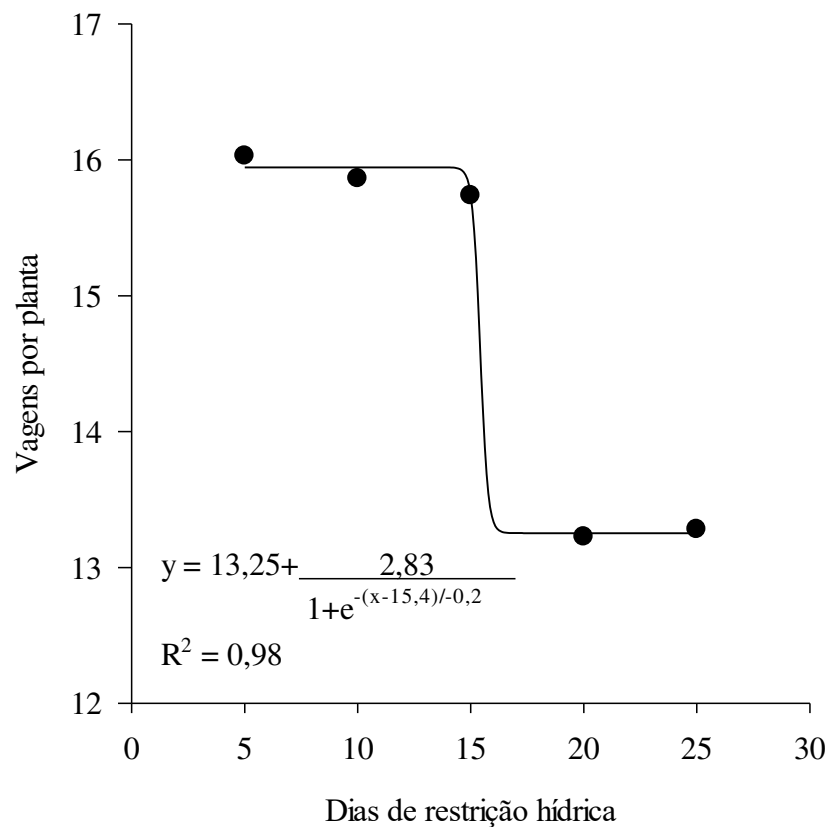


Figura 5. Número de vagens por planta de feijoeiro-comum (NVP) cultivado nos sistemas de semeadura direta e preparo convencional, submetido à períodos de restrição hídrica.

A falta de água no solo induz a redução da área foliar, aumenta a abscisão foliar e diminui a absorção de nutrientes pelas raízes, o que interfere diretamente no crescimento e na produção da cultura (Taiz et al., 2017). Além disso, Oliveira et al. (2018) afirmam que o NVP é o componente da produtividade mais prejudicado pelo déficit hídrico, uma vez que o déficit hídrico durante os estádios R5 e R6 do feijoeiro causa aborto e queda de flores, diminuindo o número de vagens. Esse comportamento foi observado nos tratamentos com períodos mais prolongados de suspensão na irrigação (20 e 25 dias), em que o déficit hídrico atingiu estádios reprodutivos mais avançados e pode ter intensificado a queda de flores e resultado em redução no número de vagens.

O NVP está diretamente relacionado à produtividade (Oliveira et al., 2018). No presente estudo houve correlação positiva de 0,89 entre NVP e produtividade, o que reafirma a dependência entre essas características.

A produtividade e a EUA se comportaram de maneira semelhante; as maiores médias de produtividade foram observadas nas restrições de 5 e 10 dias e a partir de ponto houve decréscimo com o aumento da restrição hídrica. Essa redução foi mais acentuada entre 15 e 20

dias de restrição e os menores valores de produtividade e EUA foram obtidos com restrição hídrica de 25 dias (Figura 6).

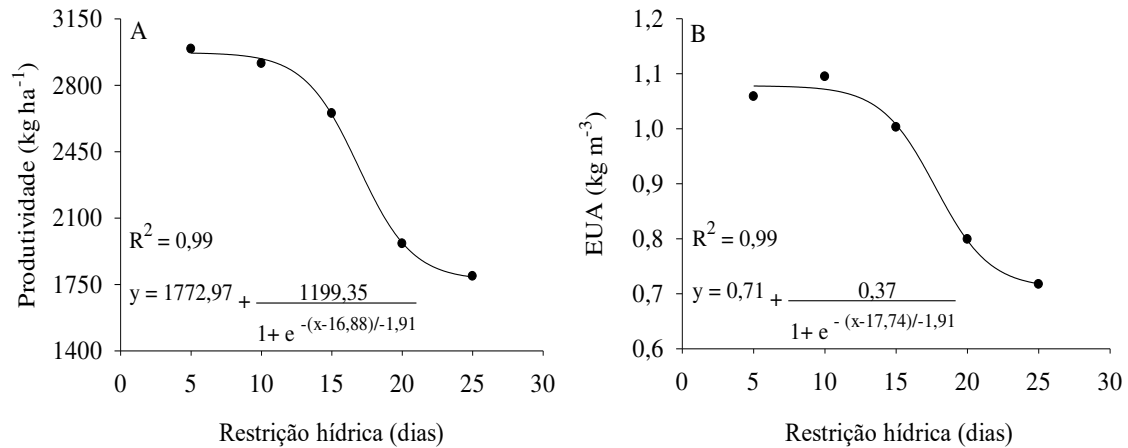


Figura 6. Produtividade em kg ha⁻¹ (A), e eficiência no uso da água em kg m⁻³ (B) de feijoeiro-comum cultivado nos sistemas de semeadura direta e preparo convencional, submetido a períodos de restrição hídrica.

Com até 13,2 dias de suspensão na irrigação, a produtividade foi aproximadamente 2.900 kg ha⁻¹ superior à média de feijão irrigado do estado de Minas Gerais que é de 2.650 kg ha⁻¹ (CONAB, 2020). Já o tratamento com 25 dias foi inferior à essa média e produziu 1.793 kg ha⁻¹ (Figura 6A).

A restrição hídrica de 13,2 dias proporcionou redução de 5% na produtividade em relação ao período de cinco dias de restrição. Freitas et al. (2019), avaliando feijão-caupi em solo arenoso no semiárido brasileiro, constataram redução de 40% na produtividade com 14 dias de suspensão da irrigação. Essa diferença entre resultados pode estar relacionada às condições climáticas locais e ao tipo de solo. O clima do semiárido brasileiro favorece a evapotranspiração e isso, somado à baixa capacidade de retenção de água no solo arenoso, aumenta a necessidade de irrigação.

Já o presente estudo foi conduzido em solo de textura argilosa (Tabela 1) com boa capacidade de retenção de água (Minasny & Mcbratney, 2018) e em condições de clima ameno (Figura 1), o que, aparentemente, favoreceu a manutenção da umidade no solo e reduziu as perdas na produtividade.

Ao analisar o consumo de água e a produtividade entre os tratamentos com 5 e 25 dias de restrição hídrica, constatou-se que 13% de redução na lâmina causou redução de 40% na

produtividade do feijoeiro, reafirmando o impacto negativo causado pela restrição hídrica nos estádios reprodutivos do feijoeiro.

A EUA variou de 1,08 a 0,72 kg m⁻³ nos períodos de restrição hídrica de cinco e 25 dias, respectivamente. Portanto, a redução no consumo hídrico associada ao decréscimo acentuado na produtividade a partir de 15 dias de restrição hídrica afetou negativamente a EUA (Figura 6B).

Os períodos de restrição hídrica não influenciaram a massa de cem grãos nem o número de grãos por vagem que apresentaram valores médios de 28,6 g e 3,9, respectivamente. Souza et al. (2020) estudando feijão-comum e Souza et al. (2016) avaliando feijão-caupi também não constataram alteração no número de grãos por vagem e massa de cem grãos ao alterar a irrigação das culturas, essas características tem pouca variação pois são intrínsecas da cultivar.

CONCLUSÕES

Não houve diferença entre semeadura direta e preparo convencional para o número de vagens por planta, o número de grãos por vagem, a massa de cem grãos e a produtividade de grãos do feijoeiro-comum.

A semeadura direta foi mais eficiente no uso da água e a economia hídrica se deu nas segunda e terceira quinzenas após a semeadura.

A restrição hídrica a partir do estágio R5 do feijoeiro não alterou a massa de cem grãos e o número de grãos por vagem do feijoeiro-comum cultivado em semeadura direta e preparo convencional. Já a produtividade, o número de vagens por planta, o consumo de água e a eficiência no uso da água decresceram com o aumento do período de restrição hídrica a partir de 13,2 dias sem irrigação.

Por tanto, o estudo apontou que o cultivo em semeadura direta e a suspensão hídrica por até 13 dias foram as maneiras de cultivo mais eficientes no uso da água.

REFERÊNCIAS

ALLEN, R. G. et al. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Roma: FAO, 2006

- 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: Ed. UFV, p. 115-144, 2015.
- BIZARI, D. R. et al. Consumo de água e produção de grãos do feijoeiro irrigado em sistemas plantio direto e convencional. **Ciência Rural**, v. 39, n. 7, p. 2073-2079, 2009.
- BRITO, C. F. B. et al. Physiological characteristics and yield of 'Pérola' pineapple in the semi-arid region. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 21, n. 12, p. 834-839, 2017.
- COELHO, M. E. et al. Coberturas do solo sobre a amplitude térmica e a produtividade de pimentão. **Planta Daninha**, v. 31, n.2, p. 369-378, 2013.
- CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da safra brasileira de grãos – 2018/2019**. Brasília: CONAB, 2020. 69p.
- COSTA, F. S. et al. Crescimento, produtividade e eficiência no uso da água em bananeira irrigada no semiárido paraibano. **Revista Caatinga**, v. 25, n. 4, p. 26-33, 2012.
- DERPSCH, R. et al. Why do we need to standardize no-tillage research? **Soil and Tillage Research**, v. 137, p 16-22, 2014.
- DOORENBOS, J.; KASSAN, A. H. **Crop response to water**. Roma: FAO, 194p. (FAO, irrigation and Drainage Paper, 33), 1979.
- EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solo**. 3. ed. Brasília: EMBRAPA, 2017.
- FAO. **Water for sustainable food and agriculture**. Rome: FAO, 2017.
- FRANCHINI, J. C. et al. Evolution of crop yields in different tillage and cropping systems over two decades in southern Brazil. **Field Crops Research**, v. 137, p. 178-185, 2012.
- FREITAS, R. M. O. et al. Uso da água em feijão-caupi sob irrigação deficitária e sistemas de cultivo em região semiárida. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 4, p. 271-276, 2019.
- GASSEN, J. R. F. et al. Resistência específica à tração na operação de escarificação do solo em camadas de forma simultânea. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 18, n. 1, p. 116-124, 2014.

- INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia**. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 28 de maio de 2018.
- MARTINS, F. B. et al. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite para Minas Gerais: cenário atual e projeções futuras. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, p. 129-156, 2018.
- MINASNY, B; A. B. MCBRATNEY, A. B. Limited effect of organic matter on soil available water Capacity. **European Journal of Soil Science**, v. 69, p. 39-47, 2018.
- MOREIRA, W. H. et al. Seasonal changes in soil physical properties under long-term no-tillage. **Soil and Tillage Research**, v. 160, p. 53-64, 2016.
- OLIVEIRA, M. G. C. et al. **Conhecendo a fenologia do feijoeiro e seus aspectos fitotécnicos**. Embrapa: Brasília, 2018.
- ONU. **Organização Das Nações Unidas**. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=140>>. Acesso em: 02 de setembro de 2019.
- 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.
- SANTOS, H. G. et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed. Brasília, DF: EMBRAPA, 2018.
- SILVA, F. A. et al. Milho para ensilagem cultivado nos sistemas de plantio direto e convencional sob efeito de veranico. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, p. 327-340, 2015.
- SOARES, D. S. et al. How diversity of crop residues in long-term no-tillage systems affect chemical and microbiological soil properties. **Soil and Tillage Research**, v. 194, p. 104316, 2019.
- SOUZA, G. C. et al. Respostas fisiológicas e produtividade de feijoeiro cultivado em sistema silviagrícola com diferentes manejos de adubação. **Revista Trópica: Ciências Agrárias e Biológicas**, v. 10, n. 2, 2019.

- SOUZA, S. A. et al. Impact of irrigation frequency and planting density on bean's morpho-physiological and productive traits. **Water**, v. 12, n. 9, p. 2468, 2020.
- SOUZA, T. M. A. et al. Cowpea growth and production under different levels of available water and soil cover. **International Journal of Current Research**, v. 8, p. 39122-39126, 2016.
- SWĘDRZYŃSKA, D.; GRZEŚ, S. Microbiological parameters of soil under sugar beet as a response to the long-term application of different tillage systems. **Polish Journal of Environmental Studies**. v. 24, n. 1, p. 285-294, 2015.
- TAIZ, L. et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed. 2017.
- TAYLOR, S. A. Managing irrigation water on the farm. **Transactions of the ASAE**, v. 8, p. 433-436, 1965.
- TEÓFILO, T. M. S. et al. Eficiência no uso da água e interferência de plantas daninhas no meloeiro cultivado nos sistemas de plantio direto e convencional. **Planta daninha**, v. 30, n. 3, p. 547-556, 2012.

CAPÍTULO 2

ESTIMATIVA DA VIABILIDADE ECONÔMICA DO USO DE DÉFICIT CONTROLADO EM FEIJOEIRO-COMUM (*Phaseolus vulgaris* L.) CULTIVADO EM DIFERENTES SISTEMAS DE CULTIVO

RESUMO: A viabilidade econômica é fator importante no planejamento agrícola. Dessa forma, a estimativa de características econômicas pode se configurar uma ferramenta para tomada de decisão no manejo de irrigação. Objetivou-se avaliar a viabilidade econômica do cultivo de feijoeiro-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) em dois sistemas de cultivo e com diferentes períodos de restrição hídrica. O experimento foi realizado em Viçosa – MG, em esquema de parcelas subdivididas delineadas em blocos casualizados com quatro repetições. Nas parcelas foram alocados dois sistemas de cultivo (semeadura direta e preparo convencional) e nas subparcelas cinco períodos de restrição hídrica (5, 10, 15, 20 e 25 dias) aplicados a partir do estágio R5. Para estimar a viabilidade econômica, considerou-se um sistema de irrigação por aspersão convencional com intensidade de aplicação de 4,24 mm h⁻¹. Os benefícios foram calculados a partir da produtividade e do preço de venda da produção. Foram considerados os custos fixos e variáveis na implantação, condução da lavoura e sistema de irrigação. A viabilidade econômica foi avaliada a curto prazo por meio de receita líquida, receita bruta e relação benefício-custo. A avaliação da viabilidade econômica a longo prazo foi realizada por meio da taxa interna de retorno, do valor presente líquido e do “payback”. Na semeadura direta houve economia com água, energia elétrica e mão de obra em relação ao preparo convencional. A partir de 13,2 dias, à medida que se aumentou o período de restrição hídrica, houve queda na produtividade, nas receitas (líquida e bruta) e na relação benefício-custo, atingindo os menores valores com 25 dias de restrição. A curto prazo, em ambos os sistemas de cultivo os períodos de restrição hídrica foram viáveis até 24,1 dias, entretanto, apenas os tratamentos com 5, 10 e 15 dias de restrição hídrica foram economicamente viáveis a longo prazo.

