

TENSÃO DE ÁGUA NO SOLO E DOSES DE NITROGÊNIO PARA A CULTURA DO FEIJOEIRO COMUM

Márcio José de Santana¹; Amanda Letícia da Silveira¹; Carlos Roberto de Camargos²; José Carlos Braga²

¹*Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, Triângulo Mineiro, Campus Uberaba, Uberaba, MG, marciosantana@cefetuberaba.edu.br*

²*Centro Universitário de Patos de Minas, Faculdade de Ciências Agrárias, Patos de Minas, MG*

1 RESUMO

Este experimento foi conduzido no campus II do Centro Universitário de Patos de Minas, MG, com o objetivo de avaliar o rendimento do feijoeiro comum, submetido a diferentes tensões de água no solo e doses de nitrogênio. Os tratamentos constaram de quatro tensões de água no solo (10 kPa, 30 kPa, 50 kPa e 70 kPa) e quatro doses de nitrogênio (50 kg ha⁻¹, 100 kg ha⁻¹, 150 kg ha⁻¹ e 200 kg ha⁻¹). O delineamento foi em blocos casualizados, em esquema fatorial de 4x4 com três repetições. Foram avaliados: produtividade, número de vagens por planta, número de grãos não colhidos, número de vagens verdes e a eficiência do uso da água. Dentre os resultados pode-se constatar que a maior produtividade física foi verificada quando a irrigação foi efetuada com tensão de 22 kPa e dose de N de 130,5 kg ha⁻¹; a maior eficiência do uso da água foi verificada quando a irrigação foi reposta com a tensão de 37 kPa.

UNITERMOS: irrigação, tensiometria, eficiência da água.

SANTANA, M.J. de; SILVEIRA, A.L. da; CAMARGOS, C.R. de; BRAGA, J.C. SOIL WATER TENSION AND NITROGEN LEVELS FOR THE COMMON BEAN PLANT

2 ABSTRACT

This experiment was conducted in the Campus II of the Centro Universitário de Patos de Minas, MG, with the objective of evaluating the yield of common bean plant, submitted to different soil water tension and nitrogen levels. The treatments consisted of four water tension in soil (10 kPa, 30 kPa, 50 kPa e 70 kPa) and four nitrogen (50 kg ha⁻¹, 100 kg ha⁻¹, 150 kg ha⁻¹ e 200 kg ha⁻¹). The experimental design was randomized blocks in factorial scheme of 4x4 with tree repetitions. Crop yield, number of pod per plant, number of unharvested grains, number of green pods and water efficiency cropping were evaluated. Among the results the physical productivity was when the irrigation was effectuated by tension of 22 kPa and N of 130.5 kg ha⁻¹; the greatest value for water use efficiency was irrigation tension of 37 kPa.

KEYWORDS: irrigation, tensiometry, efficiency of water.

3 INTRODUÇÃO

O feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) pertencente à família Fabaceae (Leguminosae) destaca-se como uma das principais culturas do país, porém, a produtividade média brasileira é baixa, como consequência do baixo emprego de insumos e de tecnologia. A importância econômica e social desta cultura é inquestionável, pois a mesma destaca-se como importante fonte de proteína na dieta alimentar da população brasileira. De acordo com (Araújo et al., 1996) o feijão representa ainda uma importante fonte de diversos nutrientes e fibra, embora sua composição possa variar de acordo com o local de plantio, fatores ambientais e com a cultivar.

Entre os legumes de grãos comestíveis, é a espécie que apresenta a mais ampla distribuição geográfica, sendo atualmente cultivada em todos os continentes, em regiões com amplitude térmica entre 10°C e 35°C. A maior parte da produção de feijão, é procedente de microrregiões com temperaturas médias variando de 17°C a 25°C, faixa térmica considerada ótima para a espécie. Na faixa térmica de 2°C a 10°C, as plantas reduzem a produção de biomassa e retardam seu desenvolvimento, devido a alterações metabólicas provocadas pelo resfriamento (Silveira & Stone, 2001).

As baixas produção e produtividade têm sido atribuídas ao uso de cultivares pouco produtivas, aos efeitos desfavoráveis do solo (principalmente baixa fertilidade, pela expansão da cultura para áreas marginais), às condições adversas de clima e à incidência de pragas e doenças (Garrido, 1998). Dentre os fatores climáticos, a precipitação pluviométrica é uma das principais causas do insucesso na obtenção da alta produtividade de feijão. Em regiões nas quais a distribuição de chuvas é irregular, podem ocorrer perdas significativas, principalmente quando a falta ou o excesso de água ocorrem na fase mais sensível. Nesses casos, o uso da irrigação pode não só reduzir os riscos de insucessos, como também aumentar a produtividade do feijão e, até, proporcionar maior número de safras durante o ano (Rezende, 2000).

Dentre as práticas de manejo, a irrigação e a adubação constituem alternativas viáveis para a substancial melhoria da produtividade. A finalidade básica da irrigação é fornecer água à cultura, de maneira a atender toda a exigência hídrica durante todo o ciclo cultural. Este é o propósito quando se desejam produção máxima e produto de boa qualidade. Todavia, irrigações e sistemas mal dimensionados, com aplicações em excesso ou em déficit, poderão comprometer essa produtividade (Santana, 2007).

Silveira & Stone (2001) mencionam que o feijoeiro é considerado pouco tolerante ao déficit hídrico severo e a falta de água constitui um dos principais fatores limitantes ao rendimento da cultura, principalmente quando ocorre na fase reprodutiva da planta.

Alguns autores verificaram a tensão de água no solo para atender as demandas da cultura, como Silveira & Stone (1994) referindo a faixa de 10 kPa a 40 kPa, e Guerra et al. (2000) recomendando 41 kPa. Frizzone (1986) estudando o efeito de lâminas de água no rendimento do feijoeiro verificou que o máximo rendimento relativo de grãos foi obtido no regime de -19 kPa de potencial matricial.

Quanto à adubação, uma preocupação está na aplicação do nitrogênio em áreas irrigadas. Em Minas Gerais a recomendação é baseada nos diferentes níveis de tecnologia variando de 40 kg ha⁻¹ a 100 kg ha⁻¹ (Comissão Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais, 1999).

