

EFEITOS DA IRRIGAÇÃO E DA ADUBAÇÃO NITROGENADA SOBRE AS VARIÁVEIS AGRONÔMICAS DA CULTURA DO FEIJÃO

Priscylla Ferraz Câmara Monteiro⁽¹⁾, **Rubens Angulo Filho**⁽²⁾,
Rodrigo Otávio Câmara Monteiro⁽³⁾

⁽¹⁾ Departamento de Plantas Forrageiras e Agrometeorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Av. Bento Gonçalves, 7712, CEP 13418-900, Porto Alegre, RS. E-mail: pferrazcm@gmail.com;

⁽²⁾ Departamento de Engenharia de Biosistemas, Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Av. Pádua Dias, 11, CEP 13418-900, Piracicaba, SP. E-mail: ruangulo@esalq.usp.br

⁽³⁾ Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Bento Gonçalves Rio Grande do Sul, Campus Bento Gonçalves - IFRS, RS. E-mail: rodrigo.monteiro@bento.ifrs.gov.br

1 RESUMO

Este trabalho teve como objetivo analisar, em condições de campo, o efeito de lâminas de irrigação e de doses de nitrogênio sobre os parâmetros biofísicos da cultura do feijoeiro. O experimento foi conduzido na área experimental da Fazenda Areão – ESALQ/USP, localizada no município de Piracicaba, SP, de setembro a dezembro de 2007, utilizando-se o cultivar de feijão Pérola. O manejo da irrigação foi feito via clima, baseado em dados obtidos da estação meteorológica localizada próxima à área experimental. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com parcelas subdivididas, sendo que nas parcelas foram alocados os tratamentos relacionados com os níveis de irrigação (179,5; 256,5; 357,5 e 406,2 mm) e, nas subparcelas, os tratamentos relativos às doses de nitrogênio (0; 80 e 160 kg ha⁻¹), totalizando assim doze tratamentos em cada bloco, dispostos em 48 parcelas experimentais. As variáveis biofísicas analisadas foram: altura das plantas, índice de área foliar, produtividade de grãos, número de vagens por planta e número de grãos por vagem. O fator *água* influenciou todas as variáveis biofísicas, encontrando-se valores maiores nas plantas que receberam maiores quantidades de água. A adubação nitrogenada não influenciou as variáveis biofísicas da cultura do feijão.

PALAVRAS-CHAVE: *Phaseolus vulgaris* L., evapotranspiração, manejo de irrigação, produtividade de grãos

MONTEIRO, P.F.C.; ANGULO FILHO, R.; MONTEIRO, R.O.C.
IRRIGATION AND NITROGEN FERTILIZATION EFFECTS ON BEAN
AGRONOMIC VARIABLES

2 ABSTRACT

The objective of this research was to analyze the effect of irrigation levels and nitrogen fertilization on the common bean biophysical parameters. The experiment was carried out at the University of São Paulo (ESALQ/USP), Piracicaba, São Paulo, Brazil, from September to December, 2007, using Perola cultivar. Irrigation schedule was based on the weather data given by meteorological station located near the experimental area. The experimental design was randomized blocks, with split plots, having 12 treatments, being: 4 irrigation levels (179.5; 256.5; 357.5 e 406.2 mm) and 3 nitrogen rates (0; 80 e 160 kg ha⁻¹); and four repetitions, totalizing 48 plots. The

biophysical variables analyzed were: plant height, leaf area index, grain yield, the pod number per plant, and the grain number per pod. The irrigation influenced the biophysical variables and the largest medium values of plants were found on those that received the largest irrigation depth. The nitrogen fertilization did not influence the biophysical variables.

KEYWORDS: *Phaseolus vulgaris* L., evapotranspiration, irrigation management, grain yield

3 INTRODUÇÃO

Diante às mudanças climáticas globais existe uma tendência para uma maior consciência ambiental e, também, para o uso sustentável de recursos naturais. Portanto, o manejo adequado da cultura do feijão pode trazer benefícios tanto para o meio ambiente como para o rendimento da cultura. Dentre as técnicas de manejo recomendadas para a cultura, destacam-se a irrigação e a adubação nitrogenada.