Palavras-chave: Valor presente líquido, taxa interna de retorno, aspersão convencional, relação benefício-custo, plantio direto.

**ECONOMIC FEASIBILITY ESTIMATION OF THE USE OF CONTROLLED
DEFICIT IN COMMON BEAN (*Phaseolus vulgaris* L.) CULTIVATED IN
DIFFERENT TILLAGE SYSTEMS**

ABSTRACT: Economic feasibility is an important factor in agricultural planning. Thus, the estimation of economic characteristics can become a tool for decision making in irrigation management. The aim was to evaluate the economic feasibility of growing common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in two tillage systems and with different periods of water restriction. The experiment was conducted in Viçosa - MG, in randomized complete blocks design with split plot arrangement. In the main plots were allocated the cropping systems (no-tillage and conventional tillage) and in the subplots the periods of irrigation restriction (5, 10, 15, 20 and 25 days) applied from the beginning of the R5 stage. To estimate the economic viability, a conventional sprinkler irrigation system with a water application intensity of 4.24 mm h⁻¹ was considered. The benefits were calculated from the productivity and the sale price of the production. The costs were considered in the implementation, conduction of the crop and irrigation system. The economic feasibility was evaluated in the short term by means of net revenue, gross revenue, and benefit-cost ratio. The long-term economic feasibility was evaluated by the internal rate of return, net present value, and payback. The both tillage systems presented similar benefits (productivity), however in the no-tillage system there were water, electricity and labor savings.. After 13.2 days, as the period of water restriction increased, there was a decrease in productivity, revenues (net and gross) and the benefit-cost ratio, reaching the lowest values with 25 days of restriction. In the short term, in both cropping systems, water restriction periods were viable up to 24.1 days of water restriction, however, only the treatments with five, 10 and 15 days of water restriction were economically viable in the long term.

Keywords: Net present value, internal rate of return, conventional sprinkler irrigation, benefit-cost ratio, no-tillage

INTRODUÇÃO

O Brasil destaca-se mundialmente como o maior produtor de feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) (FAO, 2018). O cultivo pode ser realizado em sequeiro ou irrigado de acordo com a época e as condições climáticas, de modo que a terceira safra é dependente de irrigação.

Com o aumento da escassez hídrica em diversas regiões, tornar a irrigação mais sustentável e aumentar a eficiência do uso da água são as principais formas de garantir a segurança alimentar. Deste modo, o uso de déficit hídrico em algumas fases mais responsivas do cultivo pode favorecer a economia de água (Du et al., 2015). Estratégias de manejo de irrigação empregando o déficit controlado devem avaliar os impactos na produtividade da cultura e os benefícios econômicos (Noguera-Artiaga et al., 2018).

Uma forma de reduzir as perdas na produção causadas pelo déficit hídrico é suprir a demanda da cultura reduzindo as perdas por evaporação do solo e mantendo a umidade próxima da capacidade de campo. A semeadura direta destaca-se como uma alternativa para conservar a umidade do solo. O uso de cobertura morta diminui a evaporação e favorece a manutenção da umidade do solo, reduzindo as irrigações (Pereira et al., 2015).

Avaliar a viabilidade econômica é de extrema importância na tomada de decisão, uma vez que alterações no manejo podem tornar o empreendimento inviável.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi estimar a viabilidade econômica do feijoeiro-comum cultivado em semeadura direta e preparo convencional submetido a diferentes períodos de restrição hídrica.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no município de Viçosa – MG (20°74'15''S e 42°84'54''O), na Unidade de Ensino Pesquisa e Extensão Aeroporto pertencente à Universidade Federal de Viçosa entre os meses de julho e novembro de 2017. Segundo a classificação de Köppen, o clima da região é do tipo Cwa – clima mesotérmico com verão quente e inverno seco (Martins et al., 2018). Os dados diários de temperatura foram obtidos no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2018) e os dados de precipitação pluviométrica foram coletados em pluviômetros instalados na área experimental (Figura 1).

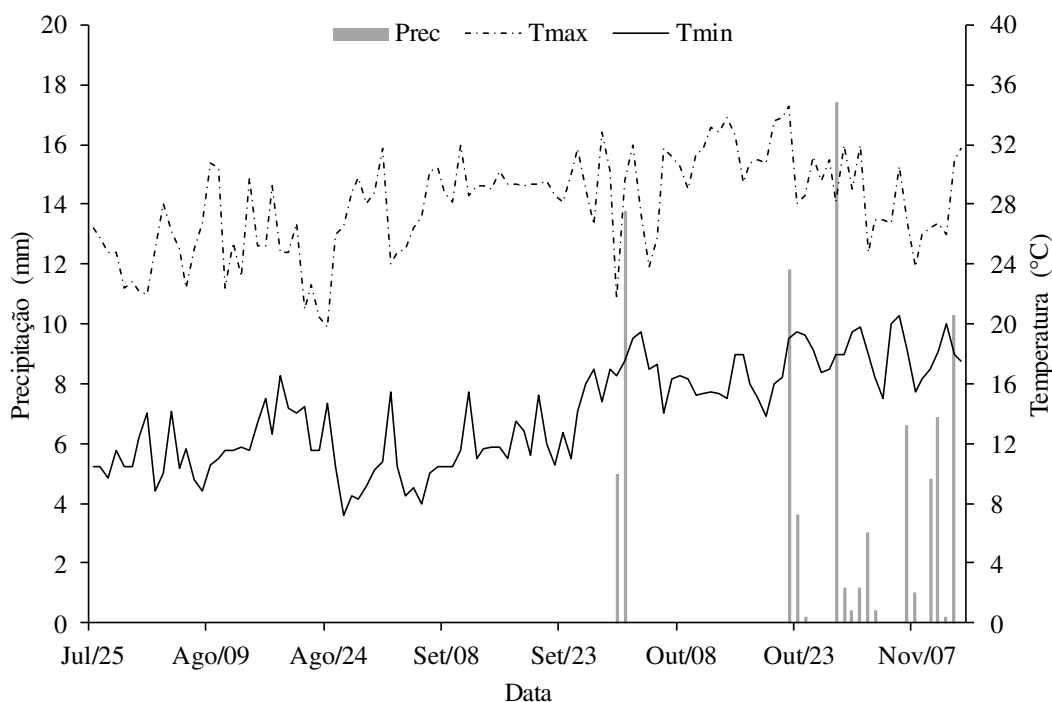


Figura 1. Precipitação total e média da temperatura máxima e mínima durante o experimento (INMET, 2018).

O experimento foi realizado em esquema de parcelas subdivididas delineadas em blocos casualizados com quatro repetições. Nas parcelas foram alocados dois sistemas de cultivo (semeadura direta e preparo convencional) e nas subparcelas cinco períodos de restrição hídrica (5, 10, 15, 20 e 25 dias). Cada unidade experimental possuía 35 m² e foi composta por nove fileiras de 7,0 metros de comprimento, espaçadas de 0,50 m. Considerou-se como área útil os 3,0 metros centrais das quatro fileiras centrais (6 m²).

Na safra anterior a área foi cultivada com milho (grão) e após a colheita do milho realizou-se o cultivo de aveia-preta (*Avena strigosa*) para a produção de cobertura morta para a semeadura direta. Semeou-se 10 kg ha⁻¹ de sementes viáveis de aveia-preta, a irrigação se deu por aspersão convencional e o cultivo não foi adubado. Foi realizada a dessecação da aveia-preta 70 dias após o semeio com aplicação de 1,9 kg ha⁻¹ e.a. do herbicida glyphosate e a massa da matéria seca da cobertura morta no momento do plantio do feijoeiro foi de 2.250 kg ha⁻¹. No sistema de preparo convencional o solo foi preparado com uma aração e duas gradagens.

O plantio do feijoeiro-comum cultivar Ouro-Vermelho foi realizado no dia 25 de julho de 2017, foi usado na adubação de plantio 300 kg ha⁻¹ do adubo formulado 8-28-16 (N-P-K). Aos 25 dias após a emergência aplicou-se em cobertura 35 kg ha⁻¹ de N (sulfato de amônio), aplicou-se também via pulverização foliar 80 g ha⁻¹ de molibdênio (molibdato de sódio). As

plantas daninhas foram controladas com a aplicação dos herbicidas seletivos para a cultura: fomesafen (125 g i.a. ha⁻¹) e fluazifop-p-butil (250 g i.a. ha⁻¹) aos 10 e 15 dias após a emergência (DAE), respectivamente. O stand da cultura foi de 200.000 plantas por hectare.

Em cada unidade experimental foram instalados 2 microaspersores espaçados a 3 metros, com intensidade de aplicação de 2,12 mm h⁻¹ e diâmetro molhado de 6 metros. Optou-se por esse sistema de irrigação devido ao tamanho das parcelas. Foram instaladas válvulas reguladoras que mantiveram a pressão no sistema de irrigação em 10 mca durante todo o experimento e o turno de rega adotado foi de 5 dias.

Entretanto, como a irrigação mais usada no feijoeiro é por aspersão convencional (Stone; Silveira, 2020), optou-se por estimar a viabilidade econômica desse sistema de irrigação mantendo a intensidade de aplicação usada do experimento. Foi projetado um sistema de irrigação por aspersão convencional considerando todos os materiais necessários: conjunto motobomba, tubos, conexões, aspersores, registros e etc. Os custos foram estimados com base nos valores de mercado da região. O custo do sistema de irrigação foi de R\$ 9.721,75 ha⁻¹, considerando um conjunto motobomba elétrico de 10 cv.

O manejo da irrigação foi realizado individualmente em cada unidade experimental com base na leitura de um tensiômetro instalado a 15 cm de profundidade entre os dois microaspersores. O fornecimento de água foi interrompido no início da emissão de botões florais (estádio R5) e retomado com 5, 10, 15, 20 e 25 dias de acordo com o respectivo tratamento. O consumo total de água foi dado em função da lâmina aplicada pelo sistema de irrigação e da precipitação ocorrida durante o ciclo da cultura.

No final do estágio R9, quando as sementes estavam com teor de umidade de aproximadamente 15%, foram colhidas duas fileiras da área útil e determinada a produtividade de grãos. A produtividade foi corrigida para umidade de 13%, abaixo do máximo permitido para venda pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2008).

Para análise de viabilidade econômica foi considerada uma safra irrigada de feijão por ano durante o inverno. Para reduzir os riscos e incertezas do investimento no sistema de irrigação, as variáveis sujeitas a maior variação durante os anos de cultivo foram submetidas à simulação por Monte Carlo usando a distribuição triangular para determinação do valor esperado (Machado & Ferreira, 2012) (Tabela 1).

Tabela 1. Valores utilizados na simulação por Monte Carlo para estudo da estimativa de viabilidade econômica do feijão cultivado com déficit hídrico.

Parâmetro	Valores
-----------	---------

	Mínimo	Modal	Máximo
Taxa de juros (% ao ano)	6,5	7,5	8,5
Taxa de manutenção do sistema de irrigação (% ao ano)	1	2	3
Preço de venda da saca de 60 kg de feijão (R\$ sc ⁻¹)	86,83	116,78	212,76
Preço da água (R\$ m ⁻³)	0,01	0,02	0,03
Horas de trabalho mensais do funcionário (h mês ⁻¹)	120	160	240
Horas do funcionário por irrigação (h ha ⁻¹ irrig ⁻¹)	0,2	0,3	0,5

Os valores submetidos à simulação por Monte Carlo para a taxa de juros foram definidos com base nas taxas de juros para investimentos do Plano Agrícola e Pecuário 2017/2018 (MAPA, 2019). Os valores do preço de venda da saca de feijão foram baseados nos valores de mercado em nível de produtor, para o estado de Minas Gerais, estimados pela Companhia Nacional de Abastecimento durante o ano de 2017 (CONAB, 2019). E as horas do funcionário destinadas à irrigação foram baseadas no proposto por Marouelli e Silva (1998).

A receita bruta foi calculada a partir da produtividade obtida e do preço de venda pelo produtor. O custo total para cultivo de feijão irrigado foi estimado pelo somatório dos custos com a lavoura e dos custos totais com o sistema de irrigação por aspersão convencional.

O custo com a lavoura foi estimado pelas despesas de custeio de pré-plantio, plantio, condução da lavoura, colheita, pós-colheita, despesas financeiras e depreciação (IFAG, 2019). Nas despesas de pré-plantio, além da aplicação de calcário e gesso, para o preparo convencional considerou-se os custos com uma aração e duas gradagens e para a semeadura direta os custos com a dessecação da cultura que forneceu a cobertura morta.

O custo total com o sistema de irrigação foi dividido em custo fixo do investimento e custos variáveis. O custo fixo corresponde ao custo anualizado do sistema de irrigação, calculado a partir do custo estimado do sistema de irrigação (R\$ 9.721,75 ha⁻¹), da taxa de juros esperada e da vida útil do sistema, considerada 10 anos.

Os custos variáveis consideraram o custo com a manutenção do sistema, mão-de-obra, água e energia elétrica. O custo com mão de obra foi calculado com base no número de irrigações realizadas, nas horas de trabalho mensais do funcionário, nas horas que o funcionário se dedica ao sistema de irrigação e no salário mensal do funcionário. O salário mínimo foi de R\$ 1.364,18, considerando o valor do salário mínimo para o ano de 2017 e os demais encargos.

O custo com água foi determinado com base na lâmina de água necessária para cultivo do feijoeiro e do preço da água. No caso da energia elétrica, o custo foi calculado com base na tarifa de consumo rural no patamar 2 da bandeira vermelha (R\$ 0,537 kWh⁻¹) cobrada pela fornecedora de energia elétrica, Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG, 2019),

durante o ano de 2017 e no consumo pelo bombeamento do sistema de irrigação para aplicação da lâmina de água irrigada.

Para análise da viabilidade econômica a curto prazo, considerou-se a receita líquida e a relação benefício-custo. E para a análise a longo prazo considerou-se o valor presente líquido, taxa interna de retorno e o payback.