As pesquisas relativas à adubação nitrogenada em feijoeiro, citadas na literatura, referem-se comumente ao plantio sem irrigação; entretanto, com a grande expansão das áreas irrigadas com a cultura, vem-se estudando a adubação com nitrogênio nessa condição (Feitosa et al. 1980; Azevedo, 1984; Frizzone et al. 1987). Em diversos trabalhos que mostram o efeito

positivo da adubação nitrogenada, a cultura chega a responder a doses de N acima de 100 kg ha⁻¹, e a sua aplicação associada a outras tecnologias e à irrigação normalmente torna-se viável. Considerando-se que para altas produtividades são necessárias quantidades de N superiores a 100 kg ha⁻¹ (Vieira, 2000), a adubação nitrogenada é, portanto, indispensável. Sabendo-se que o nitrogênio tem efeito altamente positivo sobre a produção de feijão, é importante conhecer o modo mais adequado de aplicá-lo, uma vez que doses elevadas no sulco de plantio devem provocar perdas do elemento, em razão de sua dinâmica no solo, além dos danos às sementes, reduzindo-lhes a percentagem de emergência (Araújo et al., 1996).

Faltam estudos que relatem a aplicação do N em áreas irrigadas, bem como a tensão de água no solo que proporcione uma boa produtividade. O objetivo do atual experimento foi o de avaliar a produtividade do feijoeiro comum, submetido a diferentes níveis de adubação nitrogenada e tensão de água no solo.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na área experimental situada no campus II do Centro Universitário de Patos de Minas (Fazenda Canavial), no município de Patos de Minas, MG, localizado a 18°33'54" de latitude Sul e 46°28'44" de longitude Oeste, a uma altitude média de 835 m, durante o período de julho a outubro de 2005. A precipitação média anual é de 1.474,4 mm e temperatura média anual de 21,1 °C (CPA/Unicamp, 2009).

Foi utilizado o feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L), cultivar Pérola resistente ao mosaico comum do feijoeiro, com ciclo total de 95 dias. A semeadura foi realizada adicionando 17 sementes por metro linear, deixando 12 plantas (foi realizado o desbaste aos 10 dias após semeadura (DAS)). O espaçamento utilizado foi de 0,45 m entre fileiras de plantio.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial de 4x4, e três repetições. Foram estudadas quatro tensões de água no solo (10 kPa, 30 kPa, 50 kPa e 70 kPa) e quatro níveis de adubação nitrogenada (50 kg ha⁻¹, 100 kg ha⁻¹, 150 kg ha⁻¹ e 200 kg ha⁻¹). Cada parcela foi composta de uma área de 2,5 x 3,5 m, com cinco linhas de plantio e aproximadamente 42 plantas, totalizando 210 plantas. As duas linhas da extremidade de cada parcela, bem como as cinco primeiras plantas de cada linha foram utilizadas como bordadura. As demais foram utilizadas como plantas úteis (área de 2,8 m²). O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho distrófico, cuja textura foi determinada pelo Laboratório de Análise do Solo, do Departamento de Ciência do Solo da UFLA. Os resultados são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Resultados da análise física do solo da área experimental.

Camada (cm)	Areia	Silte	Argi	Classe textural
	a	la		
	(%)			
0-20	27	45	28	Média
20-40	28	42	30	Média

As adubações seguiram recomendações de Comissão Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (1999). O nitrogênio foi adicionado conforme o nível tecnológico NT₄, com 40% da dose no plantio e 60% dividida aos 20 e 30 dias após emergência. As doses totais de nitrogênio foram realizadas conforme tratamentos.

O sistema de irrigação foi do tipo localizado utilizando-se microaspersores com hastes a 0,36 m do solo, sendo estes da marca Naan®, com vazão de 28 L h⁻¹ e pressão de serviço de 35 mca. Foram instalados quatro microaspersores em cada parcela experimental, em uma sobreposição de 50%.

Foram instalados dois tensiômetros a 0,10 e 0,30 m de profundidade nas três parcelas dos tratamentos 10 kPa, 30 kPa, 50 kPa e 70 kPa e 100 kg ha⁻¹ de nitrogênio (dose recomendada). O tensiômetro localizado a 0,10 m foi tido como o de decisão, e o de 0,30 m o de controle da irrigação. O cálculo do tempo de irrigação foi com base nos sensores de 0,10 e 0,30 metro. As leituras fornecidas em bar pelo tensiômetro de punção foram transformadas em kPa por meio da equação 1.

$$\Psi = L - 0,098 \times h \quad (1)$$

em que:

Ψ = potencial matricial (kPa);

L = leitura do tensiômetro transformada em kPa;

h = altura desde o ponto da leitura no tensiômetro até o meio da cápsula porosa (cm).

Com as tensões observadas, foram calculadas as umidades correspondentes, a partir das curvas características (Tabela 2). De posse dessas umidades e com a correspondente à capacidade de campo, e considerando a profundidade do sistema radicular, estratificada em duas subcamadas (0-20 cm e 20-40 cm), foram calculadas as lâminas de reposição (Equações 2, 3 e 4).

$$LL = (\theta_{cc} - \theta_{atual}) * z \quad (2)$$

$$LB = \frac{LL}{(1-k) \times CU} \quad (3)$$

$$LB_{m\u00e9dia} = LB_{m\u00e9dia\ 10\ cm} + LB_{m\u00e9dia\ 30\ cm} \quad (4)$$

$$k = 1 - Ea \quad (5)$$

$$k = LR = \frac{CEa}{(5 \times CEe - CEa)} \quad (6)$$

$$T = \frac{LB_{m\u00e9dia} \times A}{e \times qa} \quad (7)$$

em que:

LL = lâmina líquida de irrigação em cada subcamada (mm);

θ_{cc} = umidade na capacidade de campo (cm³ cm⁻³);

θ_{atual} = umidade no momento de irrigar (cm³ cm⁻³);

z = profundidade do sistema radicular (mm);

LB = lâmina bruta de irrigação (mm);

k = constante que leva em consideração a salinização do solo, bem como a eficiência de aplicação do sistema;

Ea = eficiência de aplicação de água do sistema de irrigação (0,90);

LR = lâmina necessária para lavagem do solo (mm);
 CEa = condutividade elétrica da água de irrigação (dS m⁻¹);
 CEe = condutividade elétrica do extrato de saturação do solo (dS m⁻¹);
 CU = coeficiente de uniformidade (95% para o atual experimento);
 LB_{média10cm} = lâmina média das leituras dos sensores instalados a 0,10 m (mm);
 LB_{média30cm} = lâmina média das leituras dos sensores instalados a 0,30 m (mm).
 T = tempo de funcionamento do sistema de irrigação em cada tratamento (h);
 A = área ocupada por planta (m²);
 E = número de emissores por planta;
 qa = vazão média dos emissores (L h⁻¹).

Foi instalado também um termohigrômetro digital na parte central do experimento, com o objetivo de leituras diárias das temperaturas e umidade relativa do ar ocorridas.