A adubação nitrogenada é considerada uma das principais etapas no processo de produção agrícola, sendo que o manejo desse nutriente é considerado um dos mais difíceis (Santos et al., 2003). A aplicação de N mineral nos solos tropicais pode resultar, eventualmente, em resposta pouco eficiente pela cultura do feijão (Piaskowski et al., 2001). Em alguns trabalhos, que mostram os efeitos positivos da adubação nitrogenada, a cultura responde bem a doses de N acima de 100 kg ha⁻¹ e a sua aplicação associada à irrigação torna-se viável. Portanto, considerando que para altas produtividades são necessárias quantidades de N superiores a 100 kg ha⁻¹ (Vieira, 2000), essa prática é considerada indispensável. Dessa forma, técnicas de manejo que possibilitem maximizar a absorção de N pelo feijoeiro são de extrema importância, em razão do alto custo dos fertilizantes nitrogenados e das suas perdas por lixiviação, que podem representar riscos ao ambiente, pela contaminação de mananciais de água (Santos et al., 2003), além de danos às sementes, reduzindo a porcentagem de emergência (Araújo et al., 1996).

Outro fator importante é quanto às exigências hídricas da cultura, pois, devido ao curto período de seu ciclo, a estiagem ou o excesso de água podem afetar severamente o crescimento do feijoeiro. A cultura necessita de, no mínimo, 300 a 500 mm de água acumulada durante o ciclo, que é de 60 a 120 dias, para manifestar seu potencial produtivo (Doorenbos & Kassan, 1979). O déficit de água implica na redução da taxa fotossintética, o que resulta na perda de produtividade a um valor dependente da etapa fenológica em que esse estresse acontece. Se o déficit hídrico ocorrer durante a fase vegetativa, por exemplo, há redução da área foliar das plantas, enquanto que na fase reprodutiva, etapa de pré-floração e enchimento de grãos, provoca abortamento e queda de flores e, conseqüentemente, redução no número de vagens por planta e no enchimento de grãos (Guimarães, 1988), apresentando maior sensibilidade à falta de água no solo (Acosta-Gallegos & Adams, 1991).

A ocorrência de déficit hídrico durante a floração do feijoeiro provoca as maiores reduções de produtividade (Santos et al., 1998), sendo tanto maior essa redução quanto maior for o período em que a planta se submeter à seca (Silveira & Stone, 2001).

Neste contexto, a presente pesquisa teve por objetivo avaliar o efeito de diferentes lâminas de irrigação e dosagens de N sobre os parâmetros biofísicos (produtividade de grãos, número de grãos por vagem, número de vagens por planta, altura de plantas e índice de área foliar) da cultura do feijão.

4 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em condições de campo, no setor experimental de agricultura irrigada da Fazenda Areão, pertencente à Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – ESALQ/USP, localizada no Município de Piracicaba – SP, a 22° 42' 30" de latitude Sul e 47° 38' 39" de longitude Oeste, a uma altitude média de 547 metros, durante o período de setembro a dezembro de 2007.

Segundo a classificação internacional de Köppen, o clima da região é do tipo mesotérmico CWa, ou seja, clima subtropical úmido, com estação chuvosa no verão e estiagem no inverno, com precipitação pluviométrica média anual de 1.247 mm, temperatura média do ar de 21,6 °C, umidade relativa do ar média de 74% e velocidade do vento média de 2,2 m s⁻¹.

Foi utilizado o feijão comum (*Phaseolus vulgaris* L.), cultivar Pérola resistente ao mosaico comum do feijoeiro, com ciclo total de, aproximadamente, 92 dias. A semeadura foi realizada no dia 04 de setembro de 2007 com aproximadamente 14 sementes viáveis por metro linear. O espaçamento utilizado foi de 0,50 m entre fileiras de plantio.

O solo da área experimental foi classificado, segundo o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos desenvolvido pela Embrapa (1999), como Nitossolo Vermelho Eutrófico, A moderado, textura argilosa, profundo e permeável, apresentando textura argilosa em todo o perfil, com um incremento de argila no horizonte B. Os resultados das características físicas do solo são apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Características físicas do solo da área experimental: umidade na capacidade de campo (CC) e no ponto de murcha permanente (PMP), densidade do solo (Ds), argila, silte, areia – Piracicaba, SP, 2007

Profundidad es (m)	CC (m ³ m ⁻³)	PMP (m ³ m ⁻³)	Ds (kg dm ⁻³)	Argila (%)	Silte (%)	Areia (%)	Textur a
0,00 - 0,20	0,4148	0,3472	1,49	36	37	27	Argilos o
0,20 - 0,40	0,4193	0,3491	1,46	52	28	20	Argilos o