Valor presente líquido (VPL) traz ao presente um valor futuro, sendo a diferença entre o valor dos benefícios e o valor dos custos em valores monetários atuais. Ou seja, os fluxos de caixa ao longo da vida útil do sistema de irrigação (10 anos) serão descontados no ano zero do investimento a uma taxa de juros que indica o mínimo de retorno para o investimento (taxa mínima de atratividade). O VPL é calculado pela seguinte equação:

$$VPL = \sum_{t=0}^N \frac{F_t}{(1+j)^t}$$

em que:

VPL - valor presente líquido, em R\$ ha⁻¹;

J - taxa mínima de atratividade (TMA), em decimal;

N - horizonte do projeto, em anos;

F_t - fluxo de caixa líquido em cada ano, em R\$ ha⁻¹.

Taxa interna de retorno (TIR) é o valor da taxa de desconto (juros) que deixa o VPL nulo. Ou seja, é a taxa em que os benefícios se igualam aos custos. Desse modo:

$$\sum_{t=0}^N \frac{F_t}{(1+p)^t} = 0$$

em que:

p - taxa interna de retorno, em decimal.

O payback estima o tempo que levará para o gestor recuperar o investimento inicial e é calculado pela seguinte equação.

$$\text{Payback (meses)} = \frac{\text{Investimento inicial}}{\text{Fluxo de caixa}}$$

As médias de VPL, TIR e Payback foram analisadas por estatística descritiva por meio de gráficos e medidas de posição e dispersão. Os demais resultados foram submetidos à análise de variância e de regressão. Os sistemas de cultivo foram comparados pelo teste F a 5% de significância e os períodos de restrição hídrica foram avaliados por meio de regressão. Para a escolha do modelo considerou-se a explicação biológica, a significância dos parâmetros pelo teste t a 5% e o coeficiente de determinação (R^2). O software usado para ambas as análises foi o R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2014).

$$R^2 = \frac{\text{Soma de quadrados da regressão}}{\text{Soma de quadrados do tratamento}}$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Não houve interação significativa entre o sistema de cultivo e o período de restrição hídrica para todas as variáveis analisadas. Dessa forma, analisou-se o efeito isolado dos fatores.

O número de irrigações, a lâmina de irrigação aplicada e o consumo total de água foram menores na semeadura direta (Tabela 2). Isso ocorreu devido a maior capacidade de retenção de água no solo nesse sistema. A palhada interfere na incidência de raios solares no solo e diminui a evaporação, mantendo a umidade do solo por um período mais prolongado (Pereira et al., 2015).

Tabela 2. Média do número de irrigações realizadas, lâmina de irrigação aplicada, consumo total de água e produtividade (sacas de 60 kg) de feijoeiro em semeadura direta e preparo convencional.

Sistema de cultivo	Número de irrigações	Lâmina de irrigação (mm)	Consumo total de água (mm)	Produtividade (kg ha ⁻¹)
Convencional	17,75 A	243,03 A	294,4 A	2502,8 A
Direto	14,30 B	184,46 B	235,9 B	2423,6 A
CV (%)	7,4	8,6	6,0	8,2

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste F a 5% de significância. CV – coeficiente de variação da parcela.

Não se observou diferença na produtividade do feijoeiro entre os dois sistemas de cultivo. Isso pode ser explicado devido ao pouco tempo de implantação desse sistema (2 anos), não sendo possível observar sua influência na produtividade da cultura, ocasionada principalmente pela melhoria nas características do solo (Soane et al., 2012). Ademais, a produtividade em semeadura direta durante sua estabilização não difere em relação ao cultivo convencional (Franchini et al. 2012)

Esse resultado diverge de outros estudos conduzidos nesses dois sistemas de cultivo e sob efeito de restrição hídrica. Para feijão-caupi (Freitas et al., 2013) e milho (Silva et al., 2015), a produtividade foi superior na semeadura direta, devido às melhorias nas características químicas do solo. Entretanto, nesses estudos, o cultivo em semeadura direta já era realizado há 4 anos no momento da condução do experimento, o que justifica a diferença entre os sistemas de cultivo encontrada pelos autores.

Ao considerar os períodos de restrição hídrica, o número de irrigações durante o ciclo da cultura, a lâmina aplicada e o consumo total de água pela cultura apresentaram comportamento linear. Com o aumento do período de interrupção do fornecimento de água há decréscimo no número de irrigações realizadas e, conseqüentemente, na lâmina aplicada e no consumo total de água (Figura 2A, 2B e 2C).

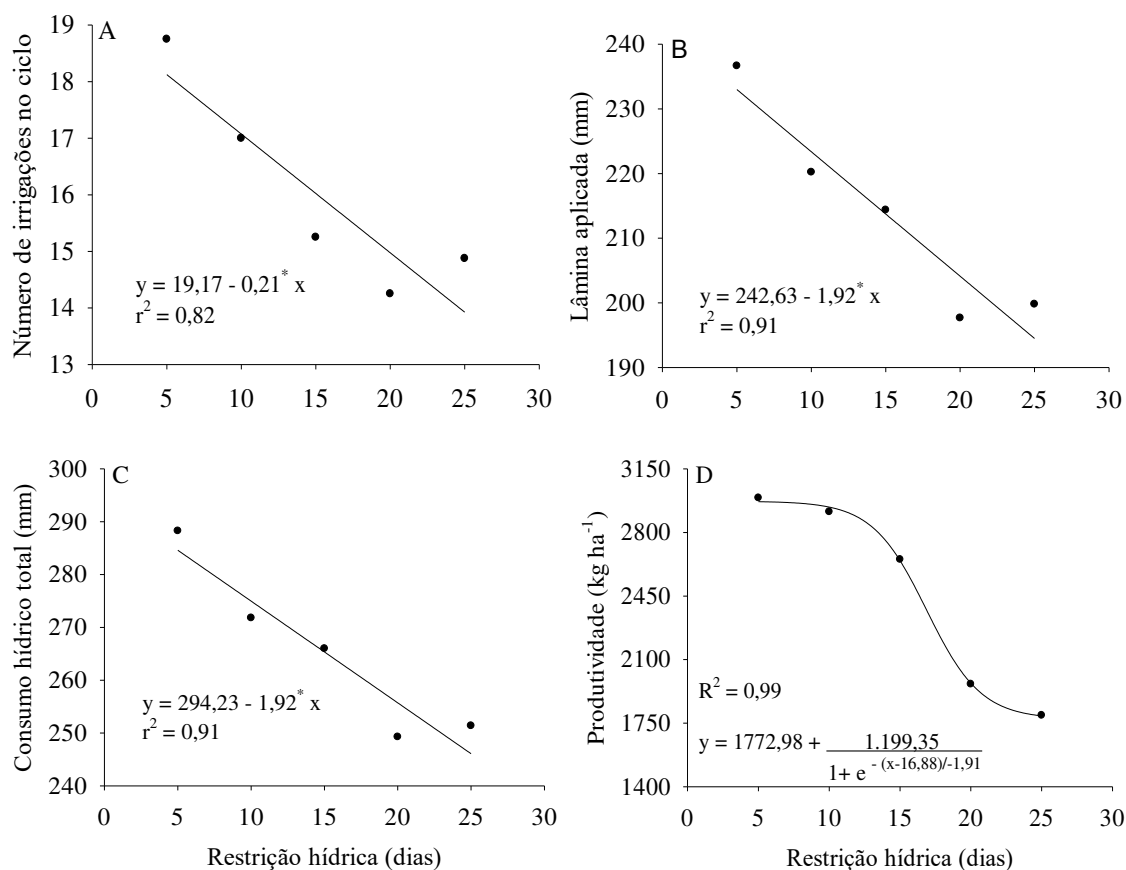


Figura 2. Número de irrigações durante o ciclo (A), lâmina aplicada (B), consumo total de água (C) e produtividade (D) do cultivo de feijoeiro-comum submetido a períodos de restrição hídrica e reidratação; * Significativo pelo teste t a $p \leq 0,05$.

A produtividade apresentou comportamento sigmoidal em relação ao período de interrupção do fornecimento de água. Até 13,2 dias de restrição hídrica a produtividade se mantém estável, a partir desse ponto ocorreu decréscimo acentuado atingindo a menor produtividade aos 25 dias. Esse comportamento é corroborado pelo estudo de Mathobo et al. (2017), em que os autores observaram que a aplicação de déficit hídrico nos períodos críticos de demanda hídrica para essa cultura pode causar redução drástica na produtividade de grãos.

Ucar et al. (2009), avaliando o déficit hídrico nos estágios do feijoeiro comum (vegetativo, florescimento, enchimento de grãos e maturação), observaram redução na produtividade de grãos quando o estresse foi aplicado no período de florescimento e enchimento de grãos. Esses autores também afirmaram que o déficit na fase de florescimento causa queda de flores e vagens o que reduz a produção de grãos, entretanto, quando realizado na maturação não houve diferença na produtividade.

A produtividade média do feijoeiro foi de 2.990 e 2.819 kg ha^{-1} para a interrupção do fornecimento de água por 5 e 13,2 dias, respectivamente. A produtividade esperada para o

feijoeiro cv. Ouro-Vermelho ao aplicar a lâmina de 100% da necessidade hídrica é de aproximadamente 2.940 kg ha⁻¹ (Costa et al., 2016). Isso demonstra que a interrupção da irrigação por até 13,2 dias no início do estágio R5 não afetou a produtividade do feijoeiro, mesmo sendo realizada no início da emissão dos botões florais, considerada uma fase crítica para a cultura (Ucar et al., 2009).

Nos períodos mais prolongados de restrição hídrica, 15 a 25 dias, a interrupção no fornecimento de água atingiu, além do florescimento da cultura, o período de enchimento de grãos, que também é um estágio crítico para ocorrência de déficit hídrico (Soratto et al., 2003; Ucar et al., 2009), o que reduziu a produtividade. Segundo Oliveira et al. (2018), a produtividade do feijoeiro sob déficit hídrico pode chegar a 62% da produtividade esperada para a cultura sem supressão de água. No entanto, isso pode variar dependendo da duração, intensidade, frequência e época de ocorrência do déficit hídrico. Neste caso, o tratamento de 25 dias produziu 1.793 kg ha⁻¹, o que representa redução de aproximadamente 40%, quando comparado ao período entre cinco e 13,2 dias.

O custo com a lavoura foi diferente ao comparar os dois sistemas de cultivo, o preparo convencional foi R\$ 370,81 mais caro que a semeadura direta. Isso ocorreu devido ao pré-plantio do preparo convencional (aração e gradagem) que foi mais oneroso que o pré-plantio do cultivo em semeadura direta (dessecação) (Tabela 3).

Tabela 3. Média dos custos para cultivo de feijoeiro em sistema de preparo convencional e semeadura direta.

Custos (R\$ ha ⁻¹)	Sistema de cultivo		CV (%)
	Convencional	Direto	
Lavoura*	4.081,10 A	3.710,29 B	1,1
Aquisição do sistema de irrigação	170,72 A	170,72 A	0
Manutenção do sistema de irrigação	51,80 A	51,80 A	0
Água	51,86 A	39,36 B	8,6
Mão de obra	47,33 A	38,13 B	7,4
Energia elétrica	235,98 A	179,11 B	8,6
Custo total com o sistema de irrigação	557,70 A	479,13 B	3,6
Custo total para cultivo irrigado	4.638,8 A	4.189,42 B	0,6

*Os custos da lavoura envolvem custeio pré-plantio, semeadura, condução da lavoura, colheita, pós-colheita, despesas financeiras e depreciação. Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste F a 5% de significância. CV – coeficiente de variação.

O custo estimado por hectare do sistema de irrigação por aspersão convencional foi de R\$ 9.721,75, ou seja, considerando o período de 10 anos e taxa de juros de 7,63% estimada pela simulação de Monte Carlo, correspondeu a R\$ 170,72 ha⁻¹ por ciclo (90 dias). A manutenção

do sistema, considerando uma taxa de 2,13%, foi de R\$ 51,80 ha⁻¹ por ciclo. Como não são influenciados pelo sistema de cultivo, os custos com o sistema de irrigação e a manutenção foram iguais.

Os custos com água, mão de obra e energia elétrica foram menores em semeadura direta, devido ao menor número de irrigações realizadas e menor lâmina de irrigação aplicada no ciclo da cultura. Assim, foi necessário menos mão de obra e menor tempo de funcionamento do conjunto motobomba, o que refletiu no menor custo com mão de obra e energia elétrica (Tabela 3). Devido ao maior tempo de funcionamento do sistema e maior custo com a lavoura, o custo total para cultivo irrigado de feijoeiro foi R\$ 449,38 superior no sistema de preparo convencional em relação à semeadura direta.

Os custos com a lavoura irrigada diminuíram com o aumento do período de restrição hídrica (Figura 3). Essa redução se deve ao menor número de irrigações realizadas durante o ciclo da cultura, menor lâmina aplicada e menor tempo de funcionamento do sistema.

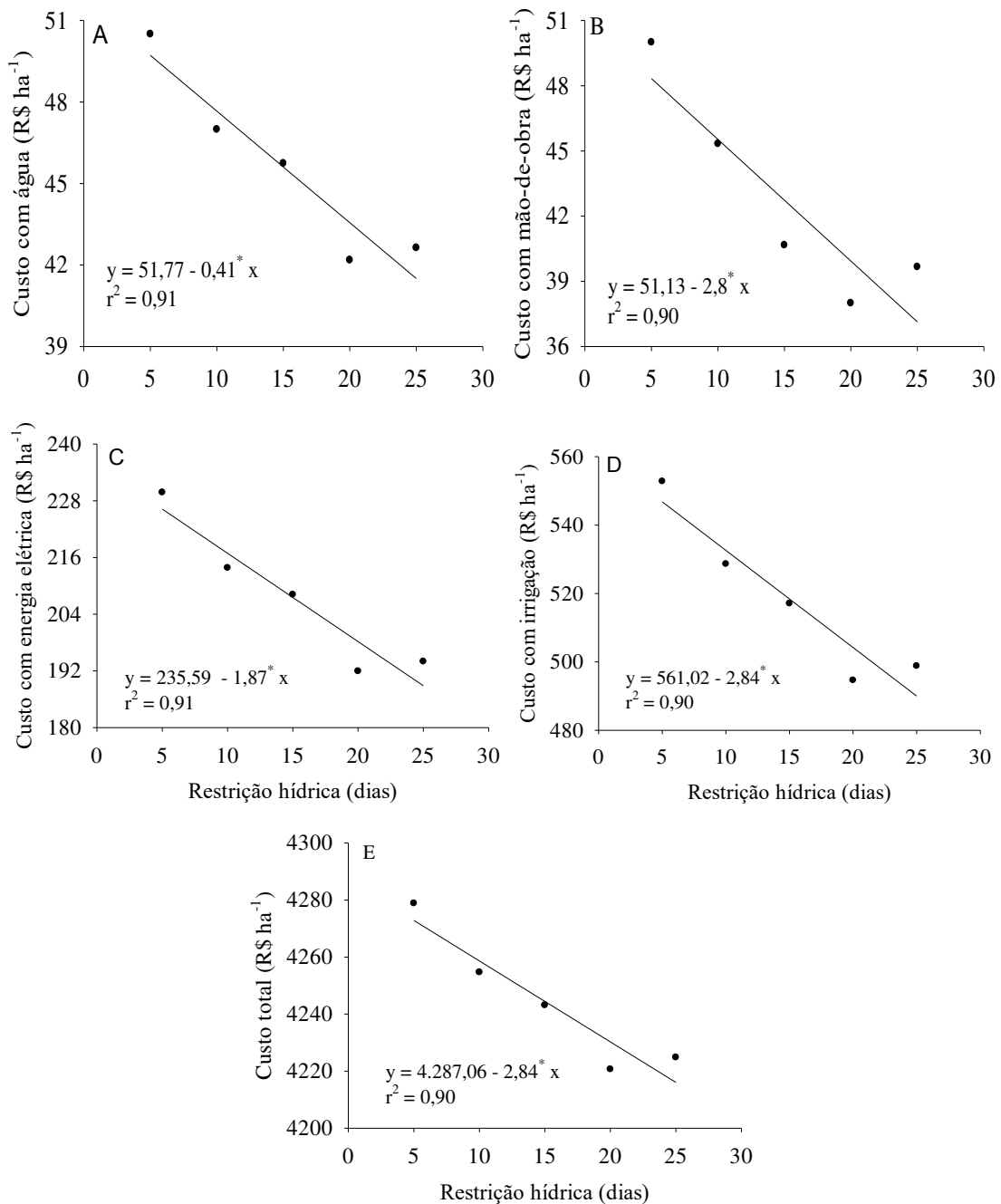


Figura 3. Custos médios com água (A), com mão de obra (B), com energia elétrica (C), com o sistema de irrigação (D) e total (E) do cultivo de feijoeiro-comum submetido a períodos de restrição hídrica e reidratação; * Significativo pelo teste t a $p \leq 0,05$.