As equações de ajuste das curvas características de retenção de água no solo para as camadas de 0-20 cm e 20-40 cm de profundidade, segundo modelo de Van Genuchten (1980), foram obtidas de acordo com Dourado Neto et al. (1995) e encontram-se na Tabela 2. Com o auxílio do software SWRC versão 3.0 (Soil Water Retention Curve), foram obtidos os parâmetros de ajuste das equações. A obtenção da curva característica de água no solo foi realizada em amostras deformadas no Laboratório de Relação Solo-Planta, do Departamento de Engenharia da UFLA, em Lavras, MG. Para as tensões de 2 kPa, 4 kPa, 6 kPa, 8 kPa e 10 kPa foi utilizado o método do funil de placa porosa (Funil de Haines), e para as tensões de 33 kPa, 100 kPa, 500 kPa e 1500 kPa, a câmara de pressão de Richards. Quando as tensões de água no solo de cada tratamento foram registradas a irrigação foi efetuada de modo a elevar o solo à capacidade de campo. A capacidade de campo média do solo, conforme metodologia de Bernardo (1996), foi de 34,59% (10 kPa) e 29,31% (9 kPa), respectivamente, para as camadas de 0-20 cm e 20-40 cm.

A densidade média do solo para as camadas de 0-20 cm e 20-40 cm, obtida pelo método do cilindro de Uhlund, forneceu valores de 1,1 g cm⁻¹ e 1,03 g cm⁻¹, respectivamente.

Tabela 2. Equações que determinam as características da água no solo.

Camada (cm)	Equação (Van Genuchten)	R ²
0 - 20	$\theta = \frac{0,305}{\left[1 + (0,320 * \psi_m)^{1,56}\right]^{0,43}} + 0,215$	0,925
20 - 40	$\theta = \frac{0,375}{\left[1 + (0,985 * \psi_m)^{6,917}\right]^{0,127}} + 0,238$	0,958

θ =umidade volumétrica (cm³ cm⁻³); ψ_m =potencial matricial (kPa)

Os parâmetros avaliados foram: número de vagens por planta (a partir da retirada de 10 plantas da parcela útil e contadas as vagens de cada planta); número de vagens verdes (após colhidas as plantas da parcela útil foram contados o número de vagens verdes); produtividade (avaliada após a colheita os pesos de cada tratamento que foram corrigidos para 13% de teor de água); número de grãos não colhidos (que se encontravam sobre o solo da parcela útil foram recolhidos e contados); eficiência de uso da água (EUA) que foi obtida pelo

quociente entre o rendimento da cultura e a lâmina total aplicada em cada tratamento, conforme equação 8 (Monteiro et al., 2008).

$$EUA = \frac{Y}{W} \quad (8)$$

em que:

EUA – eficiência do uso da água ($\text{kg ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$);

Y – rendimento da cultura (kg ha^{-1});

W – lâmina total de água aplicada durante o ciclo em cada tratamento (mm)

Todas as características foram submetidas à análise de variância, sendo os efeitos dos tratamentos estudados por meio de análise de regressão. A ferramenta utilizada para as análises foi o software Sisvar for Windows, versão 4.3 (Ferreira, 1999).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 são apresentados os dados relativos às temperaturas registradas diariamente durante a condução do experimento. Os valores médios de temperatura máxima e mínima observados foram de $30,9^{\circ}\text{C}$ e $15,7^{\circ}\text{C}$, respectivamente. Para Vieira (2000), temperaturas maiores que 35°C favorecem o aparecimento de doenças e prejudicando a polinização. Nota-se, que poucas vezes, a temperatura máxima foi superior a esse valor durante a condução do experimento. Quanto às temperaturas mínimas, constatou-se que, nos primeiros 20 dias os valores ficaram próximos a 13°C , enquanto a temperatura média situou-se em torno de $20,5^{\circ}\text{C}$.

A umidade relativa do ar máxima média observada durante a condução do experimento foi de 88,56%. A umidade relativa do ar média foi de 57,60%. Os maiores problemas fitossanitários com a cultura ocorrem quando a umidade relativa é superior a 70% (Vieira, 2000), mas a umidade média diária poucas vezes superou esse valor (Figura 2).

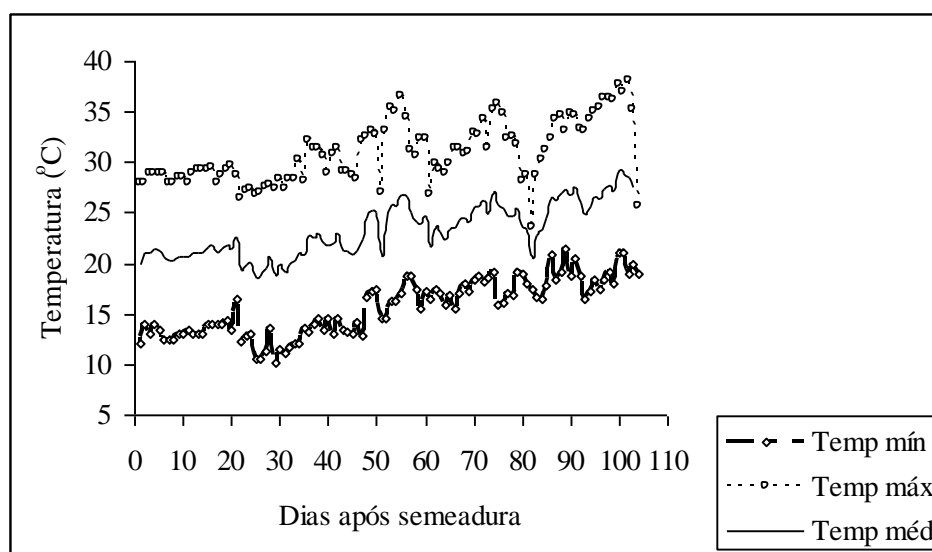


Figura 1. Representação gráfica dos valores diários de temperatura, durante a condução do experimento.

