



Efeito do déficit hídrico na fase de enchimento de grãos do feijoeiro comum

Camila Aparecida da Silva MARTINS^{1*}, Edvaldo Fialho dos REIS¹,
Giovanni de Oliveira GARCIA¹, Marcelo Antonio TOMAZ¹

¹ Centro de Ciências Agrárias e Engenharias, Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, Espírito Santo, Brasil.

* E-mail: camila.martins@ufes.br

Recebido em fevereiro/2017; Aceito em junho/2017.

RESUMO: O atual cenário hídrico do país restringe o uso dos recursos hídricos disponíveis para fins de irrigação, visando atender o abastecimento público, por isso, objetivou-se avaliar o efeito do déficit hídrico nas variáveis de crescimento e produção do feijoeiro comum cultivado em solo de textura média e argilosa. Foram desenvolvidos dois experimentos no esquema fatorial 2 x 4, sendo a tensão para determinação da capacidade de campo em dois níveis e déficit hídrico no solo em quatro níveis, em um delineamento inteiramente casualizado, com três repetições para cada solo. A análise de crescimento foi realizada na fase de enchimento de grãos do feijoeiro e os dados foram submetidos à análise de variância ($p \leq 0,05$). Quando significativos os resultados, o teste F ($p \leq 0,05$) foi utilizado para o fator tensão e a análise de regressão para o fator déficit hídrico. Na fase de enchimento de grãos do feijoeiro comum, os níveis de déficit hídrico no solo de 40 e 60% da água disponível exercem efeitos negativos sobre as variáveis de crescimento e produção da cultura cultivada em solos de textura média e argilosa, independente da tensão adotada na determinação da capacidade de campo.

Palavras-chave: tensão, capacidade de campo, textura, crescimento.

Effect of water deficit in the grain filling stage of common bean

ABSTRACT: The current water scenario of the country restricts the use of available water resources for irrigation, in order to meet the public supply, therefore, it was aimed to evaluate the effect of water deficit on growth and yield variables of common bean grown on soil of medium and clayey texture. Two experiments were developed in factorial scheme of 2 x 4 with tension for the determination of field capacity on two levels and soil water deficit on four levels in a completely randomized design with three replicates for each soil. Growth analyzes were performed at the grain filling stage of the common bean and the data were submitted to an analysis of variance ($p \leq 0.05$). When significant results, the F Test ($p \leq 0,05$) was used for the tension factor and regression analysis for the water deficit factor. In the grain filling stage of common bean, soil water deficit levels of 40 and 60% of available water exert negative effects on the growth and yield variables of crop grown on soils of medium and clayey texture, independent of voltage adopted in determining the field capacity.

Keywords: tension, field capacity, texture, growth.

1. INTRODUÇÃO

O feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.) é um dos principais alimentos da dieta do brasileiro, por constituir uma importante fonte de proteínas, nutrientes e vitaminas essenciais ao organismo humano, com preço acessível à população de menor renda.

O cultivo do feijoeiro tem-se expandido para várias regiões com distribuição pluvial irregular, devido à adoção de várias tecnologias, entre as quais está a irrigação, que tem como objetivo aumentar o rendimento da cultura, sendo o Brasil o segundo maior produtor e o principal consumidor mundial desse grão (MELO et al., 2016).

Em diversas propriedades os sistemas de irrigação por aspersão são utilizados com o intuito de atender a exigência hídrica do feijoeiro, que varia entre 300 e 600 mm por ciclo (PEREIRA et al., 2014). Contudo, o

atual cenário hídrico do país restringe o uso dos recursos hídricos disponíveis para fins de irrigação, visando atender o abastecimento público. Nesse contexto, estudos sobre o desenvolvimento e a produção de culturas de interesse agrônomo cultivadas sob déficit hídrico são importantes por contribuir com o planejamento agrícola e o uso sustentável dos recursos naturais na agricultura irrigada.

Tendo em vista que o desenvolvimento de espécies vegetais é afetado pelo déficit hídrico, que reduz a condutância estomática, a taxa de assimilação líquida de gás carbônico e o crescimento de forma diferenciada (OSAKABE et al., 2014), sendo esta resposta dependente do genótipo, da idade do vegetal, da intensidade e da duração do estresse (OLSOVSKA et al., 2016), objetivou-se avaliar o efeito de diferentes níveis de déficit hídrico no solo sobre a fase de enchimento de grãos do feijoeiro comum cultivado em solos de textura média e argilosa.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Localização e condução do experimento

O trabalho foi conduzido em casa de vegetação no Centro de Ciências Agrárias e Engenharias da Universidade Federal do Espírito Santo em Alegre - ES, situada a uma altitude de 119 m, com coordenadas geográficas 20° 45' 2,3" de latitude Sul e 41° 29' 17,7" de longitude Oeste. O clima predominante na região é do tipo Cwa, conforme classificação de Köppen, com precipitação anual média de 1.200 mm e temperatura média anual de 23 °C (NOGUEIRA et al., 2012).

Foram instalados dois experimentos, no esquema fatorial 2 x 4, sendo a tensão matricial associada à umidade na capacidade de campo em dois níveis ($T_1 = 0,010$ MPa e $T_2 = 0,033$ MPa) e déficit hídrico no solo em quatro níveis ($DH_1 = 0\%$, $DH_2 = 20\%$, $DH_3 = 40\%$ e $DH_4 = 60\%$ da água total disponível no solo), em um delineamento inteiramente casualizado, com três repetições, para cada experimento, totalizando 48 unidades experimentais.

O experimento 1 foi instalado em vasos plásticos com capacidade para 8 dm³ utilizando-se um Latossolo Vermelho-Amarelo de textura argilosa (LVA) e o experimento 2 foi instalado em vasos utilizando-se um Argissolo Vermelho-Amarelo de textura média (PVA). Amostras superficiais de um LVA e PVA foram coletadas em áreas cultivadas com sistema agroflorestal e pastagem, respectivamente, no município de Alegre - ES. O solo foi seco ao ar, destorroado e passado em peneira de 2,0 mm para obtenção da terra fina seca ao ar (TFSA).

O enchimento dos vasos foi realizado manualmente com a TFSA, para padronizar o volume de solo utilizado em ambos os experimentos, com base nos resultados da caracterização física e química de amostras deformadas de solo acondicionadas em vasos, para a condução do experimento. As análises físicas e químicas dos solos em estudo foram realizadas de acordo com a metodologia recomendada pela Embrapa (1997).

As análises física e química do LVA apresentaram os seguintes resultados: areia: 432 g kg⁻¹; silte: 172 g kg⁻¹; argila: 396 g kg⁻¹; massa específica do solo (Ds): 1,22 kg dm⁻³; densidade de partículas (Dp): 2,21 kg dm⁻³; Porosidade Total (P_T): 0,448 m³ m⁻³; Capacidade de campo (Cc) na tensão de 0,010 MPa (T_1): 0,351 m³ m⁻³; Cc na tensão de 0,033 MPa (T_2): 0,284 m³ m⁻³; Ponto de murcha permanente (Pm): 0,190 m³ m⁻³; Água disponível (AD) no solo na tensão de 0,010 MPa (T_1): 0,161 m³ m⁻³; AD no solo na tensão de 0,033 MPa (T_2): 0,094; pH em água (1:2,5): 5,03; MO (dicromato de potássio, 1 mol L⁻¹, e titulação pelo sulfato ferroso, 0,5 mol L⁻¹): 19,4 g kg⁻¹; P (Mehlich-1 e colorimetria): 13,77 mg dm⁻³; K (Mehlich-1 e espectrofotometria de chama): 96 mg dm⁻³; Ca (KCl, 1 mol L⁻¹, e espectrometria de absorção atômica): 1,29 cmol_c dm⁻³; Mg (KCl, 1 mol L⁻¹, e espectrometria de absorção atômica): 0,80 cmol_c dm⁻³; H + Al (acetato de cálcio, 0,5 mol L⁻¹): 1,65 cmol_c dm⁻³; SB: 2,33 cmol_c dm⁻³; CTC: 3,98 cmol_c dm⁻³ e V: 58,54%.