O modelo linear apresentou ajuste adequado para o custo com água, o custo com mão-de-obra o custo com energia elétrica, o custo com o sistema de irrigação e o custo total do cultivo.

Ao aumentar o período de restrição hídrica de 5 para 25 dias, o custo com água e mão de obra reduziram 16 e 20%, respectivamente. Dentre os custos variáveis com o sistema de

irrigação analisados, o custo com energia elétrica foi o maior e, portanto, exerceu maior influência no custo total com o sistema de irrigação. Jordan et al. (2012) também afirmaram que a energia elétrica é o fator que mais influencia nos custos com irrigação. O custo com energia elétrica variou de R\$ 229,80 a R\$ 194,00 ha⁻¹ por ciclo, nos períodos de interrupção da irrigação por 5 e 25 dias, respectivamente, correspondendo a 18% de aumento.

Como não houve diferença na produtividade e o preço de venda da saca de feijão foi considerado o mesmo para ambos os sistemas de cultivo (R\$ 144,36), não foi observada diferença significativa na receita bruta e na receita líquida (Tabela 4). Em ambos os sistemas de cultivo obteve-se receita líquida positiva, indicando que o cultivo de feijoeiro irrigado por aspersão convencional é financeiramente viável.

Tabela 4. Média da receita bruta (R\$ ha⁻¹), receita líquida (R\$ ha⁻¹) e relação benefício-custo do cultivo de feijoeiro em semeadura direta e preparo convencional.

Avaliação financeira	Sistema de cultivo		CV (%)
	Convencional	Direto	
Receita bruta	6.021,36 A	5.831,33 A	8,2
Receita líquida	1.382,56 A	1.641,91 A	32,3
Relação B/C	1,30 A	1,39 A	8,4

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste F a 5% de significância. CV – coeficiente de variação.

Um empreendimento é considerado viável financeiramente quando a relação benefício-custo é superior a 1 (Mendonça et al., 2009) e quanto maior esse valor mais atrativo é o investimento. Apesar de o custo total para cultivo de feijoeiro em sistema de preparo convencional ter sido superior, isso não refletiu na relação benefício-custo, sendo igual à semeadura direta.

Considerando os períodos de suspensão da irrigação, a receita bruta, a receita líquida e a relação benefício-custo apresentaram comportamento sigmoidal, uma vez que dependem da produtividade que também apresentou esse tipo de comportamento. A receita bruta e a relação benefício-custo mantiveram-se constantes até 13,2 dias de suspensão hídrica, já a receita líquida decresce a partir de 10,8 dias sem irrigação (5% de redução) (Figura 4).

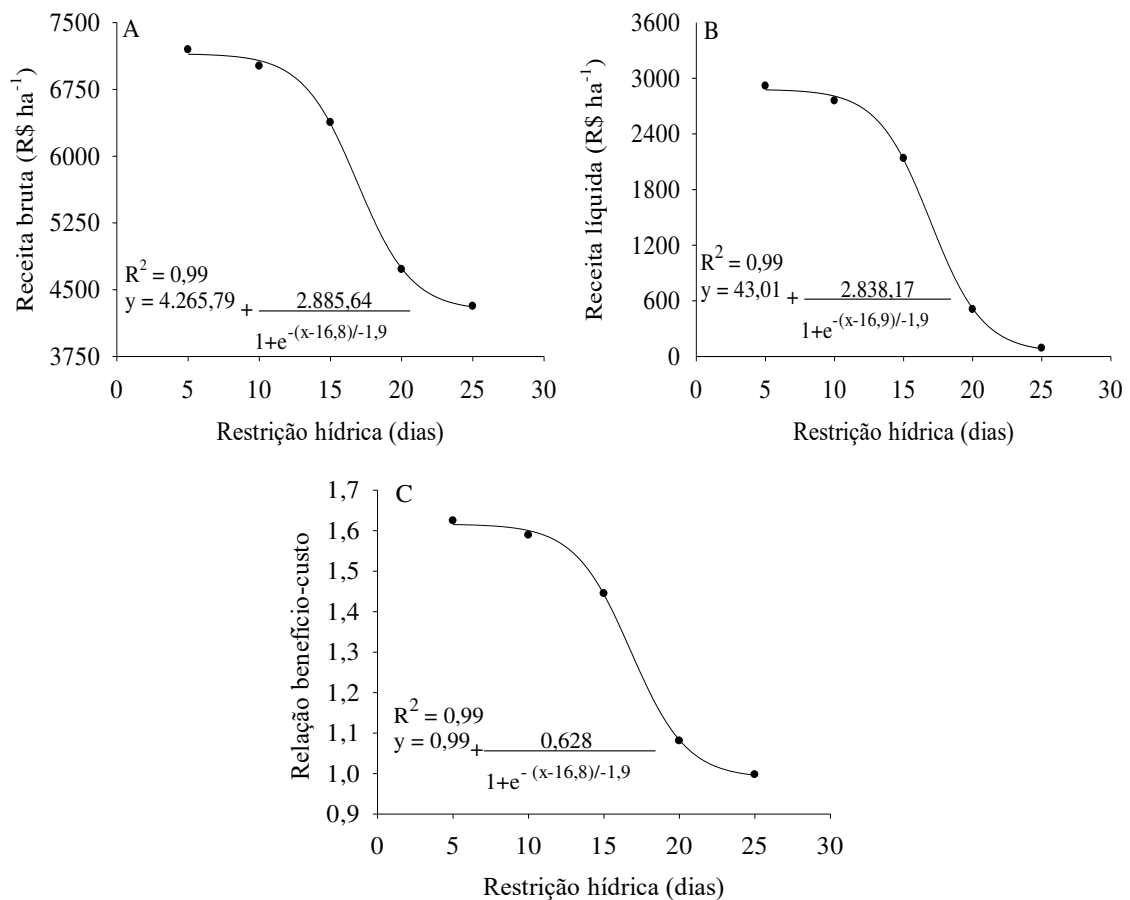


Figura 4. Média da receita bruta (A), receita líquida (B) e relação benefício-custo (C) do cultivo de feijoeiro-comum submetido a períodos de restrição hídrica e reidratação.

A redução observada nessas variáveis se deve à redução na produtividade da cultura. Para o período de 25 dias de suspensão, em que a média de produtividade foi de 1.793 kg ha⁻¹, a receita líquida foi pouco expressiva. Mesmo com a redução do custo total para condução da lavoura nesse tratamento a relação benefício-custo foi de 0,996. Ou seja, os benefícios e os custos praticamente são iguais o que não representa prejuízos, mas também não é economicamente interessante.

Apesar de a interrupção do fornecimento de água ter sido realizada em períodos críticos para a cultura do feijoeiro, o sistema de irrigação foi financeiramente viável para o período de restrição de cinco a 24,15 dias, apresentando relação benefício-custo variando de 1,61 a 1,01, respectivamente. A maior rentabilidade foi constatada nos períodos de restrição hídrica entre cinco e 13,4 dias de suspensão da irrigação (variação de 5%).

Em estudo com algodoeiro, Shareef et al. (2018) observaram que, ao aplicar 80, 60 e 40% da lâmina necessária para manter o solo na capacidade de campo, a produtividade e as receitas líquida e bruta também reduziram. No entanto, para o algodoeiro, mesmo o maior

déficit resultou em receita líquida positiva, indicando que, em caso de escassez extrema, essa restrição também poderia ser utilizada, apesar de os autores sugerirem uma irrigação com déficit de 80%.

A receita líquida e a relação benefício-custo foram usadas para avaliar viabilidade deste cultivo a curto prazo, uma vez que foram referentes a um ciclo da cultura do feijoeiro-comum (90 dias). Nesse sentido, como o tempo de vida útil do sistema de irrigação foi de 10 anos se faz necessário o uso de indicadores de viabilidade que considerem o fluxo de caixa durante todo o período de uso do sistema de irrigação (longo prazo). Dentre estes destacam-se o valor presente líquido (VPL), a taxa interna de retorno (TIR) e o payback.

Ambos os sistemas de cultivo apresentaram comportamento semelhante para o VPL e a TIR, positivos nas restrições da irrigação por 5, 10 e 15 dias e negativos com 20 e 25 dias sem irrigação (Figura 5). Os VPLs positivos indicam que as estimativas de receitas são maiores que os custos previstos no momento do investimento no sistema de irrigação, considerando vida útil de 10 anos e taxa de juros de 7,63% ao ano (taxa mínima de atratividade). Ou seja, de acordo com o VPL a suspensão da irrigação por 5, 10 e 15 dias seguida de reidratação é economicamente viável ao longo da vida útil do sistema de irrigação (Figura 5A). Gomes et al. (2013) também constaram que lâminas de irrigação em torno de 300 mm no ciclo do feijoeiro-comum foram as mais rentáveis e viáveis economicamente.

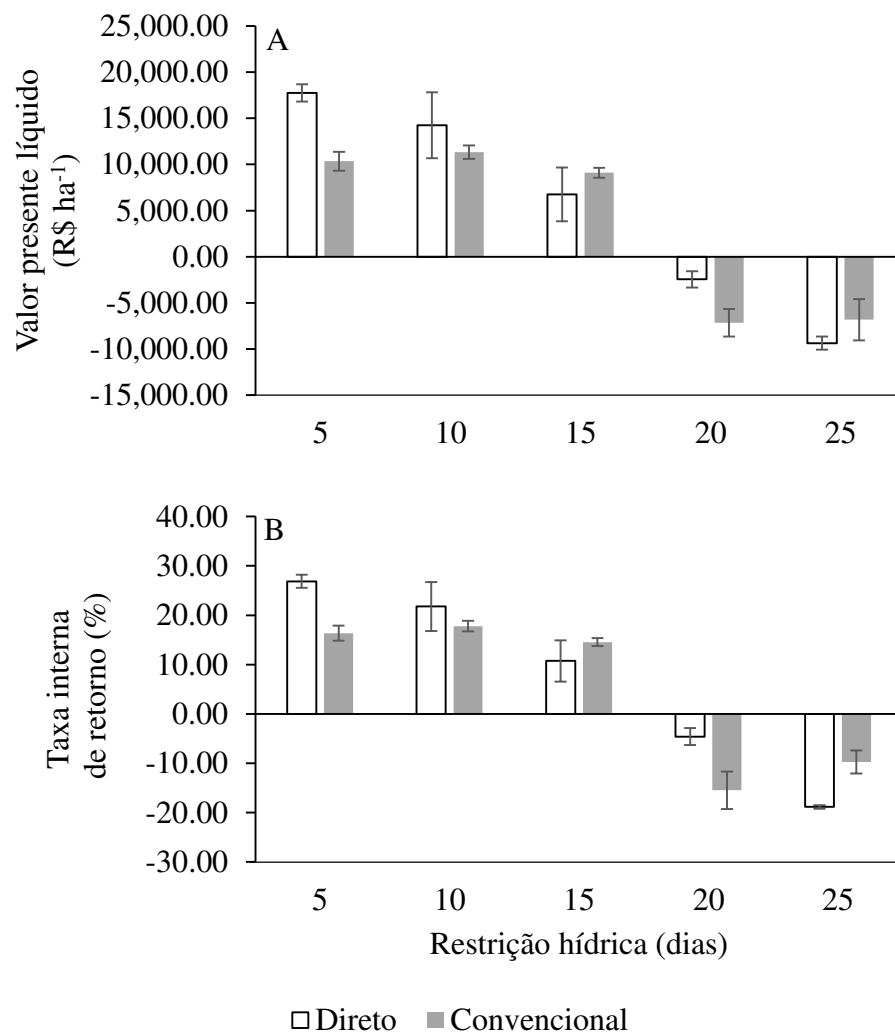


Figura 5. Média e erro padrão da média do valor presente líquido (A) e da taxa interna de retorno (B) do cultivo de feijoeiro-comum submetido a períodos de restrição hídrica e reidratação em semeadura direta e preparo convencional.

A TIR representa a taxa de desconto que um investimento deve ter para que seu VPL seja igual a zero (igualdade entre benefícios e custos). Desse modo, para indicar que o cultivo do feijoeiro será viável a TIR deve ser superior a taxa de atratividade (7,63% ano⁻¹). Nesse sentido, considerando a TIR, as restrições na irrigação por 5, 10 e 15 dias são economicamente interessantes em ambos os sistemas de cultivo, o que não acontece nos tratamentos com 20 e 25 dias de suspensão na irrigação que apresentaram médias negativas em ambos os sistemas de cultivo (Figura 5B).

O payback indica o período de tempo necessário para que o empreendimento abone os custos do investimento. Para esse indicador, em ambos os sistemas de cultivo, a suspensão da

irrigação por 20 e 25 dias o cultivo de feijoeiro não pagaria os custos com o investimento (Figura 6).