O experimento foi conduzido em blocos casualizados, com parcelas subdivididas, sendo que nas parcelas foram alocados os tratamentos relacionados com os níveis de irrigação (179,5; 256,5; 357,5; e 406,2 mm de água) e nas subparcelas os tratamentos relacionados às doses de nitrogênio (0, 80 e 160 kg de N ha⁻¹), totalizando assim 12 tratamentos em cada bloco, dispostos em 48 parcelas experimentais (Figura 1). Cada parcela experimental, com área de 12 m² (3 m x 4 m), apresentava uma área útil de, aproximadamente, 7,0 m², sendo 3,2 m de comprimento e 2,2 m de largura, já descontados os valores de 0,4 m para cada lado, como bordadura.

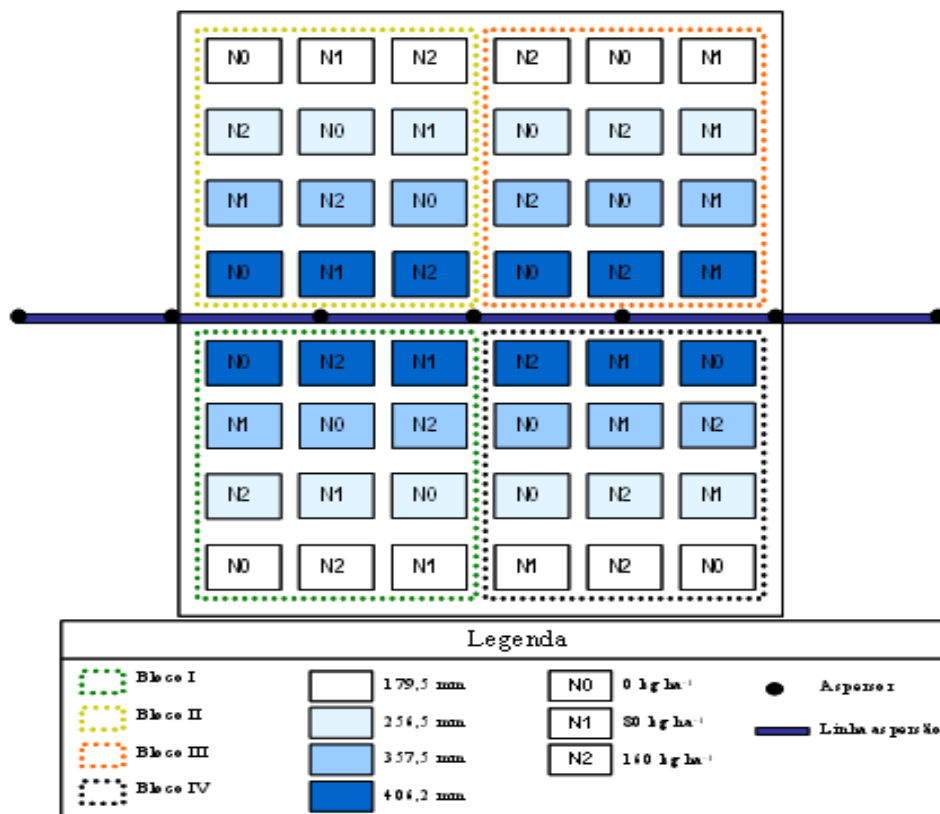


Figura 1. Croqui da área experimental: T1– 179,5 mm e sem dose de nitrogênio (N0); T2– 179,5 mm e N1=80 kg ha⁻¹; T3– 179,5 mm e N2=160 kg ha⁻¹; T4– 256,5 mm e sem N0; T5– 256,5 mm e N1=80 kg ha⁻¹; T6– 256,5 mm e N2= 160 kg ha⁻¹; T7– 357,5 mm sem N0; T8– 357,5 mm e N1=80 kg ha⁻¹; T9– 357,5 mm e N2=160 kg ha⁻¹; T10– 406,2 mm e sem N0; T11– 406,2 mm e N1=80 kg ha⁻¹; T12– 406,2 mm e N2=160 kg ha⁻¹ – Piracicaba, SP, 2007

De acordo com recomendações de adubação, um terço da dose total de N (sulfato de amônio) foi aplicada na sementeira e as outras duas doses remanescentes foram aplicadas no dia 17 de Setembro e no dia 6 de Outubro de 2007, ou seja, aos 7 e aos 27 dias após a emergência (DAE), correspondente aos estádios V2 e V4, respectivamente. As adubações de potássio e fósforo foram de 90 e 100 kg ha⁻¹, respectivamente.