Para o PVA, os resultados das análises foram: areia: 633 g kg⁻¹; silte: 67 g kg⁻¹; argila: 298 g kg⁻¹; Ds: 1,26 kg dm⁻³; Dp: 2,40 kg dm⁻³; P_T : 0,475 m³ m⁻³; Cc na tensão de 0,010 MPa (T_1): 0,261 m³ m⁻³; Cc na tensão de 0,033 MPa (T_2): 0,193 m³ m⁻³; Pm: 0,110 m³ m⁻³; AD no solo na tensão de 0,010 MPa (T_1) e de 0,033 MPa (T_2): 0,151 e 0,083 m³ m⁻³, respectivamente; pH em água (1:2,5): 4,78; MO: 16,3 g kg⁻¹; P: 4,86 mg dm⁻³; K:

41 mg dm⁻³; Ca: 0,75 cmol_c dm⁻³; Mg: 0,59 cmol_c dm⁻³; H + Al: 2,23 cmol_c dm⁻³; SB: 1,45 cmol_c dm⁻³; CTC: 3,67 cmol_c dm⁻³ e V: 39,51%.

2.2. Calagem e adubação

Após as análises dos solos, estes foram separados em amostras de 7 dm³ e acondicionadas em sacos plásticos onde foram incubadas por 28 dias com a aplicação de 2 e 5 g de calcário dolomítico (PRNT = 96%) no LVA e no PVA, respectivamente, com base nos resultados das análises químicas dos solos, de acordo com a metodologia proposta por Prezotti et al. (2007). Durante a incubação as amostras de solos foram mantidas a umidade de 60% do volume total de poros (VTP) e foram realizadas pesagens diárias para reposição das perdas de água do solo.

Após o período de incubação, as amostras foram secas a sombra e homogeneizadas em peneira de malha 2 mm, para realização da adubação de plantio e condução (cobertura) de acordo com a metodologia proposta por Novais et al. (1991).

2.3. Plantio

As amostras de solos foram colocadas em vasos plásticos e efetuou-se a adubação de plantio, uma semana antes desta operação, com a aplicação de 4 g de sulfato de amônio (21% de nitrogênio), 13 g de superfosfato simples (19% de P₂O₅) e 2 g de cloreto de potássio (58% de K₂O), em cada vaso. Posteriormente, realizou-se o plantio das sementes certificadas de feijão comum, cultivar Ouro Negro, pertencente ao grupo comercial do tipo preto, com hábito de crescimento indeterminado III, porte prostrado, ciclo de 80 - 100 dias, que se sobressai no cultivo irrigado de outono-inverno. As sementes certificadas de feijão comum foram obtidas junto à Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais (FAPEMIG).

O plantio das sementes nos vasos foi realizado no dia 28 de junho de 2012. Foram semeadas três sementes por vaso e aos 10 dias após o plantio foi realizado um desbaste para permanecer uma planta por vaso. Para garantir o estabelecimento das plantas, os vasos foram irrigados diariamente durante 10 dias. Em seguida, foram definidos os tratamentos e as plantas cultivadas por um período de 65 dias (08/07/2012 a 11/09/2012), totalizando 75 dias para avaliar a fase de enchimento de grãos, ou seja, a fase R8. Aos 30 e 60 dias após o plantio efetuou-se uma adubação de cobertura com 4 g por vaso de sulfato de amônio e 2 g por vaso de cloreto de potássio para cada solo.

2.4. Determinação das curvas de retenção de água

As curvas de retenção de água dos solos, obtidas por secamento, foram determinadas a partir de amostras deformadas dos solos em estudo, previamente acondicionadas nos vasos para a execução da pesquisa, conforme preconizado pela Embrapa (1997). Após o período de saturação de 12 h, as amostras foram colocadas no extrator de Richards com placa porosa para estabilização, adotando-se um tempo não inferior a três dias e posterior determinação da umidade gravimétrica (Ug), correspondente às tensões de: 0,006, 0,010, 0,033, 0,08, 0,10, 0,30, 0,50, 1,0 e 1,5 MPa, com três repetições.

A umidade volumétrica (θ) para cada uma das tensões foi obtida pelo produto da umidade gravimétrica pela densidade do solo ($\theta = U_g \cdot D_s$). Os valores médios de umidade volumétrica dos pontos da curva de retenção de cada solo

foram ajustados utilizando-se o modelo matemático proposto por van Genuchten (1980).

Os valores de umidade volumétrica observados na curva de retenção de água de cada solo para a capacidade de campo (C_c) determinada nas tensões de 0,010 MPa (T_1) e 0,033 MPa (T_2), e para o ponto de murcha permanente (Pmp) na tensão de 1,5 MPa foram utilizados para determinar a água disponível, de acordo com a metodologia preconizada por Klein et al. (2010). Depois, foram definidas as umidades referentes aos níveis de déficit hídrico de 20, 40 e 60% da água disponível ($DH = 20, 40$ e 60%), destinadas ao cálculo das lâminas de irrigação para os solos em estudo.

2.5. Monitoramento do teor de água das parcelas

Inicialmente, realizou-se a padronização da massa de solo, planta e umidade de todos os vasos após o plantio das sementes. Passado o período destinado ao estabelecimento das plantas, retirou-se amostra de solo dos vasos para a determinação da umidade pelo método termogravimétrico (EMBRAPA, 1997), sendo reposta a mesma quantidade de solo do vaso. Logo após procedeu-se a elevação da umidade gravimétrica do solo (U_g) à capacidade de campo determinada na tensão de 0,010 MPa pelo extrator de Richards, com posterior pesagem dos vasos.

As lâminas de irrigação (L_i) foram multiplicadas pela área média do vaso (\bar{A}_v), determinada pela equação 1:

$$\bar{A}_v = \frac{h(B+b)}{2} \quad (1)$$

em que: h = altura, em m; B = base maior, em m; b = base menor do vaso, em m, e $\bar{A}_v = 0,045 \text{ m}^2$, para serem expressas em volume (mL vaso^{-1}). Além disso, o estabelecimento e o controle do teor de umidade das parcelas foram realizados diariamente sempre no intervalo das 7 h às 8 h, pelo monitoramento da massa de cada unidade experimental, incluindo solo e planta.

Após o estabelecimento da massa de cada unidade experimental e correspondente umidade do solo na capacidade de campo determinada pela T_1 (0,010 MPa), foram determinadas as massas dos vasos na capacidade de campo determinada pela T_2 (0,033 MPa), e os déficits hídricos de 20, 40 e 60% da água disponível para todos os níveis de tensão utilizados na determinação da capacidade de campo dos solos em estudo. Para obter os teores de umidade de cada unidade experimental realizou-se o monitoramento da umidade do solo e pesagem dos vasos a cada 12 h.

2.6. Lâminas de irrigação

Na ausência de déficit hídrico ($DH = 0\%$), a umidade do solo era mantida próxima à capacidade de campo e as lâminas de irrigação a serem aplicadas para elevar o teor de umidade do solo (U_a) à capacidade de campo nos déficits de 20, 40 e 60% da AD, foram determinadas pela equação 2:

$$L_i = \left[\frac{(C_c - U_a)}{10} \right] \cdot D_s \cdot Z \quad (2)$$

em que: L_i = lâmina de irrigação, em mm; C_c = umidade do solo na capacidade de campo, % em peso; U_a = umidade atual do solo, % em peso; D_s = densidade do solo, em g cm^{-3} ; e Z = profundidade efetiva do sistema radicular da cultura, em cm.