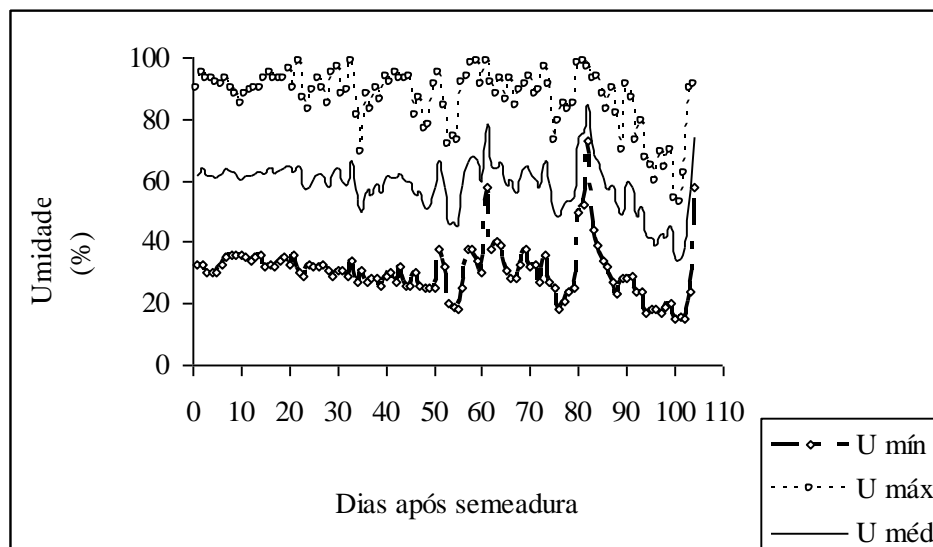


Figura 2. Representação gráfica dos valores diários de umidade relativa do ar, durante a condução do experimento.

Os valores de umidade do solo para as camadas de 0-20 cm e 20-40 cm nas diferentes tensões de água no solo foram, respectivamente para 10 kPa, 30 kPa, 50 kPa e 70 kPa de $0,345 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ e $0,288 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$; $0,281 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ e $0,257 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$; $0,262 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ e $0,250 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$; $0,252 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ e $0,247 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$.

A análise de variância revelou diferenças estatísticas na produtividade entre as tensões e doses de nitrogênio ($p < 0,01$), não havendo interação entre os fatores; no número de vagens verdes entre as tensões de água no solo ($p < 0,01$); no número de grãos não colhidos ($p < 0,01$) e vagens por planta houve efeito da interação tensão x doses de nitrogênio ($p < 0,05$).

Nota-se um aumento da produtividade (Figura 3) até aproximadamente 30 kPa com posterior decréscimo. Assim altos valores de tensões com déficit hídrico provocaram queda na produtividade. Para Guimarães (1988), o déficit hídrico ocasiona murchamento das plantas, prejudicando sua fisiologia, culminando em queda de produtividade; o feijão é uma planta muito sensível ao estresse hídrico, devido à sua baixa capacidade de recuperação após o déficit hídrico e ao seu sistema radicular pouco desenvolvido. Por outro lado, lâminas excessivas provocam um ambiente com falta de aeração para as plantas, bem como favorecem a disseminação de doenças e perdas de nutrientes por lixiviação (Santana 2007). O feijoeiro é uma planta relativamente sensível ao excesso de água no solo, pois, nesta condição, o desenvolvimento vegetativo e o rendimento são prejudicados, devido ao aumento da resistência do movimento da água através das raízes, menor absorção de nutrientes, menor aeração e aumento da concentração de substâncias tóxicas nas plantas (Silveira & Stone, 2001). A redução do rendimento da cultura com reposições excessivas de água foi verificada por Azevedo (1984), Carvalho (1992), Frizzone (1986), Garrido (1998) e Santana (2007).

Para Silveira & Stone (2001), o rendimento do feijoeiro é bastante afetado pela condição hídrica do solo e deficiência ou excesso de água nas diferentes fases do ciclo da cultura causam redução na produtividade.

Após igualar a primeira derivada da equação da Figura 3 a zero obteve-se a máxima eficiência física da produtividade para uma determinada tensão de água no solo. A tensão que proporcionou máxima eficiência física foi de 22kPa. Esse valor encontra-se no intervalo recomendado por Silveira & Stone (1994) sendo de 10 kPa a 40 kPa. Queiroz et al (2004) indicaram valores de tensões próximas a 30 kPa para o retorno da irrigação, quando

trabalharam com a cultivar Talismã em vasos e ambiente protegido. Guerra et al. (2000) encontraram valor médio de tensão de 41 kPa para o maior rendimento da cultura; a cultivar utilizada nesse caso foi a Pérola, conduzida em um Latossolo vermelho-escuro na cidade de Planaltina, DF. Ressalta-se que os valores citados são diferentes em função das cultivares, forma e região de plantio. Guimarães et al (1996) definem como irrigação adequada ao feijoeiro uma tensão de 35 kPa medida a 15 cm de profundidade.

Stone & Silveira (2001) trabalhando com doses de N e lâminas de água no solo verificaram que houve interação entre os fatores. A máxima resposta encontrada por esses autores foi com a aplicação de 50 kg ha⁻¹ de N e à lâmina total de água máxima.

Macedo Júnior et al (1994) encontraram maiores produtividades com a maior disponibilidade de água para as plantas, ou seja, com menor valor de tensão de água no solo.

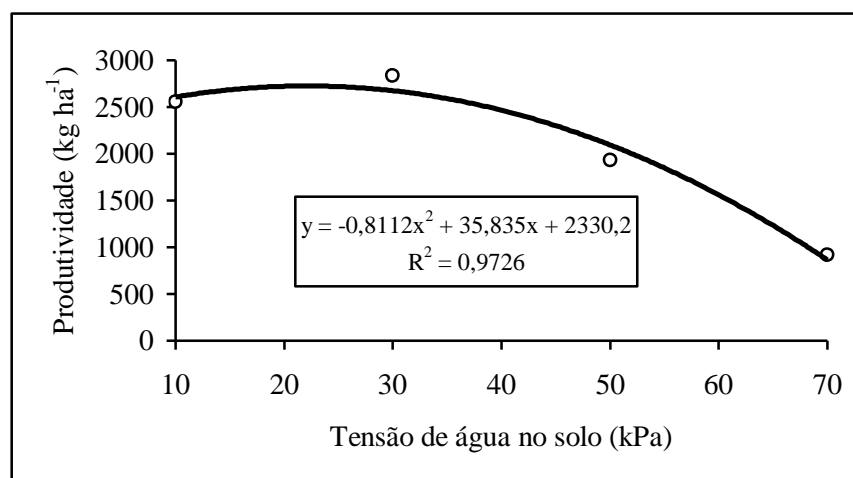


Figura 3. Produtividade do feijoeiro em função da tensão de água no solo.