A aplicação de água foi realizada com o auxílio de um sistema de irrigação por aspersão disposto no campo segundo o sistema de “aspersão em linha” (“line source sprinkler system”), de acordo com a metodologia desenvolvida por Hans et al. (1976). A sobreposição dos jatos e o arranjo dos aspersores em uma única linha promovem maior precipitação junto à linha de aspersão e um gradiente decrescente ao longo da direção perpendicular à área, sendo esse efeito denominado de “distribuição triangular da precipitação”. A localização das parcelas experimentais ao longo da direção perpendicular à linha de aspersores permitiu a obtenção de diferentes lâminas aplicadas, simulando, desse modo, diferentes lâminas de irrigação, realizadas por um sistema convencional de aspersão.

No experimento, foram utilizados 7 aspersores, com duplo bucal de 3,50 x 2,50 mm operando a uma pressão de 35 mca e com espaçamento de 6,0 m, produzindo um raio de alcance de 12,0 m e uma intensidade de aplicação de 2,0 mm h⁻¹. Para o manejo da irrigação fez-se a estimativa da evapotranspiração da cultura (ET_c). Para tanto, a estimativa da

evapotranspiração de referência (ET_0) foi realizada pelo método Penman-Monteith – Padrão FAO (Allen et al., 1998), sendo que todos os dados necessários foram coletados a partir da base de dados meteorológicos da estação automática da Fazenda Areão da ESALQ/USP, situada a 30 m da área experimental. Os valores de coeficiente da cultura (K_c) utilizados constam na Tabela 2.

Tabela 2. Valores de coeficiente de cultivo da cultura (K_c) do feijão para as condições brasileiras

Estádio fenológico (F.A.O) ¹	Termina quando há	K_c ²
I	10% do desenvolvimento vegetativo	0,3 a 0,4 ⁽³⁾
II	80% do desenvolvimento vegetativo	0,7 a 0,8
III	Florescimento	1,05 a 1,20
IV	Ponto de maturidade fisiológica	0,65 a 0,75
V	Colheita	0,25 a 0,3

1 Descrição de fenologia de acordo com os critérios da F.A.O. (Food and Agricultural Organization)

2 Valores médios

3 Menores valores de K_c devem ser utilizados para umidade relativa superior a 70 % e velocidade do vento inferior a 5 m s^{-1}

A colheita foi realizada em duas etapas, aos 92 e aos 102 dias após a semeadura (DAS). Foram analisados, ao longo do ciclo da cultura, alguns aspectos morfológicos das plantas, como o índice de área foliar (IAF) e a taxa de crescimento da altura da planta (TCAP). Os componentes de produção da cultura avaliados foram: produtividade de grãos (massa de grãos colhida na área útil da parcela e corrigida para 14% de teor de umidade); número médio de vagens por planta (determinado a partir do somatório de vagens de cinco plantas da área útil de cada parcela) e número médio de grãos por vagem (determinado a partir do somatório de grãos de dez vagens, colhidas ao acaso, de plantas da área útil de cada parcela).

Os dados foram interpretados a partir da análise de variância, respeitando-se o delineamento experimental adotado e, por tratar-se, neste experimento, de investigação de variáveis quantitativas (lâminas de irrigação e doses de nitrogênio), foi testada a análise de regressão para os modelos linear e polinomial de segundo grau, empregando-se o teste F ($p \leq 0,05$ e $p \leq 0,01$). Utilizou-se, para essas análises, o programa “SAS System for Windows-release 6.11” (Sas, 1996).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A lâmina de água aplicada no estágio inicial da cultura (até 21 DAS) foi igual para os tratamentos (Figura 2), no valor de 38,3 mm, sendo que nesse período não houve precipitação pluvial. A partir desse dia, o sistema de irrigação em linha foi instalado, com a disposição de apenas uma linha de aspersores, situada na porção central da área experimental, de maneira que, a partir de 22 DAS, ocorreu a diferenciação entre as lâminas de água aplicadas. Portanto, durante o período compreendido entre o 23^o e o 48^o DAS, as lâminas de água aplicadas