As reposições de água foram realizadas manualmente por diferença de pesagem dos vasos, para manter a umidade dos solos na C_c determinada nos níveis de tensão utilizados na determinação da C_c e de déficits hídricos em estudo. O ajuste das massas dos vasos à umidade gravimétrica do solo (U_g) estimada para os níveis de tensão para determinação da capacidade de campo e de déficits hídricos foi realizado a cada 20 dias, devido ao incremento propiciado pelo crescimento das plantas, utilizando-se as equações 3 e 4:

$$F_{aj} = \frac{[(U_g - U_a)MV]}{100} \quad (3)$$

$$MVC = MV + F_{aj} \quad (4)$$

em que: F_{aj} = fator de ajuste da umidade gravimétrica, adimensional; U_g = umidade gravimétrica estimada para os níveis de tensão para determinação da capacidade de campo (T_1 e T_2) e de déficits hídricos ($DH_1 = 0\%$, $DH_2 = 20\%$, $DH_3 = 40\%$ e $DH_4 = 60\%$ da água total disponível no solo), em %; U_a = umidade gravimétrica atual, em %; MV = massa do vaso, em kg; MVC = massa do vaso calculada, em kg.

2.7. Umidade e volume de irrigação deficitária

Os valores de umidade volumétrica foram de 35, 33, 31 e 29% para a tensão de 0,010 MPa (T_1) e de 28, 27, 26 e 25% para a tensão de 0,033 MPa (T_2), nos níveis de déficits hídricos de 0, 20, 40 e 60% da água disponível (AD), respectivamente, no Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) e de 26, 24, 22 e 20% para T_1 e de 19, 18, 17 e 16% para a T_2 , nos níveis de déficits hídricos em estudo, respectivamente, no Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA).

Com esses resultados, foram definidos os valores distintos de água disponível no solo, e a partir desse parâmetro, diferentes níveis de déficit hídrico no solo, aplicados por meio de diferentes volumes de irrigação, em mililitros por vaso (mL vaso^{-1}), em cada solo.

Os valores de volume de irrigação em função dos déficits hídricos a que as plantas foram submetidas no Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) foram de 0, 220, 440 e 660 mL vaso^{-1} para a tensão de 0,010 MPa (T_1) e de 0, 130, 260 e 380 mL vaso^{-1} para a tensão de 0,033 MPa (T_2), nos níveis de água disponível de 100, 80, 60 e 40%, respectivamente, enquanto que, no Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA) os valores de déficit hídrico foram de 0, 210, 420 e 640 mL vaso^{-1} para a tensão de 0,010 MPa (T_1) e de 0, 130, 240 e 350 mL vaso^{-1} para a tensão de 0,033 MPa (T_2), nos níveis de água disponível de 100, 80, 60 e 40%, respectivamente.

2.8. Análise de crescimento e produção

A análise de crescimento e a avaliação dos componentes de produção foram realizadas na fase de enchimento de grão (R8) da cultura, que corresponde a aproximadamente 65 dias após a emergência (DAE). Foram avaliados: potencial hídrico foliar antemanhã (ψ_{am}), área foliar (AF), massa seca total (MST), número de folíolos por planta (NFP), número de vagens por planta (NVP) e massa de grãos por planta (MGP).

A medição de potencial hídrico foliar antemanhã (ψ_{am}) foi realizada, antes do nascer do sol, às 4 h e 30 min, utilizando-se uma bomba de pressão construída segundo Scholander et al.

(1965), destinada ao estudo da tensão da seiva no xilema. A escolha do horário se deve ao fato de que o potencial hídrico foliar medido na antemanhã é um indicativo do estado hídrico das plantas.

Para realização da medida de potencial hídrico foliar antemanhã, selecionou-se o folíolo central da quarta folha trifoliolada, completamente expandido da haste principal, de três plantas por tratamento. A folha do feijoeiro comum, após ser destacada do ramo, foi inserida na câmara da bomba deixando-se a base do pecíolo aparente e aplicou-se uma pressão em carga crescente e gradual até que a seiva xilemática começou a surgir na superfície do pecíolo, cuja observação foi feita com auxílio de luz artificial e lente de aumento (lupa). Nesse momento, realizou-se a leitura do manômetro e a pressão observada correspondeu ao potencial hídrico da seiva xilemática.

Para cada avaliação foram realizadas 24 leituras, sendo 3 folhas por planta no mesmo dia para cada experimento, fazendo-se o uso de uma média por tratamento, totalizando-se dois dias para esta avaliação. A área foliar foi determinada a partir de um medidor de área foliar, modelo LI-3000. E para obter a massa seca total e a massa de grãos por planta, as plantas foram secas em estufa a 70 °C, até atingirem massa constante. O número de folíolos por planta e o número de vagens por planta foram determinados por meio de contagem direta.

2.9. Análises estatísticas

Os dados foram submetidos aos testes preliminares para verificação da normalidade e homogeneidade de variância dos mesmos, aos testes de Lilliefors e teste de Bartlett, respectivamente. Posteriormente, os dados foram submetidos à análise de variância ($p \leq 0,05$). Quando significativo foi utilizado o teste F ($p \leq 0,05$) para o fator tensão, que apesar de ser um fator quantitativo, não possui grau de liberdade suficiente para realização da análise de regressão, pelo fato de apresentar apenas dois níveis e a análise de regressão para o fator déficit hídrico. Os modelos foram escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se

o teste t de Student, ao nível de 5% de probabilidade e pelo coeficiente de determinação.

3. RESULTADOS

Pela análise de variância (Tabela 1), observa-se que não houve interação entre os níveis de tensão e de déficit hídrico no solo para todas as variáveis avaliadas ($p > 0,05$) na fase de enchimento de grãos do feijoeiro comum cultivado em Latossolo Vermelho-Amarelo de textura argilosa (LVA) e Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA). Assim, foram avaliados apenas os efeitos simples dos fatores em estudo (tensão e déficit hídrico) sobre as variáveis de crescimento e produção do feijoeiro comum na fase de enchimento de grãos.

É possível verificar na Tabela 1, que houve efeito significativo dos níveis de tensão considerados para umidade do solo na capacidade de campo sobre todas as variáveis de crescimento e produção analisadas ($p < 0,05$) na fase de enchimento de grãos do feijoeiro comum cultivado em solos de textura argilosa (LVA) e média (PVA).

Na Tabela 1 nota-se que em relação ao efeito dos níveis de déficit hídrico no solo, também houve resposta significativa para as variáveis avaliadas ($p < 0,05$) na fase de enchimento de grãos da cultura e solos em estudo.

Estes resultados indicam que os volumes de irrigação deficitária interferiram de forma significativa no desenvolvimento do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Ouro Negro), cultivado no período de inverno, em solos de textura argilosa e média, pelo fato do conteúdo de água disponível no solo exercer influência direta nos processos de absorção, transporte e translocação de água e nutrientes pelas plantas, conforme mencionado por Taiz; Zeiger (2013).

Na Tabela 2, verifica-se respostas significativas ($p < 0,05$) para o potencial hídrico foliar antemanhã (ψ_{am}), área foliar (AF), massa seca total (MST), número de folíolos por planta (NFP), número de vagens por planta (NVP) e massa de grãos por planta (MGP) analisados, ao nível de 5% de probabilidade,

Tabela 1. Resumo da análise de variância de potencial hídrico foliar antemanhã (ψ_{am}), área foliar (AF), massa seca total (MST), número de folíolos por planta (NFP), número de vagens por planta (NVP) e massa de grãos por planta (MGP) na fase de enchimento de grãos do feijoeiro comum, cultivado no Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) e Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA).