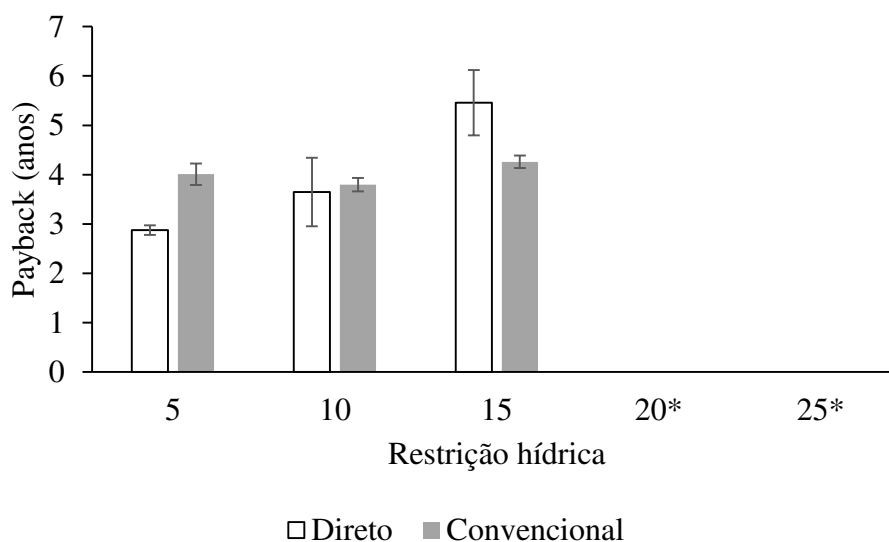


Figura 6. Média e erro padrão da média do payback do cultivo de feijoeiro-comum em diferentes períodos de interrupção do fornecimento de água em semeadura direta e preparo convencional. *Tratamentos em que o cultivo de feijoeiro sob restrição hídrica não paga o custo do investimento durante a vida útil do sistema de irrigação.

Diante do exposto, nota-se que nem sempre avaliações a curto prazo podem estimar com segurança a viabilidade de um investimento, uma vez que a relação benefício-custo e receita líquida mostraram que a restrição hídrica por até 24 dias seria financeiramente viável (curto prazo) embora o VPL, TIR e payback indicaram que 20 e 25 dias o cultivo é economicamente inviável à longo prazo. Corroborando com os dados do presente estudo, Gomes et al. (2013), avaliando lâminas de irrigação em feijoeiro-comum, também constataram manejos na irrigação viáveis a curto prazo, mas inviáveis a longo prazo. Nesse, sentido avaliações de curto prazo podem fazer produtores adotarem manejos inadequados e isso reafirma a importância de se avaliar a viabilidade econômica, especialmente a longo prazo.

CONCLUSÕES

O cultivo de feijoeiro-comum em semeadura direta e preparo convencional apresentaram produtividade, receita bruta, receita líquida e relação benefício-custo semelhantes.

Em semeadura direta houve economia nos custos com a lavoura, água, energia elétrica e mão de obra.

As maiores médias da relação benefício-custo do cultivo de feijoeiro-comum ocorreram entre 5 e 13,4 dias de suspensão de irrigação em ambos os sistemas de cultivo.

A curto prazo, em ambos os sistemas de cultivo, os períodos de restrição hídrica foram viáveis até 24,1 dias, entretanto, os tratamentos economicamente viáveis a longo prazo foram cinco, 10 e 15 dias.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução normativa 12/2008**.

Brasília, DF: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, 28 mar. 2008.

Disponível em: <

<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=visualizarAtoPortalMapa&chave=294660055>>. Acesso em: 15 maio 2019.

CEMIG. **Companhia Energética de Minas Gerais**. Disponível em:

<<http://www.cemig.com.br>>. Acesso em: 15 maio 2019.

CONAB. **Companhia Nacional de Abastecimento**. Disponível em: <

<https://www.portaldeinformacoes.conab.gov.br>>. Acesso em: 02 abr. 2019.

COSTA, M. S. et al. Avaliação dos níveis de lâmina de irrigação no desempenho do feijoeiro cultivado na região da zona da mata, MG. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 10, n. 4, p. 799-808, 2016.

DU, T. et al. Deficit irrigation and sustainable water-resource strategies in agriculture for China's food security. **Journal of Experimental Botany**, v. 66, n. 8, p. 2253-2269, 2015.

FAO. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. Disponível em: <

<http://www.fao.org/faostat>>. Acesso em: 02 abr. 2019.

FRANCHINI, J. C. et al. Evolution of crop yields in different tillage and cropping systems over two decades in southern Brazil. **Field Crops Research**, v. 137, p. 178-185, 2012.

- FREITAS, R. M. O. et al. Produção de feijão-caupi sob efeito de veranico nos sistemas de plantio direto e convencional. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 6, p. 3683-3690, 2013.
- GOMES, E. P. et al. Análise econômica e viabilidade energética da cultura do feijoeiro comum sob irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 8, p. 835-842, 2013.
- IFAG. **Instituto para o Fortalecimento da Agropecuária de Goiás**. Disponível em: <<http://www.ifag.org.br>>. Acesso em: 15 maio 2019.
- INMET. **Instituto Nacional de Meteorologia**. Disponível em: <<https://portal.inmet.gov.br/>>. Acesso em: 28 de maio de 2018.
- JORDAN, R. A.; GOMES, E. P.; BISCARO, G. A. Impact of irrigation on yield and energy balance of the production of oil and cake of two sunflower varieties. **Engenharia Agrícola**, v.38, p.1048-1057, 2012.
- MACHADO, N. R. S.; FERREIRA, A. O. Método de simulação de Monte Carlo em planilha Excel: desenvolvimento de uma ferramenta versátil para análise quantitativa de riscos em gestão de projetos. **Revista de Ciências Gerenciais**, v. 16, n. 23, 2012.
- MAPA. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br>>. Acesso em: 15 maio 2019.
- MARQUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C. Seleção de sistemas de irrigação para hortaliças. **Circular Técnica da Embrapa Hortaliças**, n. 11, 1998.
- MARTINS, F. B. et al. Classificação climática de Köppen e de Thornthwaite para Minas Gerais: cenário atual e projeções futuras. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, p. 129-156, 2018.
- MATHOBO R.; MARAIS, D.; STEYN, J. M. The effect of drought stress on yield, leaf gaseous exchange and chlorophyll fluorescence of dry beans (*Phaseolus vulgaris* L.). **Agricultural Water Management**, v. 180, p. 118-125, 2017.
- MENDONÇA, T. G. et al. Avaliação da viabilidade econômica de mamão em sistema convencional e de produção integrada de frutas. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 40, n. 4, p. 699-724, 2009.

- NOGUERA-ARTIAGA, L. et al. Phenolic and triterpenoid composition and inhibition of α -amylase of pistachio kernels (*Pistacia vera* L.) as affected by rootstock and irrigation treatment. **Food Chemistry**, v. 261, p. 240-245, 2018.
- OLIVEIRA, M. G. C. et al. **Conhecendo a fenologia do feijoeiro e seus aspectos fitotécnicos**. Brasília, DF: Embrapa, 2018, 59 p.
- PEREIRA, F. F. S. et al. Retenção de água em níveis de cobertura morta no feijoeiro irrigado em sistema plantio direto. **Irriga**, v. 20, n. 3, p. 557-569, 2015.
- SHAREEF, M. et al. Water productivity, growth, and physiological assessment of deficit irrigated cotton on hyperarid desert-oases in northwest China. **Agricultural Water Management**, v. 206, p. 1-10, 2018.
- SILVA, F. A. et al. Milho para ensilagem cultivado nos sistemas de plantio direto e convencional sob efeito de veranico. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, n. 1, p. 327-340, 2015.
- SOANE, R. D. et al. No-till in northern, western and south-western Europe: A review of problems and opportunities for crop production and the environment. **Soil & Tillage Research**, v. 118, p. 66-87, 2012.
- SORATTO, R. P. et al. Resposta do feijoeiro ao preparo do solo, manejo de água e parcelamento do nitrogênio. **Acta Scientiarum**, v. 25, n. 1, p. 89-96, 2003.
- STONE, L. F.; SILVEIRA, P. M. **Feijão: manejo de irrigação**. Disponível em: <<https://www.agencia.cnptia.embrapa.br>>. Acesso em: 05 jan 2020.
- UCAR, Y. et al. The effect of deficit irrigation on the grain yield of dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) in semiarid regions. **Spanish Journal of Agricultural Research**, v. 7, p. 474-485, 2009.

CAPÍTULO 3

RESPOSTAS FISIOLÓGICAS DE FEIJOEIRO-COMUM (*Phaseolus vulgaris* L.) SUBMETIDO À DÉFICIT HÍDRICO CONTROLADO CULTIVADO EM SEMEADURA DIRETA E PREPARO CONVENCIONAL

RESUMO: Avaliações fisiológicas são uma maneira eficiente de elucidar o comportamento das plantas submetidas à estresse. Nesse sentido, objetivou-se avaliar a fisiologia de feijoeiro-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) submetido à déficit hídrico controlado cultivado em semeadura direta e preparo convencional. O experimento foi conduzido em Viçosa – MG, no esquema de parcelas subdivididas delineadas em quatro blocos casualizados. Nas parcelas foram estudados dois sistemas de cultivo (semeadura direta e preparo convencional) e nas subparcelas, cinco períodos de restrição hídrica (5, 10, 15, 20 e 25 dias) iniciados a partir do estágio R5 do feijoeiro. As características fisiológicas avaliadas foram a taxa fotossintética, a concentração interna de CO₂, condutância estomática, transpiração, temperatura foliar, eficiência no uso da água e relação carbono interno e atmosférico. Também foram quantificados os componentes bioquímicos presentes nas folhas do feijoeiro sendo eles amido, aminoácidos e clorofilas A e B. De maneira geral, os efeitos da suspensão da irrigação na fisiologia das plantas foram observados 12 dias após o início da restrição hídrica. Dois dias após a reidratação as plantas sob déficit hídrico restabeleceram sua fisiologia ao nível das plantas que não sofreram restrição hídrica. Diante do exposto, conclui-se que a suspensão da irrigação por 15 dias no início do florescimento do feijoeiro afeta negativamente as características fisiológicas e o acúmulo de componentes bioquímicos nas folhas do feijoeiro. As plantas cultivadas em preparo convencional foram mais sensíveis ao estresse hídrico do que em semeadura direta, entretanto após a reidratação as plantas estressadas se reestabeleceram e equipararam-se às plantas que não sofreram restrição hídrica nos dois sistemas de cultivo.

Palavras-chave: Ecofisiologia, amido, clorofila, taxa fotossintética.

PHYSIOLOGY OF COMMON BEAN (*Phaseolus vulgaris* L.) CULTIVATED IN NO-TILLAGE AND CONVENTIONAL TILLAGE UNDER CONTROLLED WATER DEFICIT

ABSTRACT: Physiological evaluations are an efficient way to elucidate the behavior of plants submitted to stress. In this sense, the objective was to evaluate the physiology of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) submitted to controlled water deficit cultivated in direct sowing and conventional preparation. The experiment was conducted in Viçosa – MG; the subdivided plots were divided into four randomized blocks. Two cropping systems were studied in the plots (no-tillage and conventional tillage) and in the subplots five periods of water restriction (5, 10, 15, 20 and 25 days) started from the R5 stage of the bean. The physiological characteristics evaluated were the photosynthetic rate, the internal CO₂ concentration, stomatal conductance, transpiration, leaf temperature, water use efficiency and internal and atmospheric carbon ratio. The biochemical components present in the leaves of the bean were also quantified as starch, amino acids, and chlorophylls A and B. In general, the effects of irrigation suspension on plant physiology were observed 12 days after the beginning of water restriction. Two days after rehydration the plants under water deficit reestablished their physiology at the level of plants that did not suffer water restriction. Therefore, we conclude that suspending irrigation for 15 days at the beginning of flowering of common bean negatively affects the physiological characteristics and the accumulation of biochemical components in the leaves of common bean. Plants grown in conventional tillage were more sensitive to water stress than in no-tillage system, however, after rehydration the stressed plants reestablished themselves and were equal to the plants that did not suffer water restriction in both tillage systems.

Keywords: Ecophysiology, starch, chlorophyll, photosynthetic rate.

INTRODUÇÃO

O feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.) junto com o arroz forma a base da dieta da população brasileira. Na safra 2018/19 foram colhidas por volta de 2,4 milhões de toneladas no Brasil (CONAB, 2019). Como o feijoeiro possui ampla adaptação edafoclimática é plantado praticamente em todo território nacional podendo ser cultivado em até três safras por ano (Salvador, 2014). Dentre estas safras, a de inverno destaca-se como a mais produtiva. Essa maior produtividade se deve as condições climáticas desfavoráveis às pragas e doenças e também pelo uso da irrigação, uma vez que o cultivo em sequeiro nessa época do ano é inviabilizado devido à baixa precipitação pluviométrica. Diante disso, se faz necessário o uso de técnicas que reduzam o consumo de água, especialmente, nessa época do ano. Dentre essas técnicas destaca-se a semeadura direta na palha.

A semeadura direta consiste na semeadura sem revolvimento e manutenção de cobertura morta na superfície do solo. Esse tipo de semeadura contribui para o armazenamento de água no solo, aumenta a infiltração e reduz as perdas por evaporação e escoamento superficial (Bizari et al., 2009). Desse modo, a semeadura direta pode economizar água e por consequência tornar o cultivo mais eficiente no uso da água. Portanto, a semeadura direta na palha é uma alternativa interessante, principalmente em épocas de estiagem, quando as plantas sofrem estresse hídrico.

Quando a necessidade hídrica das culturas não é suprida, uma série de mecanismos é ativada para que as plantas sobrevivam e até se desenvolvam em situação de baixa disponibilidade de água (Beebe et al., 2013). Em condição de estresse hídrico, as plantas podem redistribuir fotossintatos, reduzir a condutância estomática e realizar ajuste osmótico para manter o turgor celular, por exemplo (Taiz et al., 2017). Esses mecanismos correlacionam-se com a produtividade (Andrade et al., 2016), pois alterações fisiológicas também afetam a produção de carboidratos e o acúmulo de matéria seca. Portanto, análises bioquímicas e fisiológicas são relevantes para elucidar o comportamento das culturas em relação ao déficit hídrico. Em face do exposto o objetivo deste trabalho foi avaliar parâmetros fisiológicos e bioquímicos do feijoeiro-comum cultivado em semeadura direta e preparo convencional sob déficit hídrico.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no município de Viçosa em área experimental localizada na UEPE aeroporto da Universidade Federal de Viçosa, situada nas seguintes coordenadas 20°74'15'' latitude S, 42°84'54'' longitude W a 680 m de altitude. O clima da região segundo a classificação de Köppen é do tipo Cwa, ou seja, clima tropical de altitude com verão chuvoso e inverno com temperaturas amenas e período seco de junho a setembro.