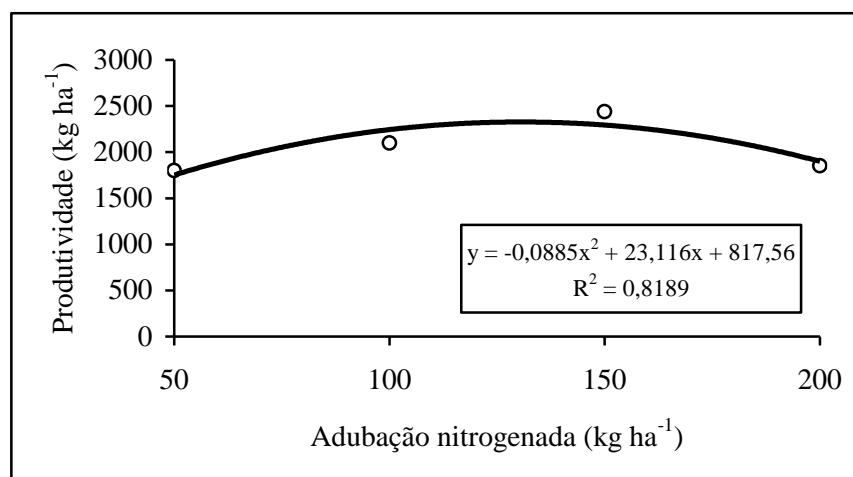


Figura 4. Produtividade do feijoeiro em função das doses de nitrogênio.

Houve aumento da produtividade do feijoeiro quando foram aplicados 150 kg ha⁻¹ com posterior decréscimo (Figura 4). A Comissão de Fertilidade do Solo do Estado de Minas Gerais (1999) recomenda 100 kg ha⁻¹ para um perfil de agricultor altamente tecnificado. A máxima produtividade física foi verificada quando aplicou-se 130,5 kg ha⁻¹ de nitrogênio. Carvalho et al. (1992) recomendam a dose de 90 kg ha⁻¹ de N para obtenção da máxima

produtividade da cultura do feijoeiro. Silveira & Damasceno (1993) recomendam 72 kg ha⁻¹. Guerra et al. (2000) encontraram o máximo rendimento na cultura do feijoeiro quando aplicaram 160 kg ha⁻¹ de N a uma tensão de água no solo de 41 kPa. Calheiros et al. (1996) constataram que a aplicação de 90 kg ha⁻¹ de N proporcionou a maior renda líquida da cultura do feijão.

Para o número de vagens por planta nota-se mesma tendência encontrada na produtividade, ou seja, aumento da variável até 30 kPa com posterior queda, evidenciando que lâminas deficitárias promovem um menor número de vagens por planta (Figura 5). Macedo Júnior et al. (1994) obtiveram o máximo número de vagens por planta com irrigações sendo realizadas com a tensão de água no solo de 10 kPa. Para Queiroz et al. (2004) o número de vagens por planta é influenciado pelo déficit hídrico, verificando uma diminuição do número de vagens em função do aumento da tensão de água no solo.

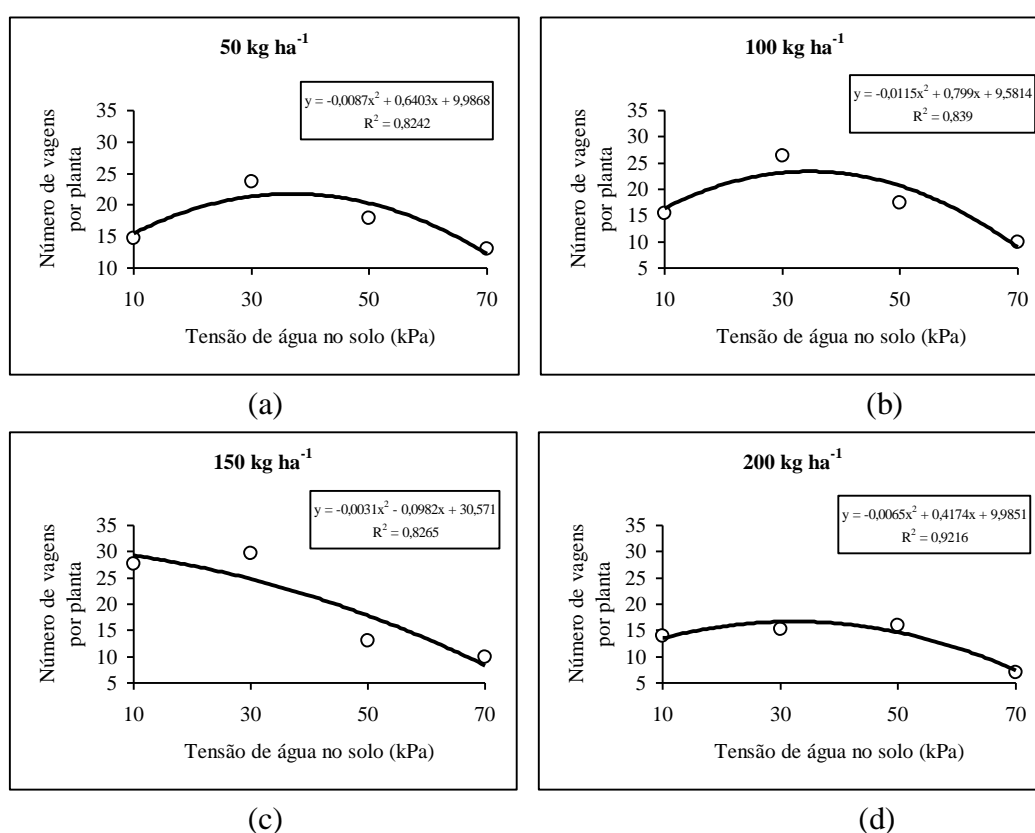


Figura 5. Número de vagens por planta em função da tensão de água no solo.

Após desdobramento (Figura 6) verificou-se redução do número de vagens por planta quando aplicaram-se 50 e 200 kg ha⁻¹ de N, constatando-se que doses deficitárias bem como excessivas do nutriente se tornam prejudiciais à cultura. Os maiores número de vagens foram encontrados quando aplicaram-se 126 kg ha⁻¹, 113 kg ha⁻¹, 127 kg ha⁻¹ e 110 kg ha⁻¹ de nitrogênio, para as tensões de 10 kPa, 30 kPa, 50 kPa e 70 kPa, respectivamente. Stone & Moreira (2001) concluíram que houve aumento do número de vagens por planta com o aumento da aplicação de nitrogênio no feijoeiro comum; as doses aplicadas por esses autores foram de 0 kg ha⁻¹ a 120 kg ha⁻¹. Guerra et al (2000) encontraram maiores médias do número de vagens por planta com elevadas doses de nitrogênio e quando foram reduzidas as tensões de água no solo. Outros autores que verificaram resultados semelhantes foram Silveira & Damasceno (1993).