Table 1. Analysis of variance summary of predawn leaf water potential (ψ_{am}), leaf area (LA), dry matter (DM), number of leaves per plant (NLP), pod numbers per plants (PNP) and grain yield per plant (gyp) in the grain filling stage of common bean, cultivated in Oxisol and Ultisol.

| Fonte de variação | GL | Quadrados médios | | | | | |
|--------------------------------|----|----------------------|--------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| | | ψ_{am} | AF | MST | NFP | NVP | MGP |
| LVA | | | | | | | |
| Tensão na Cc | 1 | 0,1491* | 2434614,0000* | 311,8253* | 748,1667* | 48,1667* | 40,1373* |
| Déficit Hídrico | 3 | 0,0742* | 3560857,3333* | 311,3856* | 1230,2778* | 50,1111* | 11,5137* |
| Tensão na Cc x Déficit Hídrico | 3 | 0,0013 ^{ns} | 7926,4444 ^{ns} | 0,6606 ^{ns} | 8,5000 ^{ns} | 0,7222 ^{ns} | 0,1125 ^{ns} |
| Resíduo | 16 | 0,0005 | 40613,6667 | 2,4418 | 8,7083 | 0,4167 | 0,3161 |
| Média Geral | | 0,62 | 4659,00 | 28,81 | 82,42 | 14,33 | 7,68 |
| CV (%) | | 3,68 | 4,33 | 5,42 | 3,58 | 4,50 | 7,32 |
| Quadrados médios | | | | | | | |
| Fonte de variação | GL | Quadrados médios | | | | | |
| | | ψ_{am} | AF | MST | NFP | NVP | MGP |
| PVA | | | | | | | |
| Tensão na Cc | 1 | 0,1386* | 1960776,6502* | 306,0847* | 580,1667* | 54,0000* | 35,6021* |
| Déficit Hídrico | 3 | 0,0960* | 3648119,2267* | 306,8348* | 1254,9444* | 47,5556* | 6,3860* |
| Tensão*Déficit Hídrico | 3 | 0,0005 ^{ns} | 38785,5366 ^{ns} | 0,7897 ^{ns} | 4,2778 ^{ns} | 0,4444 ^{ns} | 0,3168 ^{ns} |
| Resíduo | 16 | 0,0007 | 39303,9553 | 2,4980 | 9,6667 | 0,3333 | 0,1331 |
| Média Geral | | 0,67 | 4479,46 | 27,22 | 79,75 | 12,17 | 7,11 |
| CV (%) | | 3,95 | 4,43 | 5,81 | 3,90 | 4,74 | 5,13 |

*Significativo a 5% de probabilidade; e ^{ns} não significativo.

Tabela 2. Valores médios obtidos para potencial hídrico foliar antemanhã (ψ_{am}), área foliar (AF), massa seca total (MST), número de folíolos por planta (NFP), número de vagens por planta (NVP) e massa de grãos por planta (MGP) em função dos níveis de tensão considerados para umidade do solo na capacidade de campo (T1 = 0,010 MPa e T2 = 0,033 MPa), na fase de enchimento de grãos do feijoeiro comum, no Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA) e no Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA).

Table 2. Mean values obtained for predawn leaf water potential (ψ_{am}), leaf area (LA), dry matter (DM), number of leaves per plant (NLP), pod numbers per plants (PNP), and grain yield per plant (gyp) in function to the tension levels considered for soil humidity in the field capacity (T1 = 0,010 MPa and T2 = 0,033 MPa), in the grain filling stage of common bean, in Oxisol and Ultisol.

| Tensão na Cc | ψ_{am} (MPa) | AF (cm ²) | MST (g) | NFP | NVP | MGP (g) |
|--------------|-------------------|-----------------------|---------|------|------|---------|
| LVA | | | | | | |
| T1 | -0,55 a | 4977,53 a | 32,41 a | 88 a | 17 a | 9,0 a |
| T2 | -0,70 b | 4340,57 b | 25,20 b | 77 b | 13 b | 6,0 b |
| PVA | | | | | | |
| T1 | -0,60 a | 4895,80 a | 30,79 a | 85 a | 14 a | 8,0 a |
| T2 | -0,75 b | 3865,63 b | 23,65 b | 75 b | 11 b | 6,0 b |

*Médias seguidas de mesma letra, minúscula nas colunas, não diferem significativamente entre si pelo teste F ($p < 0,05$).

na fase de enchimento de grãos do feijoeiro comum submetido a diferentes níveis de tensão definidos como relativos à umidade na capacidade de campo, em um LVA de textura argilosa e PVA de textura média.

Na fase de enchimento de grãos do feijoeiro comum, ou seja, fase fenológica R8, a tensão de 0,010 MPa (T_1) utilizada para determinar a capacidade de campo (Cc) proporcionou maiores valores de potencial hídrico foliar antemanhã (22,4%), área foliar (19,3%), massa seca total (28,6%), número de folíolos por planta (14,5%), número de vagens por planta (28,4%) e massa de grãos por planta (40,5%) nas plantas cultivadas no LVA (Tabela 2), em relação às plantas submetidas à Cc definida

pela tensão de 0,033 MPa (T_2), pelo fato de que o conteúdo de água disponível no solo com a T_1 ser superior a T_2 .

Para o feijoeiro cultivado no PVA (Tabela 2), a tensão de 0,010 MPa (T_1) adotada para definir a Cc também proporcionou maiores valores de potencial hídrico foliar antemanhã (20,2%), área foliar (26,6%), massa seca total (30,3%), número de folíolos por planta (13,1%), número de vagens por planta (27,1%) e massa de grãos por planta (41,6%), em comparação com as plantas submetidas à Cc definida pela tensão de 0,033 MPa (T_2).

Nas Figuras 1 e 2 é possível observar que ao quantificar a irrigação real necessária à cultura com base na capacidade de campo definida pela tensão de 0,010 MPa, pode-se projetar

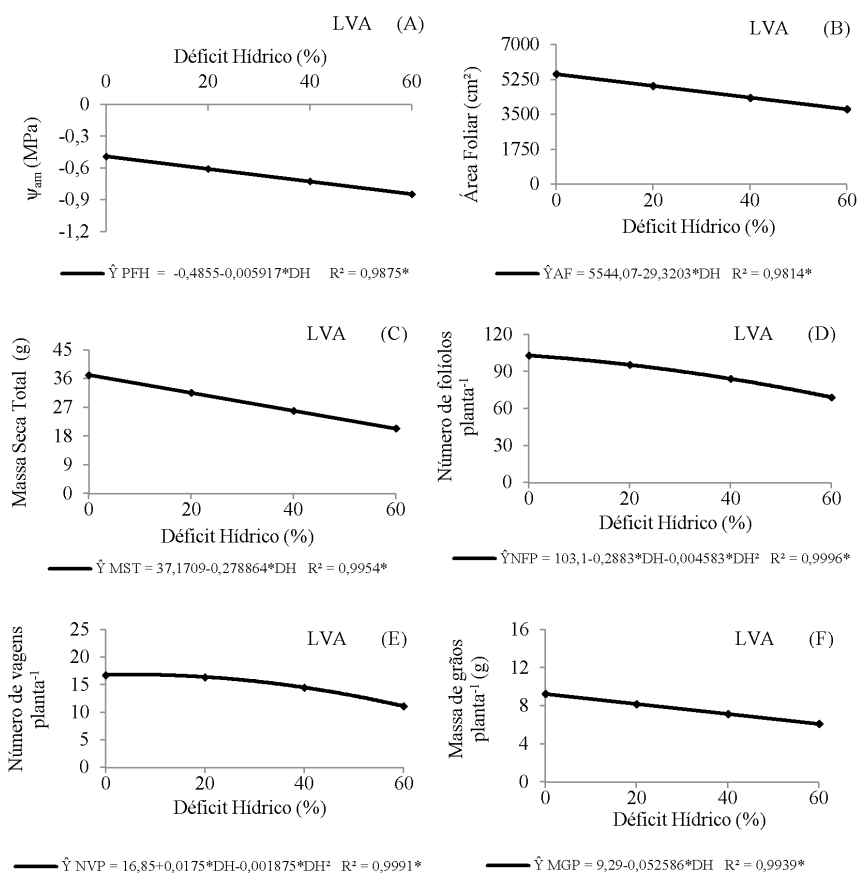


Figura 1. Potencial hídrico foliar antemanhã - ψ_{am} (A), área foliar (B), massa seca total (C), número de folíolos por planta (D), número de vagens por planta (E) e massa de grãos por planta (F) em função dos diferentes níveis de déficit hídrico, na fase de enchimento de grãos do feijoeiro comum cultivado no Latossolo Vermelho-Amarelo (LVA).

Figure 1. Predawn leaf water potential - ψ_{am} (A), leaf area (B), dry matter (C), number of leaves per plant (D), pod numbers per plants (E), and grain yield per plant (F) in function to diferente levels of water déficit in the grain filling stage of common bean, cultivated in Oxisol.