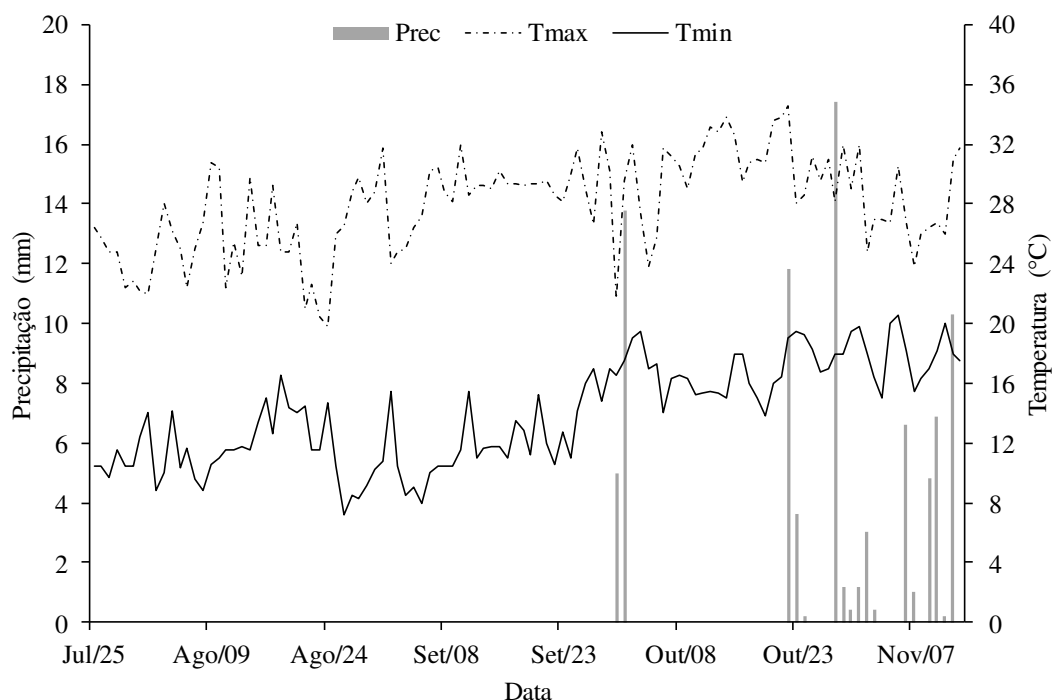


Figura 1. Temperatura máxima, mínima e precipitação pluviométrica durante o período experimental (INMET, 2018)

O solo foi classificado como Argissolo Vermelho Amarelo – PVA, de textura argilosa. Os teores de areia, silte e argila foram 10, 32 e 58%, respectivamente. Na camada de 0-20 cm as características químicas do solo foram as seguintes: pH: 5,6; P (Melich): 10,1 mg dm⁻³; K: 108 mg dm⁻³; Ca²⁺: 3,5 cmolc dm⁻³; Mg²⁺ 1,0 cmolc dm⁻³; Al³⁺: 0,1 cmolc dm⁻³ e teor de matéria orgânica de 3,1%.

Para a implantação do experimento o delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados com parcelas sub-subdivididas e quatro repetições. As parcelas consistiam em dois sistemas de semeadura (direta e convencional), as subparcelas foram dois períodos de irrigação (sem restrição hídrica irrigadas a cada 5 dias e com suspensão da irrigação por 15 dias seguida de reidratação) em seis épocas de avaliação para as trocas gasosas aos 30, 38, 40, 43, 45 e 48 dias após a emergência (DAE) e em quatro épocas para as características bioquímicas aos 30,

40, 43 e 48 DAE. Cada unidade experimental (35 m^2) foi composta por 10 linhas de semeadura com 7,0 metros de comprimento, espaçadas 0,50 m entre si. A área útil ($6,0 \text{ m}^2$) foi composta pelas quatro fileiras centrais descartando-se 2,0 m em cada extremidade.

Para a formação da cobertura morta, 100 dias antes da instalação do experimento foi semeada aveia-preta (*Avena strigosa*). Aos 30 dias antes da semeadura do feijão realizou-se a dessecação da aveia-preta por meio da aplicação $1,9 \text{ kg e.a ha}^{-1}$ do herbicida glyphosate. A massa da matéria seca da cobertura morta por ocasião o semeio do feijoeiro foi de 2.250 kg ha^{-1} nas parcelas cultivadas em semeadura direta. Nas parcelas com preparo convencional realizou-se aração e duas gradagens quatro dias antes do semeio do feijoeiro.

A semeadura do feijoeiro-comum cultivar Ouro-Vermelho foi realizada no dia 25 de julho de 2017, por meio de semeadora tratorizada, que distribuiu 13 sementes por metro linear. A adubação de plantio foi realizada com 300 kg ha^{-1} de NPK na formulação 8-28-16 e aos 25 DAE realizou-se a adubação de cobertura com 35 kg de N (sulfato de amônio) e a aplicação foliar de 80 g ha^{-1} de molibdênio (molibdato de sódio). Para o controle das plantas daninhas foram aplicados os herbicidas seletivos para a cultura fomesafem ($125 \text{ g i.a. ha}^{-1}$) e fluazifope-butílico ($250 \text{ g i.a. ha}^{-1}$) aos 10 e 15 DAE, respectivamente.

A umidade do solo foi mantida próxima da capacidade de campo, cerca de -33 kPa (Taylor, 1965). A lâmina de água aplicada foi baseada nas leituras de tensiômetros, instalados a 15 cm de profundidade em cada unidade experimental, e na curva característica de retenção de água no solo. A irrigação de cada subparcela foi realizada separadamente, a cada cinco dias, por meio de dois microaspersores com vazão de 60 L h^{-1} , com pressão constante de 10 mca, mantida por meio de válvula reguladora de pressão. Nos tratamentos com suspensão da irrigação, o suprimento de água foi interrompido no período de 28 a 43 DAE, que corresponde ao início do estágio R5 (pré-florescimento).

As avaliações fisiológicas foram realizadas com o auxílio de um analisador de gases por infravermelho (IRGA) modelo LI-6400xt, o aparelho foi ajustado de modo que o teor de CO_2 foi fixado em $400 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ e a intensidade luminosa em $1500 \mu\text{mol de fótons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Foram analisadas duas plantas por parcela, realizando cinco leituras em cada, adotando-se como critério folhas totalmente expandidas no terço médio da planta. As leituras foram realizadas entre 8 e 11 horas da manhã, em dias ensolarados e sem presença de nuvens (STEFAN et al., 2013). As características avaliadas foram a taxa fotossintética ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}$), a concentração interna de CO_2 ($\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1}$), condutância estomática ($\mu\text{mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), transpiração ($\text{mmol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), temperatura foliar ($^{\circ}\text{C}$) e eficiência no uso da água. O intuito dessas avaliações foi acompanhar o comportamento das características fisiológicas das plantas de

durante a restrição e após a reidratação. As características fisiológicas foram avaliadas em seis épocas, sendo quatro durante a restrição hídrica aos 30, 38, 40 e 43 DAE (2, 10, 12 e 15 dias de restrição hídrica), e duas após a reidratação, aos 45 e 48 DAE (2 e 5 dias após a reidratação).

Os componentes bioquímicos foliares do feijoeiro foram avaliados em quatro épocas durante o experimento: aos 30 e 40 DAE (2 e 12 dias de suspensão da irrigação) e aos 43 e 48 DAE (2 e 5 dias após a reidratação). Os componentes avaliados foram (amido, aminoácidos, clorofilas A e B). A mensuração desses componentes foi realizada a partir de amostras foliares coletadas em duas plantas por unidade experimental. De cada planta foram extraídas duas amostras, as coletas foram realizadas entre 11:30 e 12:30 horas. Após a coleta, o material foi alocado em microtubo tipo eppendorf (2 mL) e imediatamente armazenados em nitrogênio líquido e encaminhados ao laboratório onde foram mantidos em freezer a -80 °C até o momento das análises.

A extração dos componentes bioquímicos foi realizada por via metanólica e sua quantificação foi feita por meio de leitor de microplacas. As metodologias usadas para cada componente foram:

Amido: Os níveis de amido foram avaliados seguindo a metodologia proposta por Fernie et al. (2001), com adaptações. Onde o resíduo da extração metanólica foi novamente agitado, à essa suspensão foram adicionadas enzimas que degradaram o amido (amiloglucosidase e α -amilase), a absorbância foi lida a 340 nm até a estabilidade. Então, adicionou-se a hexoquinase e o teor de amido foi calculado a partir da absorbância.

Aminoácidos: Foram quantificados por meio de leitura da absorbância realizada a 570 nm (Cross et al., 2006). À amostra retirada do extrato metanólico foi misturada com tampão citrato, ácido ascórbico e niidrina e encubado na microplaca. Os aminoácidos foram determinados baseados na curva padrão.

Clorofilas: Os níveis foram determinados imediatamente após a extração metanólica, segundo metodologia proposta por Porra et al. (1989). Foram determinados os teores de clorofila A e B; e calculou-se a clorofila total (A+B) e a relação entre as clorofilas A/B.

Os dados foram analisados descritivamente por meio de gráficos e medidas de posição e dispersão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A suspensão da irrigação alterou as características fisiológicas das plantas de feijoeiro-comum em relação às plantas sem restrição hídrica. Na avaliação com o IRGA aos 38 DAE,

que correspondeu a 10 dias sem irrigação, a taxa transpiratória e a condutância estomática estavam próximas entre os tratamentos com irrigação interrompida e os sem restrição hídrica nos dois sistemas de preparo de solo (Figura 2). Os efeitos da suspensão da irrigação começaram a ficar evidentes a partir do décimo dia sem suprimento de água, o que se deve a alta capacidade de retenção de água no solo argiloso (Minasny & Mcbratney, 2018) aliada a temperatura amena no período (Figura 1), que desfavorece a evapotranspiração. Nesse sentido, esses fatores contribuíram para o armazenamento de água no solo o que retardou os efeitos da suspensão da irrigação. Freitas et al. (2017), constataram redução nas características fisiológicas com apenas três dias após a suspensão da irrigação em plantas de feijão-caupi cultivadas em solo arenoso e clima semiárido, ou seja, o clima, as características do solo e as condições experimentais influenciam diretamente no tempo para o surgimento de alterações fisiológicas nas plantas.

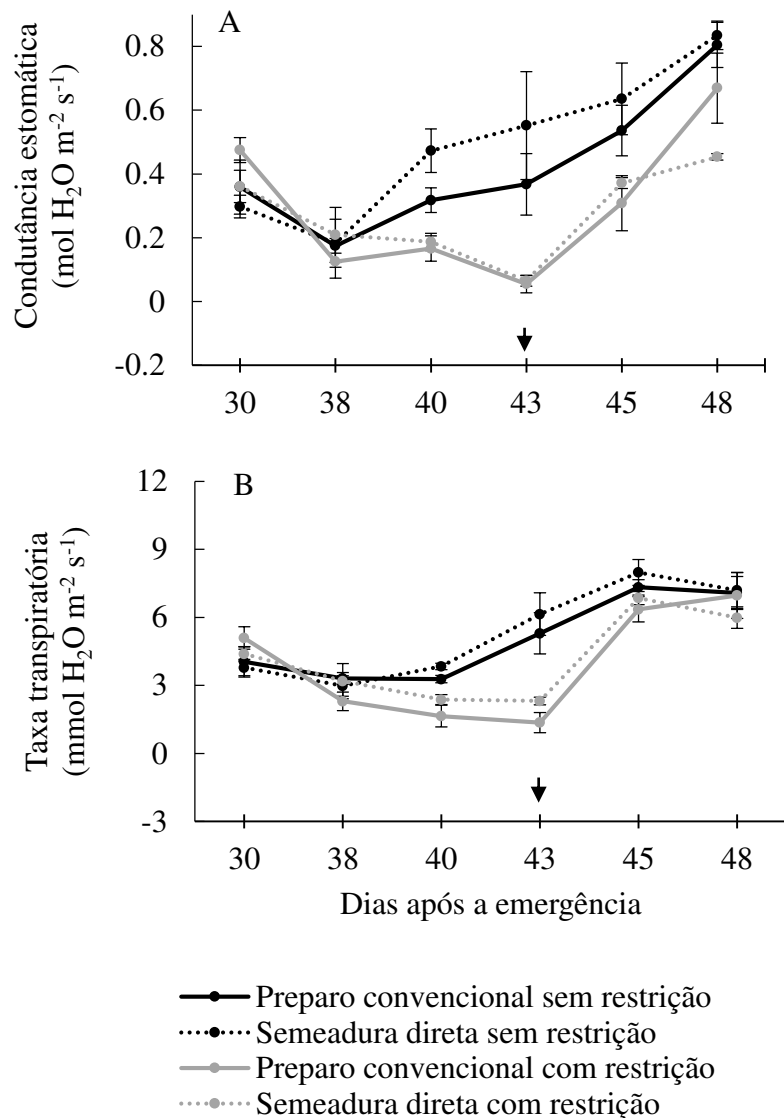


Figura 2. Média e erro padrão da média da condutância estomática (A) e taxa transpiratória (B) de feijoeiro-comum com e sem restrição hídrica cultivado em semeadura direta e preparo convencional. ↓ - Retomada da irrigação nas plantas com restrição hídrica.

A condutância estomática foi menor nas plantas com suspensão da irrigação e cultivadas em preparo convencional em relação às plantas sem restrição hídrica cultivadas em semeadura direta, o que indicou maior fechamento estomático nesses tratamentos (Figura 2A). As plantas cultivadas sob restrição hídrica em preparo convencional e semeadura direta apresentaram redução na condutância estomática aos 40 DAE (12 dias sem irrigação). Sartori et al. (2019) atestaram que com suspensão hídrica por dois dias já há redução na condutância estomática em plantas cultivadas em vasos. Esse período é menor do que o observado no presente estudo porque o volume de solo explorado pelas raízes em plantas cultivadas em vasos é muito menor do que plantas no campo e isso influencia a quantidade de água disponível. Ou seja, a quantidade de água que o solo é capaz de armazenar, seja por motivo físico (% argila) ou volume (vasos), influencia diretamente a velocidade do surgimento dos sintomas do estresse hídrico.

Entre os tratamentos sem restrição hídrica, a condutância estomática foi maior em semeadura direta, provavelmente devido ao maior armazenamento de água, devido à redução da evaporação promovida pela cobertura morta associada ao não revolvimento do solo nesse sistema de cultivo.

A transpiração também foi alterada pelos tratamentos (Figura 2B). Como a transpiração depende da abertura estomática, o comportamento da transpiração foi semelhante ao da condutância estomática, com menor taxa transpiratória nas plantas em preparo convencional e com irrigação suspensa (Figura 2A). Aos 43 DAE, as plantas sob restrição hídrica estavam há 15 dias sem receber irrigação e apresentaram taxa transpiratória 74 e 62% menor para o cultivo convencional e semeadura direta, respectivamente, quando comparadas as plantas sem restrição hídrica dentro dos respectivos sistemas de preparo do solo. Em condições de déficit hídrico uma das principais respostas das plantas é o fechamento estomático com intuito de reduzir a transpiração e evitar perda de água para a atmosfera (Hernandez-Santana et al., 2016).