totalizaram os valores de 11,3 mm, 88,3 mm, 189,3 mm e 238,0 mm, para os tratamentos I₁, I₂, I₃ e I₄, respectivamente. É interessante ressaltar que, após os 48 DAS, adveio um período, em torno de 25 dias, em que ocorreram precipitações efetivas consideráveis e, por esse motivo, não houve necessidade de irrigação. Somando-se a precipitação efetiva total (PE) durante o ciclo do feijoeiro (129,9 mm), a lâmina aplicada em cada tratamento e, a lâmina de água aplicada no estágio inicial da cultura (até os 21 DAS), de 38,3 mm, cada tratamento recebeu, durante todo o ciclo da cultura, uma lâmina de água de: I₁ = 179,5 mm; I₂ = 256,5 mm; I₃ = 357,5 mm e I₄ = 406,2 mm (Figura 2).

A maior lâmina aplicada, de 406,2 mm, está próxima das relatadas por Stone et al. (2006), que utilizaram lâminas totais de água de 460,4 e 437,7 mm, no primeiro e no segundo ano, respectivamente, num ciclo de 99 e 92 dias.

De acordo com a Figura 2, pode-se observar que o consumo hídrico da cultura do feijão, no período experimental, foi de 250,8 mm (evapotranspiração da cultura acumulada – ETC acum). Diante disso, observou-se que apenas a lâmina de água aplicada no tratamento I₁ (179,5 mm) causou déficit à cultura.