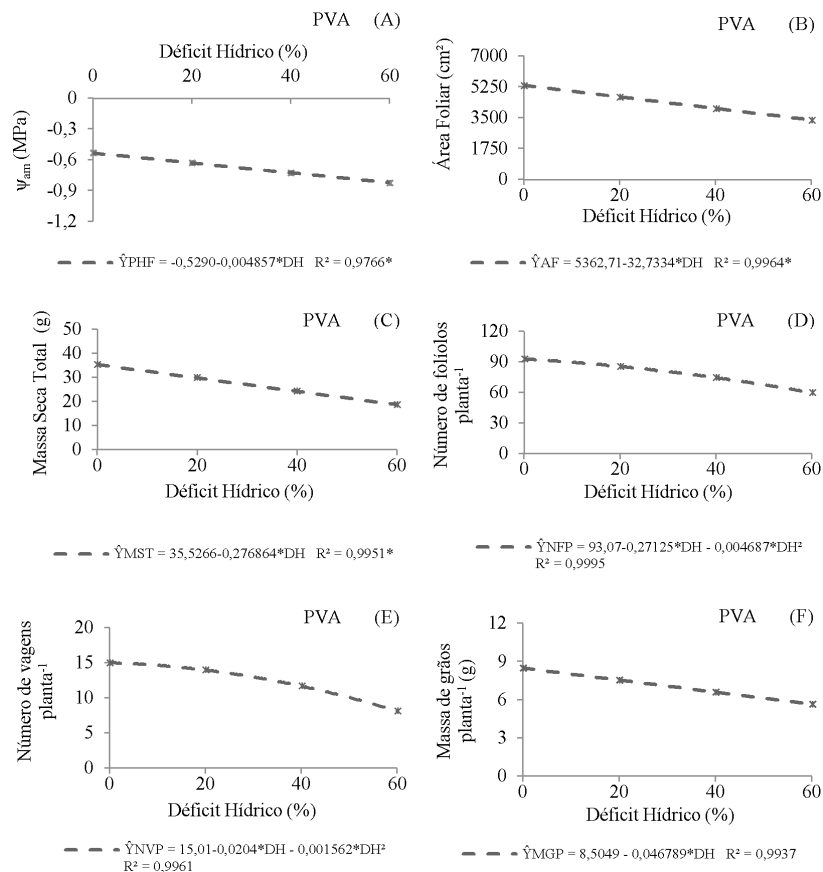


Figura 2. Potencial hídrico foliar antemanhã - ψ_{am} (A), área foliar (B), massa seca total (C), número de folíolos por planta (D), número de vagens por planta (E) e massa de grãos por planta (F) em função dos diferentes níveis de déficit hídrico, na fase de enchimento de grãos do feijoeiro comum cultivado no Argissolo Vermelho-Amarelo (PVA).

Figure 2. Predawn leaf water potential - ψ_{am} (A), leaf area (B), dry matter (C), number of leaves per plant (D), pod numbers per plants (E), and grain yield per plant (F) in function to different levels of water deficit in the grain filling stage of common bean, cultivated in Ultisol.

os sistemas de irrigação para aplicarem lâminas de irrigação considerando até 70% da água disponível do solo, uma vez que a partir desse valor nota-se efeitos extremamente negativos nas características morfofisiológicas do cultivar Ouro Negro, cultivado em solos de textura média e argilosa.

4. DISCUSSÃO

Segundo Fernandes et al. (2015) em ambientes com menores conteúdos de água disponível no solo, as plantas reduzem a condutância estomática com consequências nas taxas de transpiração e fotossíntese, responsáveis pelo desenvolvimento do vegetal. Para Olsovska et al. (2016), a ocorrência de déficit hídrico no solo associada a incidência de outros fatores abióticos, como temperatura alta, baixa umidade relativa do ar ou luz intensa, aumenta a fotoinibição da fotossíntese.

Estes resultados são explicados pelo fato de que a disponibilidade de água no solo afeta significativamente o comportamento fisiológico das plantas por reduzir o potencial hídrico foliar, a condutância estomática, a taxa de assimilação de CO₂, a transpiração e aumentar a temperatura foliar, o que reduz a taxa de crescimento e consequentemente a produtividade da cultura (TAIZ; ZEIGER, 2013; OSAKABE et al., 2014), corroborando com os resultados obtidos por Lanna et al. (2016) ao avaliarem o efeito do déficit hídrico no solo sobre as características morfofisiológicas dos genótipos BAT 477 e Pérola, do feijoeiro comum.

Pelos dados apresentados na Tabela 2, observa-se que os valores de ψ_{am} , AF, MST, NFP, NVP e MGP determinados na fase de enchimento de grãos do feijoeiro cultivado em solo de textura argilosa (LVA) e de textura média (PVA) decrescem com o aumento do nível de tensão considerado para umidade do solo na capacidade de campo.

Resultados semelhantes foram obtidos por Bastos et al. (2012) e Fernandes et al. (2015), que ao avaliarem o efeito do déficit hídrico no solo sobre variáveis de crescimento e produção do feijão-caupi, constataram que a redução da lâmina de irrigação proporciona decréscimos significativos nas variáveis de crescimento e rendimento da cultura.

Tais resultados indicam que a tensão adotada para determinar a Cc do solo exerce influência sobre as variáveis morfofisiológicas do feijoeiro comum, já o teor de água do solo na Cc oscila com o nível de tensão adotado em sua determinação, sendo que em maiores potenciais matriciais da água no solo, ou seja, em menores tensões, há maior disponibilidade de água no solo.

De acordo com Olsovska et al. (2016) em ambientes com menor disponibilidade de água, ocorre redução no tamanho dos estômatos para que ocorra menor perda de água da planta para a atmosfera e aumento de sua densidade para contribuir com o equilíbrio das trocas gasosas. Para Catuchi et al. (2012), essas alterações podem compensar a redução de área foliar e de potencial hídrico foliar que ocorre em plantas submetidas ao déficit hídrico.

Nesse contexto, vale mencionar que na fase fenológica R8, o potencial hídrico foliar antemanhã é menor, devido à translocação de água, nutrientes e fotoassimilados das folhas para as vagens e grãos, que estão em fase de enchimento.

Segundo Fischer Filho et al. (2014) é importante conhecer a necessidade hídrica da cultura durante o seu desenvolvimento para minimizar os efeitos negativos que a irrigação deficitária ou excessiva causa em períodos que a cultura normalmente requer menor conteúdo de água no solo, com o auxílio de conhecimento técnico-científico que contribui com o aumento do rendimento da cultura e também com a qualidade de grãos colhidos.

Desse modo, com os resultados obtidos neste trabalho é possível afirmar e orientar aos profissionais das ciências agrárias, responsáveis pelo dimensionamento e também pelo monitoramento de projetos de irrigação, que independentemente do tipo de solo, deve-se determinar a curva de retenção de água pelo solo em cada área de cultivo, para definir a máxima capacidade de água que o solo é capaz de reter após o excesso ter sido drenado em cada local, de modo a não haver irrigação excessiva ou deficitária e assim atender a demanda hídrica da cultura, sem causar prejuízos para o irrigante.

De acordo com Silva et al. (2015) para compreender o comportamento das variáveis morfofisiológicas de plantas cultivadas com restrição hídrica é necessário determinar a capacidade de armazenamento de água do solo e assim avaliar o efeito dos mecanismos de sobrevivência dos vegetais ao decréscimo de água disponível no solo, que varia com os atributos físicos do mesmo e induz ao vegetal apresentar comportamentos diferenciados como mecanismos de resistência ao estresse (FREITAS et al., 2014; OLSOVSKA et al. 2016).

Sendo possível constatar por meio dos resultados apresentados nas Figuras 1 e 2, que o cultivar Ouro Negro apresenta como mecanismo de sobrevivência e resistência ao déficit hídrico no solo, a redução da expansão foliar e a aceleração da senescência de folhas maduras (velhas), o que resulta em menores valores de área foliar na fase de enchimento de grãos do feijoeiro.