Reduzir a perda de água é interessante para a planta manter-se hidratada contudo, a transpiração também é responsável pelo controle térmico foliar (Taiz et al., 2017). Bertoldo et al. (2019), avaliando a sensibilidade ao estresse hídrico de 25 genótipos de feijoeiro-comum, constataram elevação na temperatura foliar em situação de estresse hídrico. No presente estudo, a interrupção da irrigação por 15 dias, resultou em aumento de 12% na temperatura foliar

(Figura 3). A alteração na temperatura foliar pode acarretar redução na assimilação de carbono e o surgimento de espécies reativas de oxigênio que podem causar estresse oxidativo (Kumar et al., 2013).

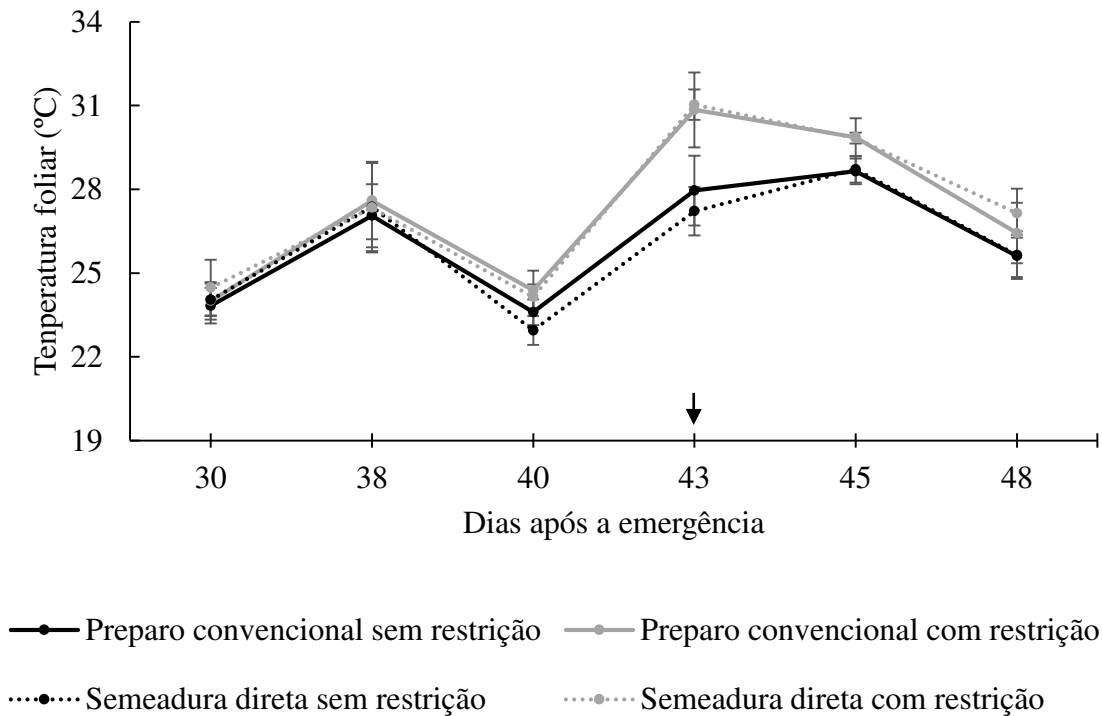


Figura 3. Média e erro padrão da média da temperatura foliar de feijoeiro-comum com e sem restrição hídrica cultivado em semeadura direta e preparo convencional. ↓ - Retomada da irrigação nas plantas com restrição hídrica.

Além da transpiração, o estômato também controla a absorção de CO_2 pela planta e para cada molécula de CO_2 absorvida são transpiradas 400 moléculas de água, ou seja, o estômato fechado reduz tanto a perda de água quanto a absorção de CO_2 (Taiz et al., 2017). O fechamento estomático reduziu a concentração interna de carbono (C_i), que seguiu o comportamento da condutância e transpiração (Figura 4). As maiores médias foram constatadas nas plantas em semeadura direta. Observou-se também redução na C_i entre 10 e 15 dias de suspensão na irrigação (aos 38 e 43 DAE). E, após cinco dias de retomada da irrigação, a C_i das plantas em déficit hídrico se aproximaram das plantas sem restrição hídrica.

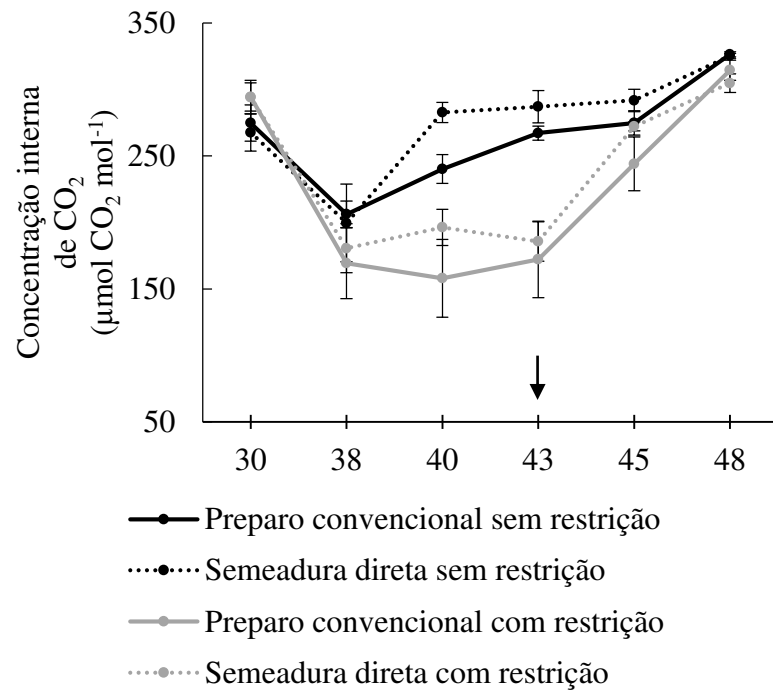


Figura 4. Média e erro padrão da média da concentração interna de carbono de feijoeiro-comum com e sem restrição hídrica cultivado em semeadura direta e preparo convencional. ↓ - Retomada da irrigação nas plantas submetidas à restrição hídrica.

Outra consequência do estresse hídrico é o decréscimo da taxa fotossintética (Figura 5A). À medida que a água no solo se torna escassa o fechamento estomático é induzido, a absorção de CO_2 também decresce, com isso a C_i é afetada. O carbono é essencial para a fotossíntese e com baixa disponibilidade desse substrato a taxa fotossintética reduziu (Figura 5A). Com 15 dias de suspensão da irrigação (43 DAE) a taxa fotossintética das plantas em preparo convencional foi 65% menor que as plantas cultivadas em semeadura direta.

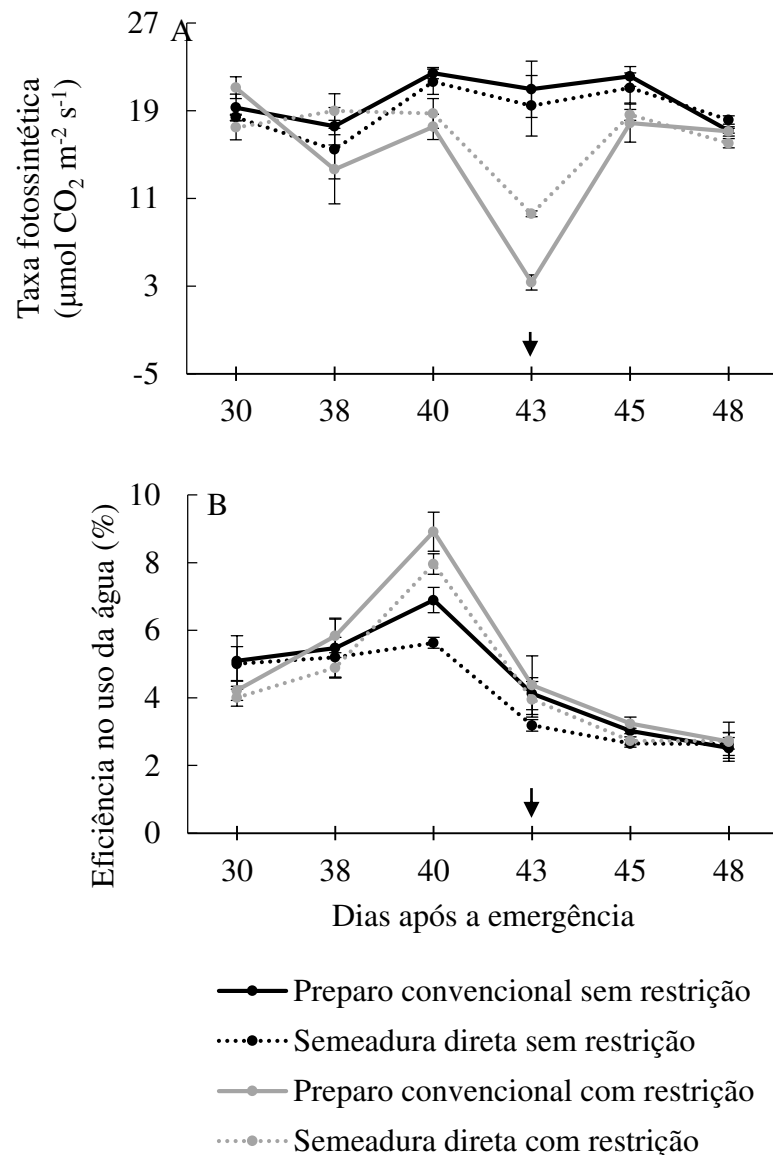


Figura 5. Média e erro padrão da média da taxa fotossintética (A) e eficiência no uso da água (B) de feijoeiro-comum com e sem restrição hídrica cultivado em sementeira direta e preparo convencional. ↓ - Retomada da irrigação nas plantas com restrição hídrica.

Comparando os tratamentos submetidos a suspensão da irrigação com as respectivas testemunhas, observou-se que as plantas sem restrição hídrica em sementeira direta apresentaram taxa fotossintética duas vezes maior que as plantas com suspensão da irrigação, já nas plantas em preparo convencional a taxa fotossintética das plantas sem restrição foi cerca de seis vezes maior que as plantas sob restrição hídrica. Lamptey et al. (2020) também atestaram redução na taxa fotossintética de plantas de milho cultivadas em preparo convencional quando comparadas a manejos conservacionistas como a sementeira direta e o cultivo mínimo. O aumento da taxa fotossintética apresentada nas plantas cultivadas em sementeira direta se deve

à presença de cobertura morta e ao não revolvimento do solo que favoreceram a manutenção de água no sistema.

Em relação à restrição hídrica, a redução da taxa fotossintética nas plantas submetidas a estresse hídrico corrobora com outros estudos. Freitas et al. (2017) afirmaram que 18 dias sem irrigação é um déficit severo que afeta a taxa fotossintética de plantas de feijão-caupi. Jacinto Júnior et al. (2019), estudando quatro cultivares de feijão-fava, também observaram redução na taxa fotossintética nas plantas submetidas à suspensão da irrigação.

Destaca-se que, com a suspensão da irrigação por 15 dias, as plantas de feijoeiro sofreram estresse hídrico e reduziram suas características fisiológicas inclusive a taxa fotossintética. Entretanto esse estresse não foi o suficiente para comprometer o aparato fotossintético das plantas, de modo que com o retorno da irrigação as plantas se reestabeleceram rapidamente e em cinco dias já apresentavam taxa fotossintética equiparadas com as plantas sem restrição hídrica (Figura 5A).

Para a eficiência no uso da água (EUA), as plantas submetidas ao estresse hídrico apresentaram maior EUA que as plantas sem restrição hídrica aos 40 DAE (12 dias sem irrigação) (Figura 5B). Isso acontece porque quando a disponibilidade de água reduz, a planta usa de artifícios para ser mais eficiente no uso desse recurso que está escasso, o fechamento estomático e redução da transpiração são bons exemplos de mecanismos de economia de água. Desse modo a planta se aclimata e aumenta as suas chances de sobreviver em condições adversas (Jacinto Júnior et al., 2019). Aos 43 DAE (15 dias sem irrigação) a EUA das plantas sob estresse reduz e se iguala à das plantas sem restrição hídrica, isso ocorre devido à redução da taxa fotossintética causado pelo estresse hídrico.

As plantas submetidas a restrição hídrica cultivadas em semeadura direta foram menos eficientes no uso da água do que as plantas em plantio convencional. A semeadura direta favorece a manutenção de água no solo (Yang et al., 2020). Desse modo, a semeadura direta permitiu maior abertura estomática, o que favoreceu a transpiração (Figura 2B), a concentração interna de CO₂ (Figura 4A) e a taxa fotosintética (Figura 5A), e, como o estresse hídrico foi menos intenso na semeadura direta, as plantas foram menos eficientes no uso da água (Figura 4B).

Em relação ao conteúdo de amido foliar, constatou-se comportamento semelhante em ambos os sistemas de cultivo. As plantas sem restrição hídrica apresentaram concentração de amido maior que as plantas submetidas a restrição hídrica (Figura 6A). Aos 40 e 43 DAE, período correspondente a 12 e 15 dias sem irrigação, respectivamente, o estresse hídrico reduziu o amido foliar em torno de 22 e 17% em relação às plantas sem restrição hídrica e, após a

reidratação, as plantas estressadas se reestabeleceram e equipararam-se com as sem restrição (Figura 6A). Santos & Pimentel (2009), avaliando *Phaseolus vulgaris* L., também constataram decréscimo no amido em plantas sob estresse hídrico. Segundo estes autores, após dez dias de suspensão na irrigação o conteúdo de amido foliar chegou a zero, mas após reidratação os valores se igualaram aos das testemunhas.