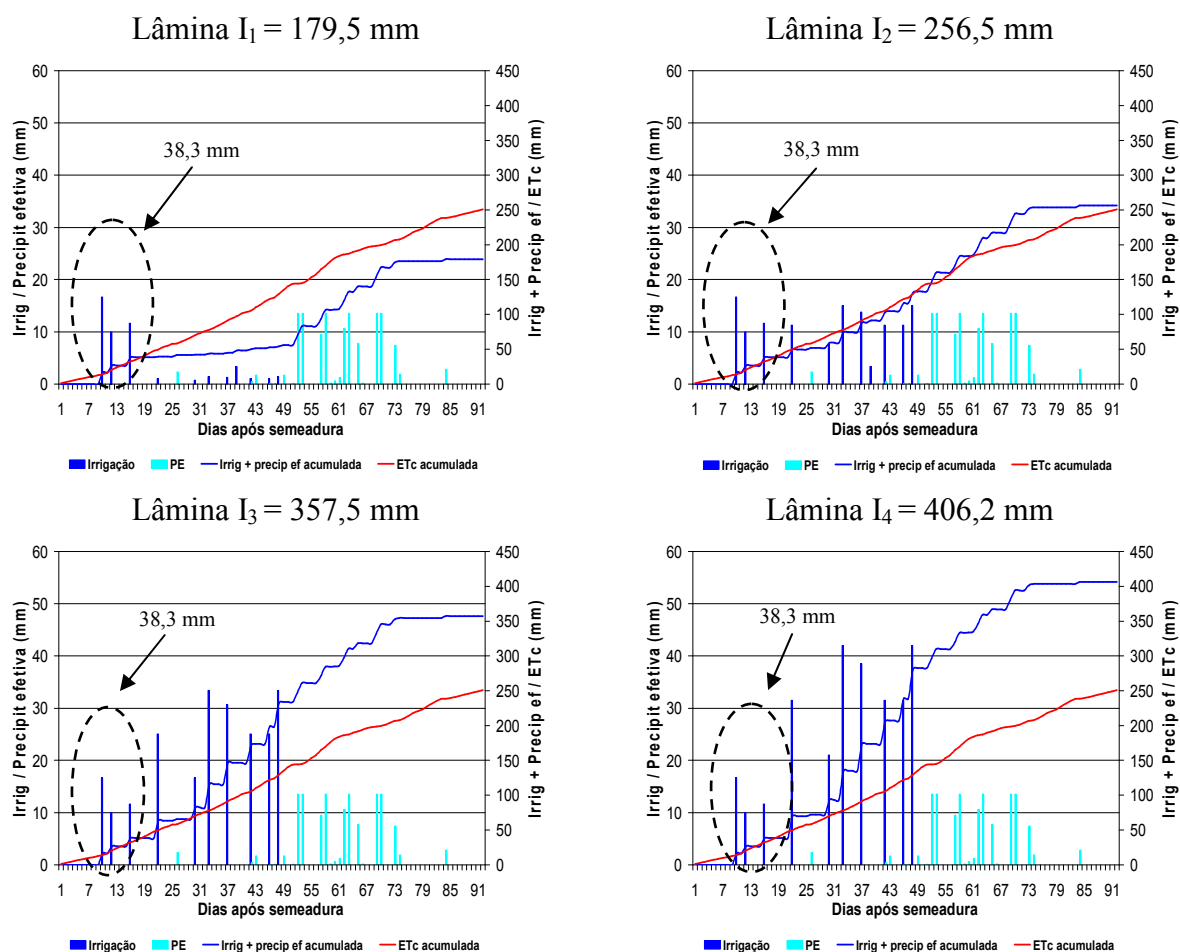


Figura 2. Lâminas de água aplicadas nos 4 tratamentos e estimativa da ETC acumulada, durante todo o ciclo do feijoeiro, compreendido entre 04 de setembro e 04 de dezembro de 2007 – Piracicaba, SP, 2007

A maior e a menor ETC's diárias foram de 6,6 e 0,2 mm, respectivamente, registradas aos 57 e aos 84 DAS. A ETC média diária foi 2,7 mm. Valadão & Klar (1996), trabalhando

com a mesma cultura, na região de Botucatu-SP, encontraram um consumo médio de 348 mm (total no ciclo) e 3,75 mm dia⁻¹.

A análise da variância revelou diferenças estatísticas nos parâmetros de desenvolvimento da cultura (IAF e TCAP) e, também, nos componentes de produção (produtividade de grãos, número de vagens por planta e número de grãos por vagem) entre as lâminas de irrigação ($p < 0,01$), porém, não apresentou diferença entre as doses de nitrogênio ($p < 0,05$), como também na interação entre os fatores.

Tabela 3. Resumo da análise de variância para o índice de área foliar (IAF) do feijão em função das lâminas de irrigação (I) e doses de nitrogênio (N) – Piracicaba, SP, 2007

Fonte de variação	Grau de liberdade	Valor de F						
		IAF 21 DAS	IAF 28 DAS	IAF 37 DAS	IAF 59 DAS	IAF 77 DAS	IAF 82 DAS	IAF 89 DAS
I	3	1,53 ^{ns}	9,00^{**}	88,95^{**}	147,27^{**}	48,74^{**}	74,62^{**}	24,59^{**}
Regressão linear	1	3,16 ^{ns}	23,05^{**}	258,66^{**}	419,14^{**}	4,26 ^{ns}	52,53^{**}	36,64^{**}
Regressão quadrática	1	1,32 ^{ns}	3,96 ^{ns}	7,86[*]	19,19^{**}	116,32^{**}	110,15^{**}	30,65^{**}
N	2	0,65 ^{ns}	0,16 ^{ns}	1,47 ^{ns}	3,32 ^{ns}	1,15 ^{ns}	1,89 ^{ns}	2,94 ^{ns}
Regressão linear	1	0,83 ^{ns}	0,32 ^{ns}	2,68 ^{ns}	4,87 ^{ns}	2,28 ^{ns}	2,00 ^{ns}	1,53 ^{ns}
Regressão quadrática	1	0,48 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,27	1,77 ^{ns}	0,02 ^{ns}	1,79 ^{ns}	2,35 ^{ns}
I x N	6	0,78 ^{ns}	0,56 ^{ns}	1,84 ^{ns}	2,08 ^{ns}	1,36 ^{ns}	0,75 ^{ns}	1,97 ^{ns}
Bloco	3	4,49 ^{ns}	1,44 ^{ns}	2,55 ^{ns}	0,41 ^{ns}	3,58 ^{ns}	0,62 ^{ns}	5,32 ^{ns}
CV _{água} (%)	-	15,91	13,06	15,32	15,65	11,55	10,84	18,36
CV _{nitrogênio} (%)	-	21,25	10,39	19,74	10,09	11,61	9,71	13,09

DAS – dias após a semeadura

^{ns} Não significativo em nível de 0,05 de probabilidade pelo teste F

^{*} Significativo em nível de 0,05 de probabilidade pelo teste F

^{**} Significativo em nível de 0,01 de probabilidade pelo teste F

As variações temporais dos valores médios do IAF, definido como a razão entre a área foliar do dossel e a área de solo por ele ocupado ($m^2 m^{-2}$), durante o ciclo da cultura do feijão, estão apresentadas na Figura 3.