Tal fato está relacionado com a menor produção de fotoassimilados necessários ao crescimento dos grãos, uma vez que, em plantas com menores valores de área foliar, tem-se menor interceptação e absorção de radiação fotossinteticamente ativa pelas folhas, que afeta a eficiência de conversão da energia radiante em energia química pela fotossíntese (TAIZ; ZEIGER, 2013) e causa efeitos diretos na produção de massa seca total e de grãos da cultura, conforme observado também nos trabalhos desenvolvidos por Fischer Junior et al. (2014) e Lanna et al. (2016).

Nota-se que os níveis de déficit hídrico aplicados no solo influenciam significativamente o crescimento e a produção na fase de enchimento de grãos do feijoeiro comum, cultivado em LVA (Figura 1) e PVA (Figura 2). Resultados semelhantes foram obtidos por Freitas et al. (2014), Fernandes et al. (2015) e Souza et al. (2016) que observaram efeitos significativos do déficit hídrico no solo sobre índices de crescimento e componentes de produção do feijão-caupi.

Nesse caso, convém ressaltar que o feijoeiro apesar de possuir ampla adaptação e distribuição geográfica, é uma cultura exigente no que diz respeito às condições edafoclimáticas. Por isso, o conhecimento sobre as características agroclimáticas, as exigências e limitações do feijoeiro são importantes para a escolha de uma área onde a cultura possa desenvolver e produzir de forma satisfatória, aproveitando ao máximo o potencial do

cultivar utilizado em resposta à adubação e ao benefício de outras práticas agrícolas empregadas na agricultura, como por exemplo, a irrigação (VALE et al., 2012; PEREIRA et al. 2014; MELO et al. 2016).

Dentro desse contexto, verifica-se que o volume de água aplicado (ml vaso^{-1}) para manter os conteúdos de água no solo em estudo, ou seja, DH = 0, 20, 40 e 60% da AD, ao longo do ciclo da cultura, oscilaram em média de aproximadamente 110 a 330 ml vaso^{-1} ao considerar a T_1 e de 130 a 230 ml vaso^{-1} com a T_2 para o LVA. Enquanto, que para o PVA o volume de água aplicado variou da ordem de 210 a 380 ml vaso^{-1} para a T_1 e de 150 a 250 ml vaso^{-1} ao considerar a T_2 para determinação da Cc.

Estes resultados indicam que a lâmina de irrigação aplicada em cada classe de solo estudada para manter os conteúdos de água avaliados variou de um solo para o outro em função dos atributos físicos dos mesmos, do sistema de cultivo dos solos e da tensão adotada para determinação da capacidade de campo para o LVA de textura argilosa e o PVA de textura média, considerados por Pereira et al. (2014) como aptos para o cultivo do feijoeiro comum.

Nesse contexto, as variáveis: potencial hídrico foliar antemanhã - ψ_{am} (Figura 1A), área foliar (Figura 1B), massa seca total (Figura 1C) e massa de grãos por planta (Figura 1F) cultivada no LVA, foram reduzidas linearmente em resposta ao aumento do nível de déficit hídrico no solo ($p < 0,05$), exceto o número de folíolos por planta (Figura 1D) e o número de vagens por planta (Figura 1E) que apresentaram comportamento quadrático para os níveis de déficit hídrico no solo.

Nos resultados estimados, observa-se que para cada variação unitária crescente do nível de déficit hídrico no solo ocorreu redução da ordem de 8, 17 e 26% para o potencial hídrico foliar antemanhã (ψ_{am}) das plantas cultivadas no LVA e submetidas aos níveis de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, em comparação às plantas não submetidas ao déficit hídrico (Figura 1A). Para Osakabe et al. (2014) a diminuição da turgescência é a primeira resposta das plantas ao déficit hídrico no solo e isto afeta negativamente a expansão celular e o alongamento do sistema radicular da planta, responsáveis pelo crescimento em extensão das mesmas.

Nas plantas cultivadas no PVA, as variáveis potencial hídrico foliar antemanhã (ψ_{am}) (Figura 2A), área foliar (Figura 2B), massa seca total (Figura 2C) e massa de grãos por planta (Figura 2F) apresentaram comportamento linear para cada nível de déficit hídrico no solo em estudo ($p < 0,05$), com exceção do número de folíolos por planta (Figura 2D) e do número de vagens por planta (Figura 2E) que apresentaram comportamento quadrático em função dos níveis de déficit hídrico no solo.

Nos resultados estimados, observa-se decréscimos de aproximadamente 10, 20 e 29% para o ψ_{am} das plantas submetidas aos níveis de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no PVA, respectivamente, em relação às plantas não submetidas ao déficit hídrico.

Tais resultados confirmam a premissa de que a disponibilidade de água no solo é um dos principais fatores limitantes para a produtividade do feijoeiro comum, pois o rendimento da cultura é fortemente afetado pela condição hídrica do solo, uma vez que a deficiência ou excesso de água no solo, nas diferentes fases fenológicas da cultura, causa redução na produtividade em diferentes proporções (LANNA et al., 2016).

Mas, com relação à disponibilidade de água no solo, o crescimento e a produção do feijoeiro comum, as pesquisas ainda

são incipientes e existe carência de informações, principalmente, para o cultivar Ouro Negro, que se destaca em cultivo irrigado de outono inverno, apesar de existir um número considerável de trabalhos na literatura sobre a influência do déficit hídrico no crescimento e nos componentes de produção em plantas de feijão-caupi (BASTOS et al. 2012; SILVA et al. 2013; FREITAS et al. 2014; FERNANDES et al. 2015; e SOUZA et al. (2016).

Nesse caso, constata-se que a redução do ψ_{am} é maior no nível de déficit hídrico no solo igual a 60%, ou seja, com 40% da água disponível em ambos os solos (Figuras 1A e 2A). Resultados semelhantes foram obtidos por Nascimento et al. (2011); e Freitas et al. (2014).

De acordo com Taiz; Zeiger (2013) quanto menor for o conteúdo de água disponível no solo mais negativo deverá ser o potencial desenvolvido pelos vegetais, formando um gradiente que beneficie a absorção de água pelas plantas.

O melhor estado hídrico das plantas na fase de enchimento de grãos pode ser observado na ausência de déficit hídrico no solo ($\psi_{am} = -0,49$ MPa) a um potencial matricial médio de $-0,010$ MPa no LVA e o menor grau de hidratação ocorreu nas plantas submetidas ao déficit hídrico de 60% da AD ($\psi_{am} = -0,84$ MPa), cujo potencial matricial médio do solo foi de $-0,087$ MPa.

Para as plantas cultivadas no PVA, o maior grau de hidratação pode ser observado na ausência de déficit hídrico no solo ($\psi_{am} = -0,53$ MPa) a um potencial matricial de $-0,010$ MPa no LVA e a menor hidratação ocorreu nas plantas submetidas ao déficit hídrico de 60% ($\psi_{am} = -0,82$ MPa), cujo potencial matricial médio do solo é de $-0,066$ MPa. Isto indica que a variação do ψ_{am} está associada ao ψ_m e à umidade do solo.

Dados da literatura mostram que a avaliação do grau de hidratação das plantas quando submetidas ao déficit hídrico em diferentes fases fenológicas evidencia a ocorrência de reduções significativas no potencial hídrico foliar, na condutância estomática e na transpiração foliar, com consequente aumento da temperatura foliar, com consequente aumento da temperatura foliar (ENDRES et al., 2010; CATUCHI et al. 2012; FERNANDES et al. 2015).

Nesse contexto, nota-se que a maior disponibilidade de água do LVA proporcionou ao feijoeiro comum na fase de enchimento de grãos os maiores valores de ψ_{am} , que é superior aos resultados obtidos nas plantas cultivadas no PVA, nas condições avaliadas. Estes resultados permitem afirmar que o nível de água disponível no solo em função dos níveis de tensão em estudo afeta significativamente o crescimento e a produção do feijoeiro por limitar o potencial hídrico foliar, a expansão foliar, a formação de vagens e o enchimento de grãos. Resultados semelhantes foram obtidos por Guimarães et al. (2011) e Freitas et al. (2014).