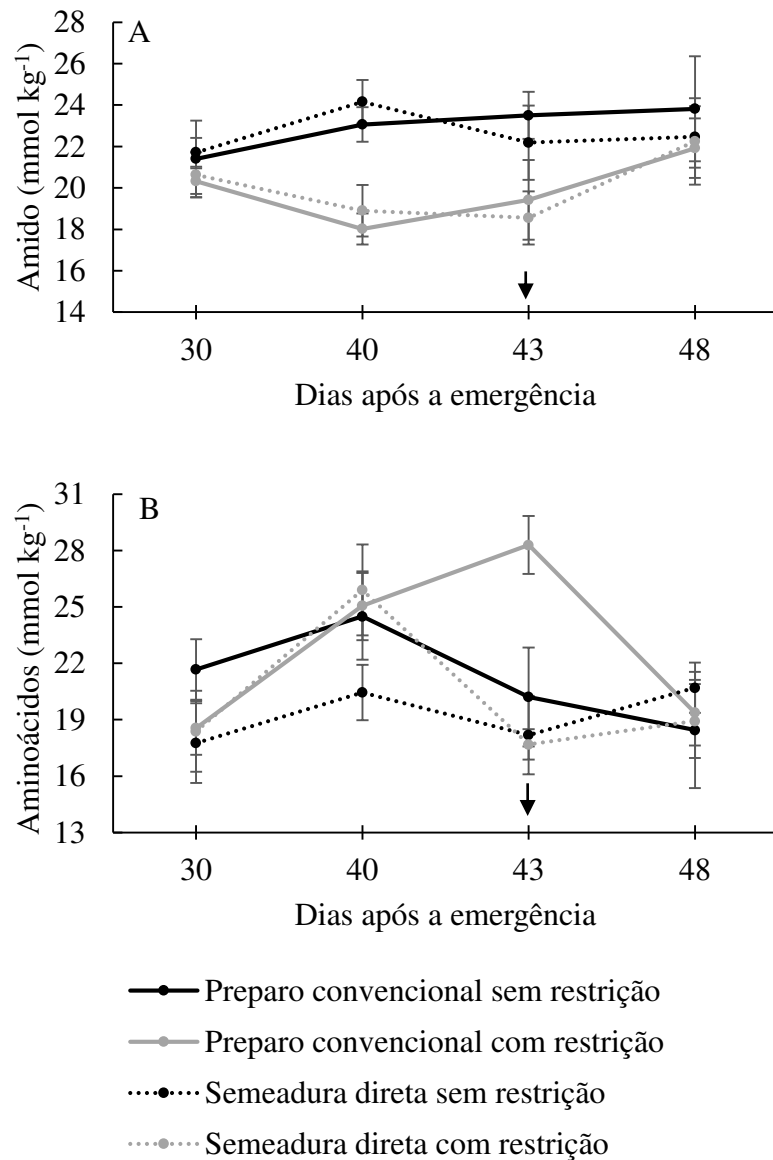


Figura 6. Média e erro padrão da média do conteúdo de amido (A) e de aminoácidos (B) em folhas de feijoeiro-comum submetido à restrição hídrica em semeadura direta e preparo convencional. ↓ - Retomada da irrigação nas plantas submetidas à restrição hídrica.

Parte dos açúcares oriundos da fotossíntese é transformado em amido transitório, servindo como reserva energética para ser consumido durante a noite (Heldt & Piechulla, 2011;

Lal, 2018). O conteúdo de amido nas folhas de feijoeiro pode ter diminuído devido à redução na síntese de amido, ocasionada pela baixa taxa fotossintética decorrente do fechamento estomático (Vassey & Sharkey, 1989). Além disso, quando a planta está em condição de estresse hídrico, além da redução na produção, o amido transitório pode ser degradado para suprir o baixo rendimento fotossintético (Lal, 2018; Dien; Mochizuki & Yamakawa, 2019), o que também pode ter contribuído para a redução do amido nas folhas do feijoeiro sob estresse hídrico (Figura 6A).

Todos os tratamentos aumentaram a concentração de aminoácidos até os 40 DAE. Entretanto, após essa avaliação, apenas o tratamento em preparo convencional submetido a restrição hídrica aumentou a concentração de aminoácidos nas folhas e após a reidratação esse tratamento se equiparou aos demais. Diversos trabalhos afirmam que o estresse hídrico intenso causa aumento nos aminoácidos, em especial a prolina que atua na redução da formação de radicais livres decorrentes do estresse hídrico (Santos & Pimentel, 2009; Siddiqui et al., 2015; Abid et al., 2017; Muktadir et al., 2021). Com 15 dias sem irrigação, o estresse hídrico nas plantas em semeadura direta não alterou o acúmulo de aminoácidos em relação às plantas sem restrição hídrica, isso pode ser explicado novamente pelo armazenamento de água no solo nesse sistema de cultivo o que reduziu o grau do estresse hídrico.

A concentração de clorofilas nas folhas do feijoeiro variou de acordo com o sistema de cultivo e o regime hídrico (Figura 7). As plantas sem restrição hídrica em preparo convencional acumularam mais clorofilas que as testemunhas em semeadura direta (Figura 7A, 7B e 7C). O nitrogênio (N) é fundamental para a produção de clorofilas, no entanto em sistemas de semeadura direta o N não fica tão disponível às plantas como no preparo convencional, pelo fato da imobilização/competição com a microfauna do solo (Echer et al., 2020). O uso de cobertura morta com alta relação C/N também desfavorece a liberação de macronutrientes (Soratto; Carvalho; Arf, 2004). A relação C/N da aveia-preta varia de 38 a 50, sendo considerada uma cobertura morta de alta persistência o que é vantajoso para a proteção do solo, embora imobilize nutrientes (Crusciol et al., 2008).

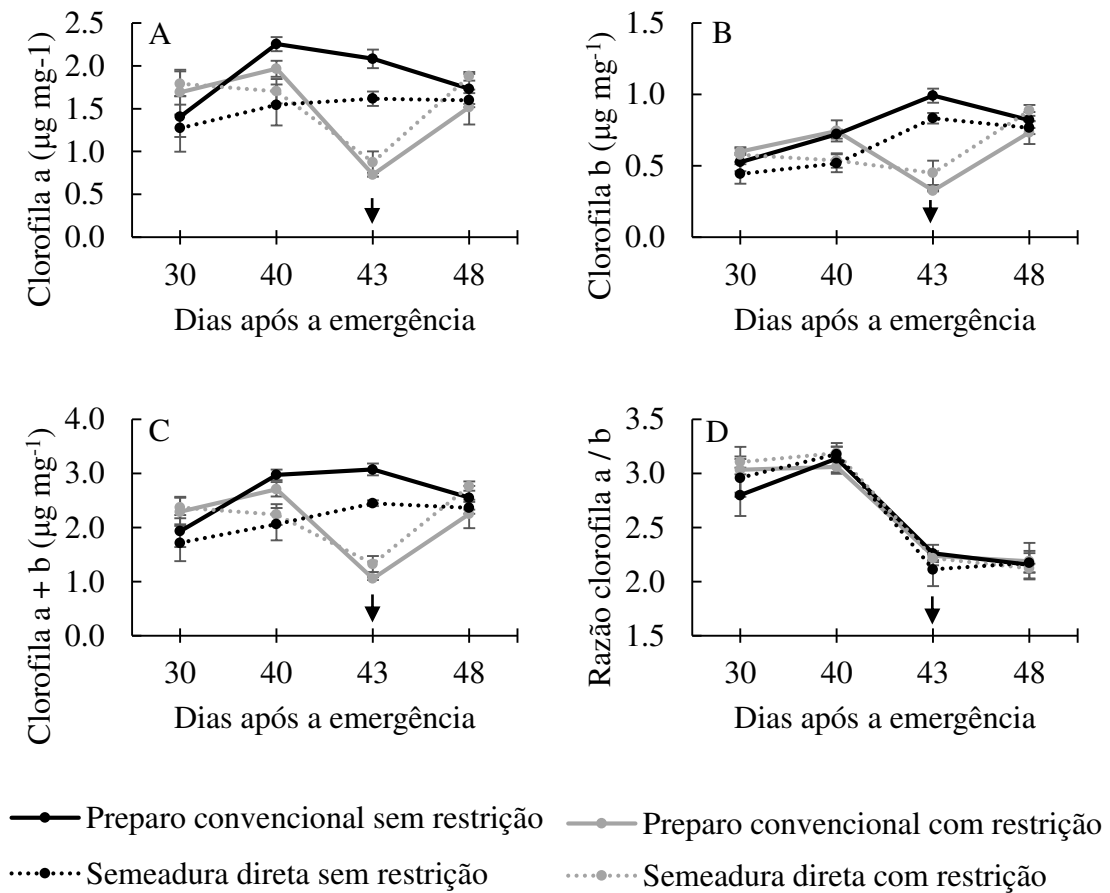


Figura 7. Média e erro padrão da média do conteúdo de clorofila a (A), clorofila b (B), clorofila a+b (C), razão clorofila a/b (D) em folhas de feijoeiro-comum submetido à restrição hídrica em semeadura direta e preparo convencional. ↓ - Retomada da irrigação nas plantas submetidas à restrição hídrica.

Para as plantas submetidas à restrição hídrica, o acúmulo de clorofilas foi semelhante em ambos os sistemas de cultivo, com 12 dias sem irrigação, aos 40 DAE a clorofila diminuiu e após a retomada da irrigação se reestabeleceu e equiparou com as médias acumuladas pelas plantas sem restrição hídrica.

A relação entre clorofilas a e b próxima de 3:1 é indicador de plantas saudáveis (Lichtenthaler, 1987), desse modo como maior parte da clorofila total (a+b) corresponde à clorofila a o comportamento da clorofila total foi praticamente o mesmo da clorofila a (Figura 7A e 7C).

Como o estresse hídrico reduziu o acúmulo de ambas as clorofilas (a e b), constatou-se que independente de as plantas serem submetidas ao estresse ou não a razão clorofila a/clorofila b manteve-se equivalente para todos os tratamentos (Figura 7D).

CONCLUSÕES

Diante do exposto, conclui-se que a suspensão da irrigação por 15 dias no início do florescimento do feijoeiro-comum afeta negativamente as características fisiológicas e o acúmulo de componentes bioquímicos nas folhas do feijoeiro-comum. Ressalta-se que as plantas cultivadas em preparo convencional foram mais sensíveis ao déficit hídrico do que as plantas cultivadas em semeadura direta. Entretanto, após a reidratação as plantas se reestabeleceram e se equipararam às que não sofreram restrição hídrica nos dois sistemas de cultivo.

REFERÊNCIAS

- ABID G. et al. Agro-physiological and biochemical responses of faba bean (*Vicia faba* L. var. 'minor') genotypes to water deficit stress. **Biotechnologie, Agronomie, Société Et Environnement**, v. 21, p. 1-14, 2017.
- ANDRADE, E. R. et al. Biochemical indicators of drought tolerance in the common bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Euphytica**, v. 210, p. 277-289, 2016.
- BEEBE S. E. et al. Phenotyping common beans for adaptation to drought. **Frontiers in Physiology**, v. 4, p. 1-20, 2013.
- BERTOLDO, J. G. et al. Sensibilidade de genótipos de feijão ao estresse hídrico. **Pesquisa Agropecuária Gaúcha**, v. 25, n. 3, p. 36-50, 2019.
- BIZARI, D. R. et al. Consumo de água e produção de grãos do feijoeiro irrigado em sistemas plantio direto e convencional. **Ciência Rural**, v. 39, p. 2073-2079, 2009.
- CONAB. **Companhia Nacional de Abastecimento**. Disponível em: <<https://www.portaldeinformacoes.conab.gov.br>>. Acesso em: 02 abr. 2019.
- FREITAS, R. et al. Physiological responses of cowpea under water stress and rewatering in no-tillage and conventional tillage systems. **Revista Caatinga**, v. 30, n. 3, p. 559-567, 2017.
- FREITAS, R. M. O. et al. Uso da água em feijão-caupi sob irrigação deficitária e sistemas de cultivo em região semiárida. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 23, n. 4, p. 271-276, 2019.

- HERNANDEZ-SANTANA, V. et al. Role of leaf hydraulic conductance in the regulation of stomatal conductance in almond and olive in response to water stress. **Tree Physiology**, v. 36, n. 6, p. 725-735, 2016.
- JACINTO JÚNIOR, S. G. et al. Respostas fisiológicas de genótipos de fava (*Phaseolus lunatus* L.) submetidas ao estresse hídrico cultivadas no Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 34, n. 3, p. 413-422, 2019.
- KUMAR, S. et al. Effect of varying high temperatures during reproductive growth on reproductive function, oxidative stress and seed yield in chickpea genotypes differing in heat sensitivity. **Archives of Agronomy and Soil Science**, v. 59, n. 6, p. 823-843, 2013.
- LAMPTEY, S. et al. Tillage system affects soil water and photosynthesis of plastic-mulched maize on the semiarid Loess Plateau of China. **Soil and Tillage Research**, v. 196, p. 104479, 2020.
- LICHTENTHALER, H. K. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. **Methods in enzymology**, v. 148, p. 350-382, 1987.
- MINASNY, B; A. B. MCBRATNEY, A. B. Limited effect of organic matter on soil available water capacity. **European Journal of Soil Science**, v. 69, p. 39–47, 2018.
- MUKTADIR, M. A. et al. Chemical composition and reproductive functionality of contrasting faba bean genotypes in response to water deficit. **Physiologia Plantarum**, v. 172, p. 540-551, 2021.
- SALVADOR, C. A. **Feijão - Análise da conjuntura agropecuária**. Curitiba: DER/SAA, 2014.
- SANTOS, M. G., & PIMENTEL, C. Daily balance of leaf sugars and amino acids as indicators of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) metabolic response and drought intensity. **Physiology and Molecular Biology of Plants**, v.15, n. 1, p. 23-30, 2009.
- SARTORI, F. F. et al. Ethylene production and physiological parameters in common bean plants under water deficit. **Journal of Agricultural Science**, v. 11, p. 301-310, 2019
- SIDDIQUI M. H. et al. Response of different genotypes of faba bean plant to drought stress. **International Journal of Molecular Sciences**, v. 16, p. 10214-10227, 2015

- SILVA, F. A. et al. Milho para ensilagem cultivado nos sistemas de plantio direto e convencional sob efeito de veranico. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 36, p. 327-340, 2015.
- STEFAN, M. et al. Seed inoculation with plant growth promoting rhizobacteria enhances photosynthesis and yield of runner bean (*Phaseolus coccineus* L.). **Scientia Horticulturae**, v. 151, p. 22–29, 2013.
- TAIZ, L. et al. **Fisiologia e desenvolvimento vegetal**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed. 2017.
- TAYLOR, S. A. Managing irrigation water on the farm. **Transactions of the ASAE**, v. 8, p. 433-436, 1965.
- TEÓFILO, T. M. S. et al. Eficiência no uso da água e interferência de plantas daninhas no meloeiro cultivado nos sistemas de plantio direto e convencional. **Planta daninha**, v. 30, n. 3, p. 547-556, 2012.
- VASSEY, T. L.; SHARKEY, T. D. Mild water stress of *Phaseolus vulgaris* plants leads to reduced starch synthesis and extractable sucrose phosphate synthase activity. **Plant Physiology**, v. 89, n. 4, p. 1066-1070, 1989.
- YANG, H. et al. The combined effects of maize straw mulch and no-tillage on grain yield and water and nitrogen use efficiency of dry-land winter wheat (*Triticum aestivum* L.). **Soil and Tillage Research**, v. 197, p. 104485, 2020.