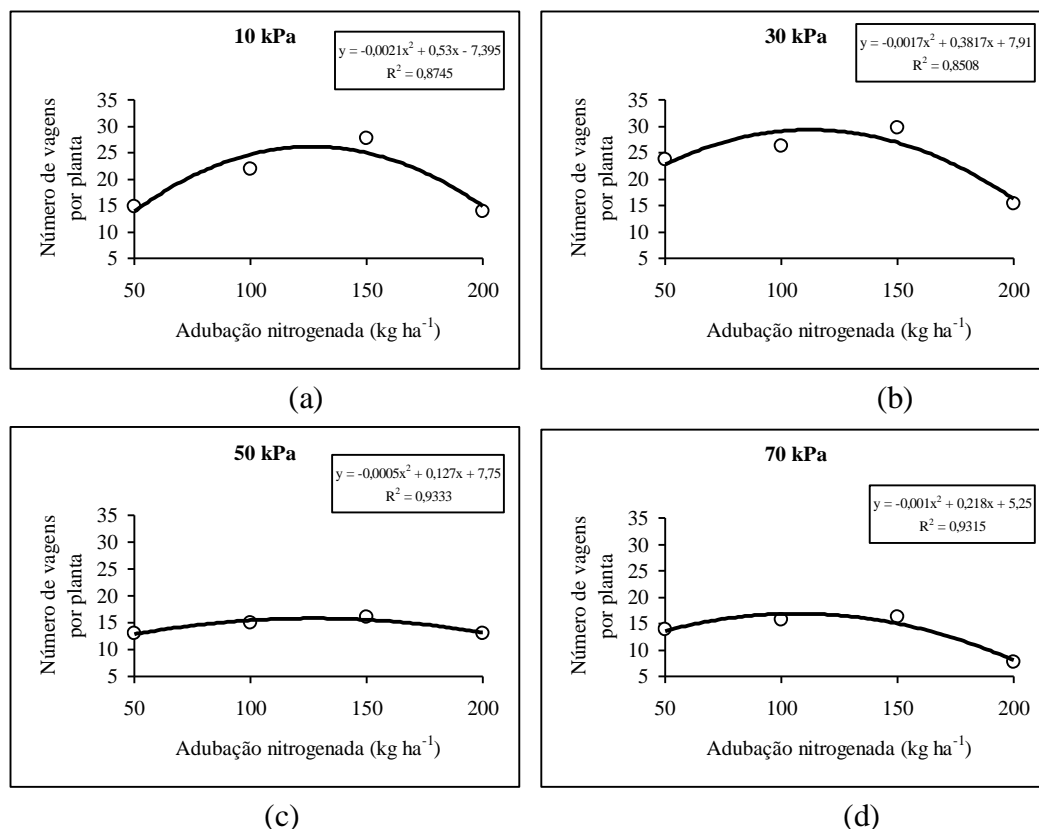


Figura 6. Número de vagens por planta em função das doses de N.

Na Figura 7 são mostrados os valores médios do número de vagens verdes em função das diferentes tensões de água no solo. Menores lâminas (maiores tensões) proporcionaram menores médias da variável.

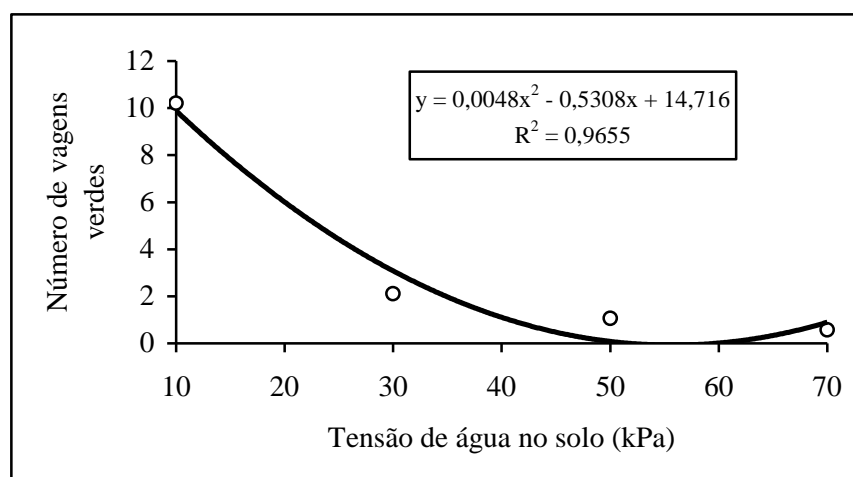


Figura 7. Número de vagens verdes em função da tensão de água no solo.

Para todas as doses de N houve crescimento linear do número de grãos não colhidos em função da tensão de água no solo (Figura 8). Maiores tensões proporcionaram maiores valores da variável. Plantas em ambientes mais secos, como proporcionado pelas tensões de 50 kPa e 70 kPa, apresentaram um maior número de vagens deiscidas e atingiram a

maturação mais rapidamente; em consequência houve menores número de vagens verdes (Figura 7). Lopes (1986), observou, em Viçosa, MG, redução no ciclo do feijoeiro sob condições de déficit hídrico, enquanto Bergamaschi (1988) afirmou que o estresse por deficiência de água antecipa a maturação do feijoeiro. Resultado semelhante foi verificado por Santana (2007).