Pelos resultados estimados pelas equações apresentadas na Figura 1, verificaram-se decréscimos de aproximadamente 11, 22 e 32% para a AF das plantas cultivadas no LVA e submetidas aos níveis de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, em relação às plantas não submetidas ao déficit hídrico.

Houve reduções da ordem de 15, 30 e 45% para a MST das plantas cultivadas no LVA e submetidas aos níveis de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, em relação às plantas não submetidas ao déficit hídrico.

Para o NFP, o decréscimo foi de aproximadamente 10, 20 e 33% para as plantas cultivadas no LVA e submetidas aos níveis de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente,

quando comparado com as plantas não submetidas ao déficit hídrico. Nos resultados estimados, também é possível verificar redução de aproximadamente 2, 13 e 34% para o número de vagem por planta (NVP) submetida ao nível de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, em comparação com as plantas não submetidas ao déficit hídrico.

E para o componente MGP, observa-se redução de aproximadamente 12, 23 e 35% para as plantas cultivadas no LVA e submetidas aos níveis de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, quando comparado com as plantas mantidas com a umidade próxima da capacidade de campo no LVA.

Nota-se que os decréscimos das variáveis de crescimento e dos componentes de produção do feijoeiro foram maiores no nível de déficit hídrico no solo igual a 60%, ou seja, com 40% da água disponível em ambos os solos (Figuras 1 e 2). Estes resultados estão próximos aos obtidos por Freitas et al. (2014) e Souza et al. (2016), que verificaram decréscimos significativos no acúmulo de fitomassa das plantas à medida que se diminui a disponibilidade de água no solo para as plantas.

Nos resultados estimados para as plantas cultivadas no PVA (Figura 2), observaram-se reduções de aproximadamente 12, 25 e 37% para a AF das plantas submetidas aos níveis de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, em relação às plantas não submetidas ao déficit hídrico. Houve decréscimos da ordem de 16, 31 e 47% para a MST das plantas cultivadas no PVA e submetidas aos níveis de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, em relação às plantas não submetidas ao déficit hídrico. E para o NFP, a redução foi de aproximadamente 8, 20 e 36% para as plantas submetidas aos níveis de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, quando comparado com as plantas não submetidas ao déficit hídrico no PVA.

Pelos resultados estimados, também foi possível observar decréscimos de aproximadamente 7, 22 e 46% para o número de vagem por planta (NVP) cultivada no PVA e submetida ao nível de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, em comparação com as plantas não submetidas ao déficit hídrico.

Para o componente MGP, verifica-se decréscimo de aproximadamente 11, 22 e 34% para as plantas cultivadas no PVA e submetidas aos níveis de 20, 40 e 60% de déficit hídrico no solo, respectivamente, quando comparado com as plantas não submetidas ao déficit hídrico no PVA.

Resultados semelhantes foram obtidos por Fernandes et al. (2015) que ao avaliarem o efeito do déficit hídrico sobre o rendimento do feijão-de-corda, constataram redução de 60% na produtividade de grãos, quando submeteram o feijoeiro ao déficit hídrico.

Para Gonçalves et al. (2015), a redução da produtividade do feijoeiro submetido ao déficit hídrico é devido à baixa porcentagem de vingamento das flores, associada à redução da massa dos grãos e do número de vagens por planta. Lanna et al. (2016), em condições de déficit hídrico, verificaram diferenças entre cultivares de feijoeiro quanto à eficiência de uso da água que variou de aproximadamente 22 a 40 $\mu\text{mol CO}_2 \text{ mol}^{-1} \text{ H}_2\text{O}$.

A redução do nível de água disponível no solo influenciou significativamente o crescimento e a produção do feijoeiro comum cultivado em solos de textura argilosa e média, corroborando com os resultados obtidos por Souza et al. (2016) os quais constataram que o decréscimo de água disponível no solo afetou o crescimento e acúmulo de fitomassa das plantas

de feijoeiro-caupi (*Vigna unguiculata* L. Walp), cultivar BRS Pujante.

Neste trabalho, observou-se que os níveis de déficit hídrico no solo de 40 e 60% da água disponível exerceram efeitos negativos sobre as variáveis de crescimento e de produção para o feijoeiro comum, principalmente sobre a área foliar e o número de vagens por planta, o que evidencia um importante mecanismo de resistência das plantas ao estresse hídrico.

O rendimento do feijoeiro é afetado pelo teor de umidade do solo, porque tanto o déficit quanto o excesso de água no solo, nas diferentes fases fenológicas da cultura, causam reduções na produtividade em diferentes proporções. Para vários autores, entre os quais estão Taiz; Zeiger (2013) e Osakabe et al. (2014), quando as plantas são submetidas a restrições hídricas reduzem a turgescência e a expansão celular, o que ocasiona redução no alongamento do caule e na expansão foliar. Além disso, o crescimento das plantas é diretamente afetado pela translocação de fotoassimilados para as raízes que em condições de déficit hídrico é limitada.

Tendo em vista que as folhas são os núcleos de produção da fotossíntese e que as outras partes da planta dependem da exportação de material assimilado da folha para outros órgãos da planta de feijão comum, o estresse hídrico nesta cultura, compromete a exportação de fotoassimilados, e dessa forma contribuem para os decréscimos de crescimento e produção das plantas (OLSOVSKA et al., 2016).

A ocorrência de déficit hídrico durante o desenvolvimento das plantas causa redução progressiva da turgescência protoplasmática e aumento na concentração de solutos, o que resulta em um distúrbio na função celular responsável pelo déficit funcional e pela degradação das estruturas protoplasmáticas (TAIZ; ZEIGER, 2013).

A redução da perda de água pela redução da superfície de transpiração da planta, para evitar a dessecação, é uma das medidas comportamentais, entre outras, de resistência ao déficit hídrico, que reflete na morfologia das plantas (CATUCHI et al., 2012). Nesse contexto, a redução da superfície de transpiração é realizada rápida e reversivelmente pelo desdobramento e enrolamento das folhas. Este fato também foi observado para o feijoeiro comum, cultivar Ouro Negro, principalmente, nos níveis de déficit hídrico igual a 40 e 60% da água disponível.

Pelos resultados obtidos na fase de enchimento de grãos do feijoeiro, constata-se por meio das equações de regressão analisadas, para as variáveis de crescimento e de produção (Figuras 1 e 2), ampla diferença no comportamento da cultivar Ouro Negro frente às restrições hídricas atribuídas pelos tratamentos, com reduções significativas, à medida que a disponibilidade de água no solo foi reduzida.

Os componentes NFP e NVP foram afetados pelos níveis de déficit hídrico no solo para cada nível de tensão em estudo e com mais severidade do que ocorreu aos outros componentes analisados. Para Endres et al. (2010) e Souza et al. (2016), este comportamento pode ser interpretado como um dos mecanismos de resistência à seca, utilizado pela cultura, no sentido de buscar melhores condições para superar o déficit hídrico, produzindo menor quantidade de folhas e de vagens.

Em síntese, a ocorrência de déficit hídrico no início da fase vegetativa do feijoeiro induziu a redução do número de folíolos, seguida pelo decréscimo de área foliar, o que resultou em menor número de vagens por planta, e de grãos por vagem, resultando

em menor massa de grãos por planta na fase de enchimento de grãos do feijoeiro cultivado em solo de textura média e argilosa.

De acordo com Lanna et al. (2016), a resposta das plantas ao déficit hídrico no solo, consiste no fechamento estomático, na aceleração da senescência e da abscisão das folhas, na redução de brotação, de polinização e na translocação de fotoassimilados para a formação de grãos.

5. CONCLUSÕES

Na fase de enchimento de grãos do feijoeiro comum, os níveis de déficit hídrico no solo de 40 e 60% da água disponível exercem efeitos negativos sobre as variáveis de crescimento e produção da cultura cultivada em solos de textura média e argilosa, independente da tensão utilizada na determinação da capacidade de campo.

O melhor desenvolvimento do feijoeiro comum foi observado para umidade na capacidade de campo determinada como retida tensão de 0,010 MPa em ambos os solos.