Os valores de IAF foram semelhantes para o manejo do nitrogênio (Figura 3). Diferentemente do que foi observado neste experimento, Sant'Ana & Silveira (2008), ao trabalhar com a avaliação da resposta do feijoeiro irrigado ao nitrogênio em cobertura, observou que a adubação nitrogenada influenciou, significativamente ($p < 0,05$), o IAF até os 66 DAS.

Já o fator água influenciou as variações do IAF (Tabela 3), encontrando-se os maiores valores nas plantas que receberam maiores quantidades de água, concordando com os resultados apresentados por Stone & Moreira (2001). Como a lâmina de água aplicada no

estádio inicial da cultura foi igual para todos os tratamentos, ocorrendo a diferenciação da lâmina de irrigação somente a partir dos 22 DAS, a diferença de IAF entre os tratamentos tornou-se evidente somente a partir dos 37 DAS (Figura 3), sendo mais significativa essa diferença aos 59 DAS. Por esses valores, pôde-se observar que o Tratamento 9 (357,5 mm de água e 160 kg ha⁻¹ de N) apresentou o máximo IAF de 8,30 m² m⁻² aos 59 DAS. O menor IAF foi de 1,39 m² m⁻², observado no Tratamento 2 (179,5 mm de água e 80 kg ha⁻¹ de N), concordando que as menores lâminas foram as que propiciaram o menor desenvolvimento da cultura (Frizzone, 1986; Libardi & Saad, 1994; Gomes et al., 2000). Essa observação também está de acordo com a de Oliveira & Silva (1990), quando afirmam que o IAF do feijoeiro irrigado cresce com o desenvolvimento da cultura, atingindo um valor máximo, em torno dos 55 dias após a emergência (DAE), o que corresponde ao final da floração e ao início da formação das vagens. Para Pavani et al. (2009), os maiores valores de IAF ocorreram entre 66 e 69 DAE, período de enchimento de grãos.