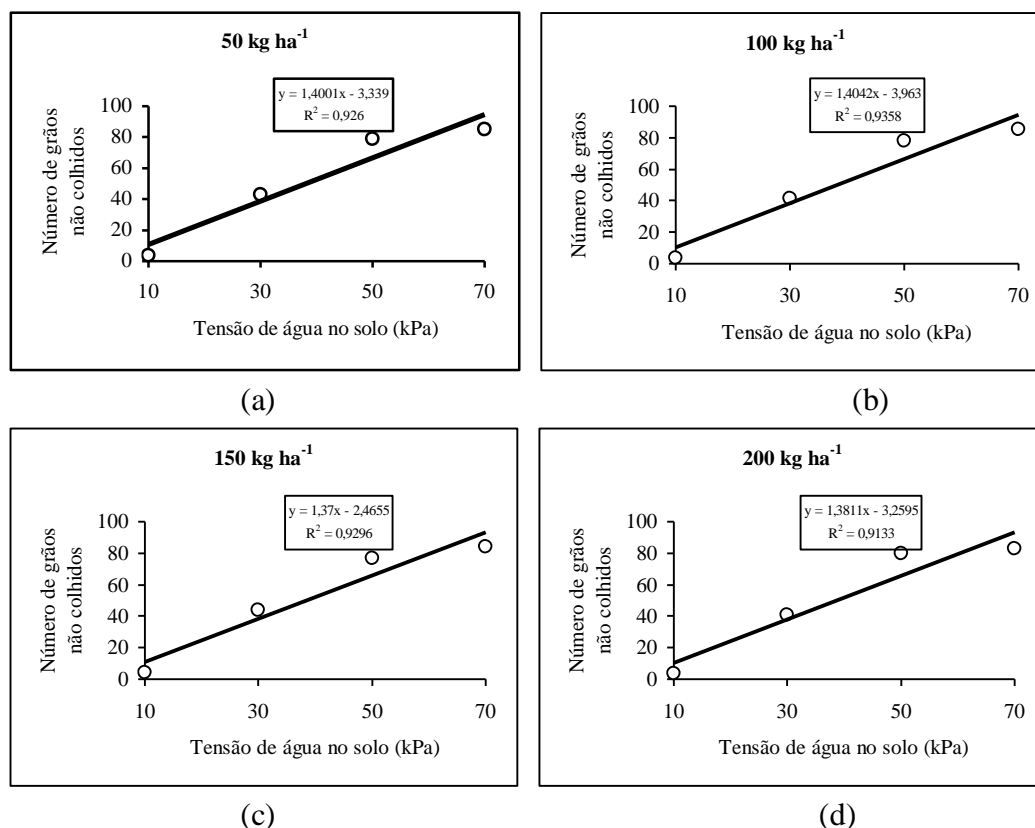


Figura 8. Número de grãos não colhidos em função da tensão de água no solo.

Quando a irrigação foi realizada com 10 kPa (Figura 9a) houve aumento linear do número de grãos não colhidos em função do acréscimo de N aplicado. Tendência semelhante, porém com queda em 200 kg ha⁻¹ de N foi verificado quando irrigou-se com 30 kPa (Figura 9b). Quando a cultura foi irrigada com 50 kPa e 70 kPa houve queda em função das doses de N (Figuras 9c e 9d).

Após análise de variância constatou-se que houve diferença estatística apenas entre as tensões de água no solo ($p < 0,05$) para a eficiência do uso da água. Pela Figura 10 verifica-se que a eficiência do uso da água (EUA) aumentou até atingir o valor máximo ($7,26 \text{ kg}^{-1} \text{ mm}^{-1}$) com a tensão de água no solo de 37 kPa. Nota-se que quando a irrigação foi efetuada com tensões que proporcionaram excesso e déficit os valores da EUA tenderam a reduzir. Resultados semelhantes foram verificados por diversos autores como Santana (2007), Frizzone (1986) e Garrido (1998). Esses mesmos autores constataram uma queda linear da EUA com o aumento da lâmina de água. Chagas et al (1994) verificaram que a maior EUA ocorreu com a aplicação de baixas lâminas de irrigação.

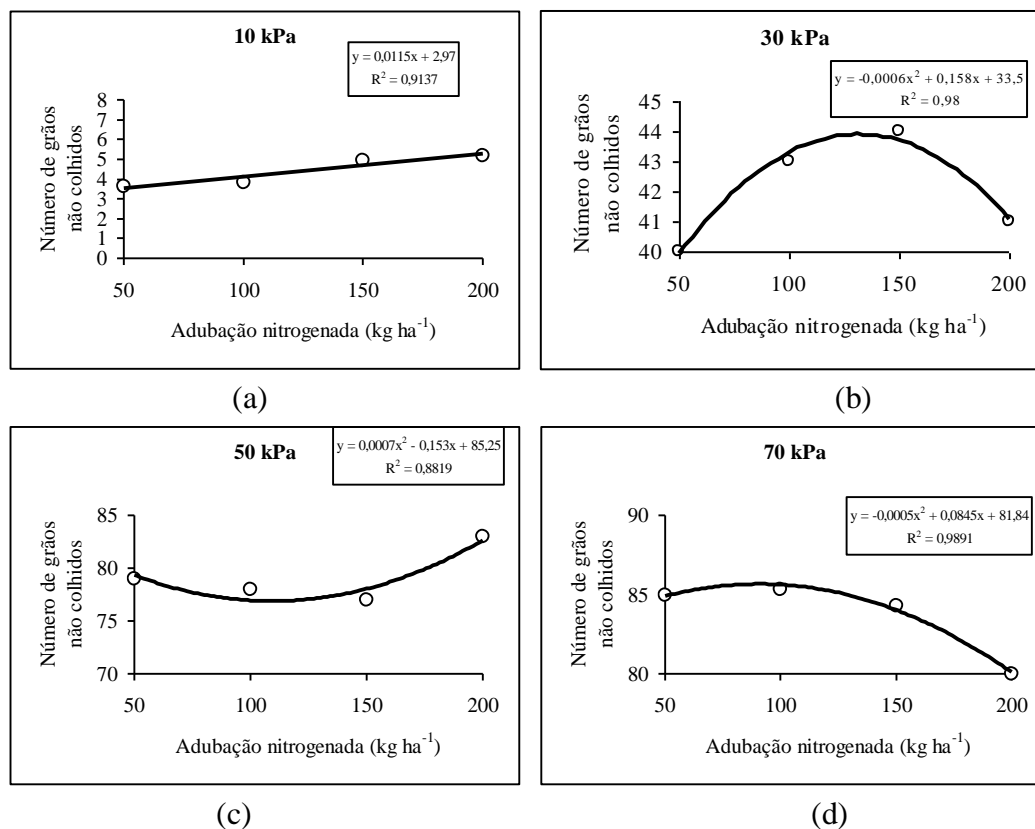


Figura 9. Número de grãos não colhidos em função das doses de N.

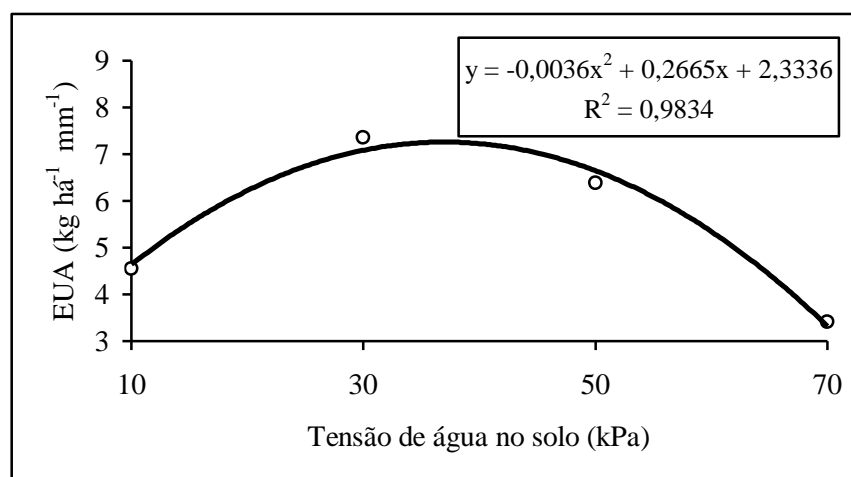


Figura 10. Eficiência do uso da água em função da tensão de água no solo.