6. AGRADECIMENTOS

A CAPES pela concessão de bolsa de doutorado ao primeiro autor.

7. REFERÊNCIAS

- BASTOS, E. A.; RAMOS, H. M. M.; ANDRADE JÚNIOR, A. S.; NASCIMENTO, F. N.; CARDOSO, J. M. Parâmetros fisiológicos e produtividade de grãos verdes do feijão-caupi sob déficit hídrico. **Water Resources and Irrigation Management**, Cruz das Almas, v. 1, n. 1, p. 31-37, 2012.
- CATUCHI, T. A.; GUIDORIZZI, F. V. C.; GUIDORIZZI, K. A.; BARBOSA, A. de M.; SOUZA, G. M. Respostas fisiológicas de cultivares de soja à adubação potássica sob diferentes regimes hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 47, n. 4, p. 519-527, 2012.
- EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de métodos de análises de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro, RJ: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212p.
- ENDRES, L.; SOUZA, J. L.; TEODORO, L.; MARROQUIM, P. M. G.; SANTOS, C. M.; BRITO, J. E. D. Gas exchange alteration caused by water deficit during the bean reproductive stage. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n. 1, p. 11-16, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662010000100002>
- FERNANDES, F. B. P.; LACERDA, C. F.; ANDRADE, E. M.; NEVES, A. L. R. SOUSA, C. H. C. de. Efeito de manejos do solo no déficit hídrico, trocas gasosas e rendimento do feijão-de-corda no semiárido. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 46, n. 3, p. 506-515, 2015. <http://dx.doi.org/10.5935/1806-6690.20150032>
- FISCHER FILHO, J. A.; ZOCOLER, J. L.; POLONI, N. M.; FURLANI JUNIOR, E. Evapotranspiração e disponibilidade hídrica em feijoeiro (*phaseolus vulgaris*) sob estresse hídrico. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 8, n. 5, p. 366-374, 2014. <http://dx.doi.org/10.7127/rbai.v8n500232>
- FREITAS, R. M. O.; DOMBROSKI, J. L. D.; FREITAS, F. C. L.; NOGUEIRA, N. W.; PINTO, J. R. S. Crescimento de feijão-caupi sob efeito de veranico nos sistemas de plantio direto e convencional. **Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 30, n. 2, p. 393-401, 2014.

- GONÇALVES, J. G. R.; CHIORATO, A. F.; SILVA, D. A. da; ESTEVES, J. A. de F.; BOSETTI, F.; CARBONELL, S. A. M. Combining ability in common bean cultivars under drought stress. **Bragantia**, Campinas, v. 74, n. 2, p. 149-155, 2015. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.0345>
- GUIMARÃES, C. M.; STONE, L. F.; DEL PELOSO, M. J.; OLIVEIRA, J. P. de. Genótipos de feijoeiro comum sob deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 7, p. 649-656, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662011000700001>
- KLEIN, V. A.; BASEGGIO, M.; MADALOSSO, T.; MARCOLIN, C. D. Textura do solo e a estimativa do teor de água no ponto de murcha permanente com psicrômetro. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 7, p. 1550-1556, 2010.
- LANNA, A. C.; MITSUZONO, S. T.; TERRA, T. G. R.; VIANELLO, R. P.; CARVALHO, M. A. de F. Physiological characterization of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes, waterstress induced with contrasting response towards drought. **Australian Journal of Crop Science**, Brisbane St. Lucia, v. 10, n. 1, p.1-6, 2016.
- MELO, C. O. de.; SILVA, G. H. da.; ESPERANCICNI, M. S. T. Causalidade de preços do feijão de cor no Paraná. **Revista de Política Agrícola**, Brasília, v. 25, n. 2, 2016.
- NOGUEIRA, N. O.; TOMAZ, M. A.; ANDRADE, F. V.; REIS, E. F. dos; BRINATE, S. V. Influência da aplicação de dois resíduos industriais nas propriedades químicas de dois solos cultivados com café arábica. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 43, n. 1, p. 11-21, 2012.
- NASCIMENTO, S. P. do.; BASTOS, E. A.; ARAÚJO, E. C. E.; FREIRE FILHO, F. R.; SILVA, E. M. da. Tolerância ao déficit hídrico em genótipos de feijão-caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 8, p. 853-860, 2011. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662011000800013>
- NOVAIS, R. F.; NEVES, J. C. L.; BARROS, N. F. Ensaio em ambiente controlado. In: Oliveira, A.J.; Garrido, W.E.; Araújo, J.D.; Lourenço, S. (Coord.). **Métodos de pesquisa em fertilidade do solo**. Brasília: Embrapa-SEA, 1991. p. 189-253.
- OLSOVSKA, K.; KOVAR, M.; BRESTIC, M.; ZIVCAK, M.; SLAMKA, P.; SHAO, H. B. Genotypically identifying wheat mesophyll conductance regulation under progressive drought stress, **Frontiers Plant Science**, Lausanne, v. 7, n. 1111, p. 1-14, 2016. <http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2016.01111>
- OSAKABE, Y.; OSAKABE, K.; SHINOZAKI, K.; TRAN, L. S. P. Response of plants to water stress, **Frontiers Plant Science**, Lausanne, v. 5, n. 86, p.1-8, 2014. <http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2014.00086>
- PEREIRA, V. G. C.; GRIS, D. J.; MARANGONI, T.; FRIGO, J. P.; AZEVEDO, K. D. de.; GRZESIUCK, A. E. Exigências Agroclimáticas para a cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, Palotina, v. 3, p. 32-42, 2014.
- PREZOTTI, L. C.; GOMES, J. A.; DADALTO, G. G.; OLIVEIRA, J. A. **Manual de recomendação de calagem e adubação para o Estado do Espírito Santo: 5ª aproximação**. Vitória, ES: SEEA/ INCAPER/CEDAGRO, 2007. 305p.
- SCHOLANDER, P. F.; HAMMEL, H. T.; HEMMINGSEN, E. A.; BRADSTREET, E. D. Sap pressure in vascular plants. **Science**, Washington, v. 148, n. 3668, p. 339-346, 1965. <http://dx.doi/10.1126/science.148.3668.339>
- SILVA, M. de A.; ARANTES, M. T.; RHEIN, A. F. de L.; PINCELLI, R. P.; SANTOS, C. M. dos; MOURA, P. C. S. Características morfofisiológicas e produtividade de cana-de-açúcar variam de acordo com a cultivar e o regime hídrico. **Irriga**, Botucatu, Edição Especial, p. 160-177, 2015. <http://dx.doi.org/10.15809/irriga.2015v1n1p160>
- SILVA, W. C.; PEREIRA, J. S.; TELES, V. O.; CAMARA, F. T. Efeito da disponibilidade de água na germinação e no desenvolvimento inicial de plântulas de feijão-caupi. **Enciclopédia Biosfera**, Goiânia, v. 9, n. 16, p.2984-2993, 2013.
- SOUZA, T. M. A. de; SOUZA, T. A.; SOUTO, L. S.; SÁ, F. V. da S.; PAIVA, E. P. de; MESQUITA, E. F. de. Água disponível e cobertura do solo sob o crescimento inicial do feijão-caupi cv. BRS Pujante. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 10, n. 3, p. 598-604, 2016. <http://dx.doi/10.7127/rbai.v10n300345>
- TAIZ L.; ZEIGER E. **Fisiologia vegetal**. 5 ed. Porto Alegre: Artmed, 2013. 954 p.
- VALE, N. M. do; BARILI, L. D.; ROZZETO, D. S.; STINGHIN, J. C.; COIMBRA, J. L. M.; GUIDOLIN, A. F.; KÖOP, M. M. Avaliação para tolerância ao estresse hídrico em feijão. **Biotemas**, Florianópolis, v. 25, n. 3, p. 135-144, 2012. <http://dx.doi/10.5007/2175-7925.2012v25n3p135>
- VAN GENUCHTEN, M. T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Washington, v. 44, n. 1, p. 892-898, 1980.