6 CONCLUSÕES

A maior produtividade estimada do feijoeiro foi de 2.725,90 kg ha⁻¹, para uma tensão ótima de 22 kPa. A maior produtividade observada foi de 2.838,75 kg ha⁻¹ quando a irrigação foi realizada com tensão de 30 kPa. A adubação nitrogenada que proporcionou a máxima produtividade estimada foi de 130,5 kg ha⁻¹. Doses entre 100 kg ha⁻¹ e 150 kg ha⁻¹ de N

promoveram o maior número de vagens por planta. A maior eficiência do uso da água foi verificada quando a tensão de água no solo foi de 37 kPa. Os valores de EUA foram para as tensões de 10 kPa, 30 kPa, 50 kPa e 70 kPa, respectivamente de 4,55 kg⁻¹ mm⁻¹, 7,35 kg⁻¹ mm⁻¹, 6,38 kg⁻¹ mm⁻¹ e 3,41 kg⁻¹ mm⁻¹.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, R. S. et al.. **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. Piracicaba: POTAFÓS, 1996. 786p.

AZEVEDO, H. J. **Efeito de diferentes lâminas de água e doses de adubação nitrogenada na cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.)**. 1984. 85 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 1984.

BERGAMASCHI, H. Deficiência hídrica do feijoeiro: análise de crescimento e fenologia. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 23, n. 7, p. 733-743, jul. 1988.

BERNARDO, S. **Manual de Irrigação**. Viçosa: UFV. Imprensa Universitária, 1996. 596 p.

CALHEIROS, C. B. M. et al. Estratégias ótimas de irrigação do feijoeiro: água como fator limitante da produção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 31, n. 7, p. 509-515, jul. 1996.

CARVALHO, A. M. **Efeitos de diferentes lâminas de água e formas de parcelamento de nitrogênio em cobertura, via fertirrigação, no rendimento de grãos da cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Carioca**. 1992. 94 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 1992.

CARVALHO, A. M. et al. Influência da fertirrigação no rendimento de grãos e componentes de produção do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.) cv Carioca. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, MG, v. 16, n. 4, p. 503-511. 1992.

CHAGAS, J. M. et al. Efeitos de quantidades de água sobre a cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em quatro sistemas de manejo de solo. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 41, n. 238, p. 641-650. 1994.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: (5^a aproximação)**. Viçosa, Imprensa Universitária UFV, 1999. 359 p.

CPA/Unicamp. **Zoneamento climático da cultura do café. Normais climatológicas**. Campinas, 2006. Disponível em: <<https://www.cpa.unicamp.br>>. Acesso em: 20 abr. 2009.

DOURADO NETO, D. et al. **Programa SWRC: soil-water retention curve (software)**. Version 1.00. Piracicaba: ESALQ; Davis: University of Califórnia, 1995. 2 disquetes.

FEITOSA, C. T. P. et al. Adubação NP para o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) na presença e na ausência de calcário. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, n. 4, p. 156-159, 1980.

FERREIRA, D. F. **SISVAR**. versão 4.3 (Build 4.1). Lavras: UFLA/DEX, 1999. 4 disquetes.

FRIZZONE, J. A. **Funções de resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) ao uso de nitrogênio e lâminas de irrigação**. 1986. 133 p. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 1986.

FRIZZONE, J. A.; OLLITA, A. F. L.; PEREIRA, G. T. Funções de resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) ao uso do nitrogênio e lâmina de irrigação: região de produção racional. **ITEM, Irrigação e Tecnologia Moderna**, Brasília, DF, n. 28, p. 26-32, mar. 1987.

GARRIDO, M. A. T. **Respostas do feijoeiro às lâminas de água e adubação nitrogenada**. 1998. 205 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 1998.

GUERRA, A. F. et al. Manejo da irrigação e fertilização nitrogenada para o feijoeiro na região dos cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 35, n. 6, p. 1229-1236, jun. 2000.

GUIMARÃES, C. M. Efeitos fisiológicos do estresse hídrico. In: ZIMMERMANN, M. J. O.; ROCHA, M.; YAMADA, T. **Cultura do feijoeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1988. p. 157-174.

GUIMARÃES, C. M. et al. Adaptação do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) à seca. II Produtividade e componentes agrônômicos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 31, n. 7, p. 481-488, jul. 1996.

LOPES, N. F. Crescimento e conversão da energia solar em *Phaseolus vulgaris* L. submetido a três densidades de fluxo radiante e dois regimes hídricos. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 33, n. 186, p. 142-164, mar./abr. 1986.

MACEDO JÚNIOR. et al. Produção do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) submetido a cinco níveis de tensão de água no solo. **Ciência e Prática**, Lavras, MG, v. 18, n. 4, p. 438-444. 1994.

MONTEIRO, R. O. C. et al. Eficiência do uso da água e nitrogênio na produção de melão. **Revista Irriga**, Botucatu, SP, n. 3, v. 13. p. 367-377, 2008.

QUEIROZ, T. M. et al. Cultivo do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L. cv BRS-MG Talismã) submetido a diferentes tensões de água no solo. XXXIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, São Pedro, SP. **Anais do XXXIII CONBEA**. 2004

REZENDE, R. **Efeito da qualidade da irrigação em variáveis de produção e de crescimento da cultura do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.)**. 2000. 88 p. Tese (Doutorado

em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, 2000.

SANTANA, M.J. **Resposta do feijoeiro comum a lâminas e épocas de suspensão da irrigação.** 2007. 102 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2007.

SILVEIRA, P. M.; DAMASCENO, M. A. Doses e parcelamento de K e N na cultura do feijoeiro irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 28, n. 11, p. 1269-1276, nov. 1993.

SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F. **Manejo da irrigação do feijoeiro: uso do tensiômetro e avaliação do desempenho do pivô central.** Goiânia: EMBRAPA, CNPAF, 1994. 46 p.

SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F. **Irrigação do feijoeiro.** Goiânia: EMBRAPA, CNPAF, 2001. 230 p.

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

VAN GENUCHTEN, M. T. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, n. 4, p. 892-898, Sept./Oct. 1980.

VIEIRA, E. H. N. **Sementes de feijão: produção e tecnologia.** Goiânia: EMBRAPA, CNPAF, 2000. 270 p.