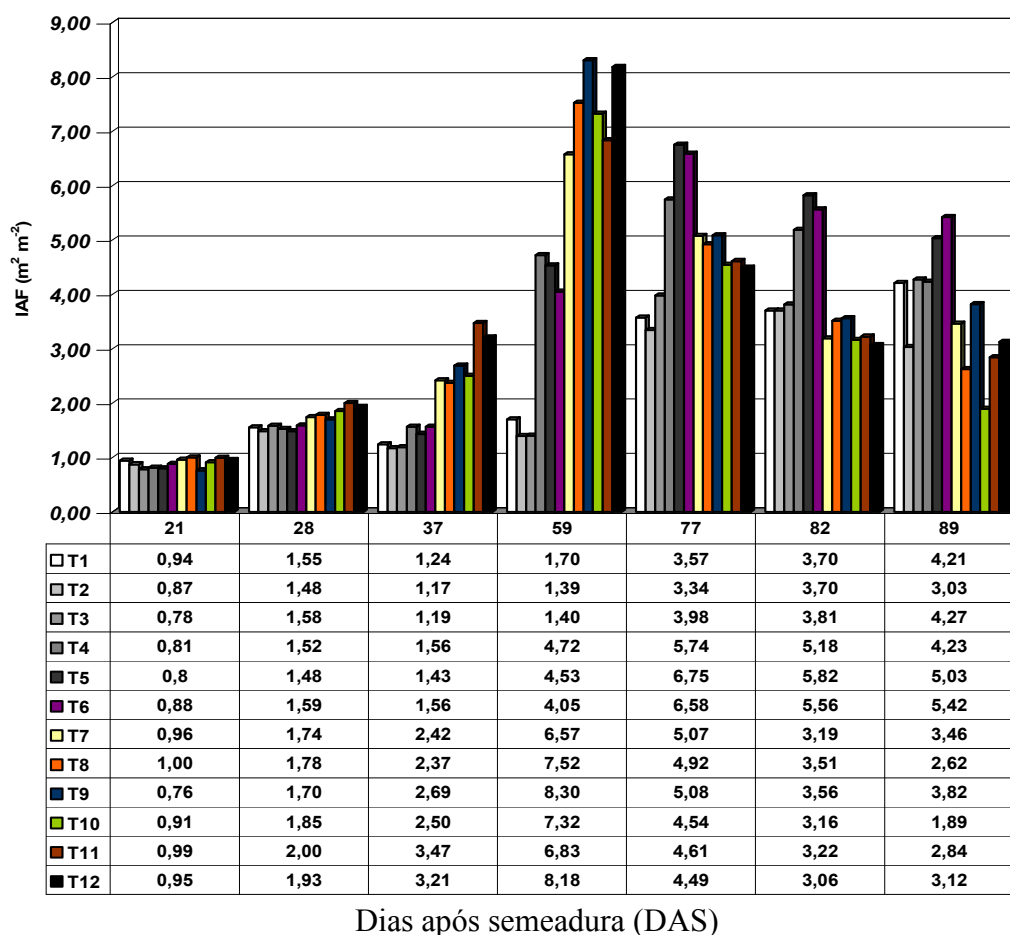


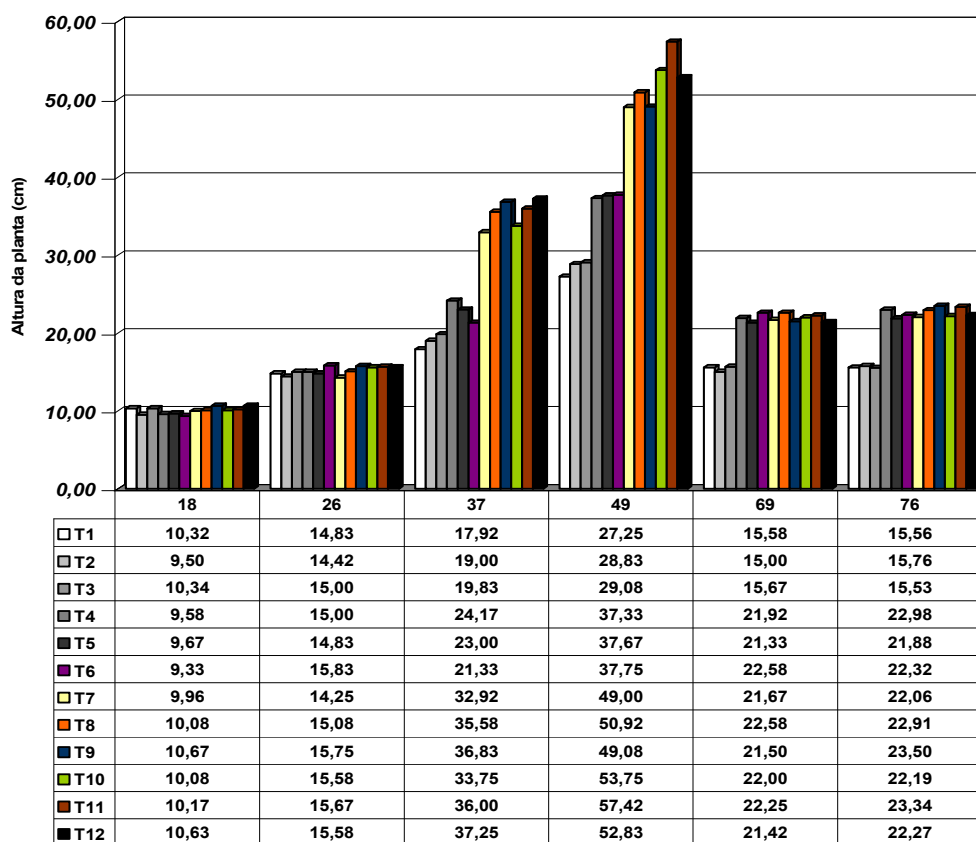
Figura 3. Variação do IAF (m² m⁻²) durante o ciclo da cultura: T1 – 179,5 mm e sem dose de nitrogênio (N); T2 – 179,5 mm e N=80 kg ha⁻¹; T3 – 179,5 mm e N=160 kg ha⁻¹; T4 – 256,5 mm e sem N; T5 – 256,5 mm e N=80 kg ha⁻¹; T6 – 256,5 mm e N= 160 kg ha⁻¹; T7 – 357,5 mm e sem N; T8 – 357,5 mm e N=80 kg ha⁻¹; T9 – 357,5 mm e N=160 kg ha⁻¹; T10 – 406,2 mm e sem N; T11 - 406,2 mm e N=80 kg ha⁻¹; T12 - 406,2 mm e N=160 kg ha⁻¹ – Piracicaba, SP, 2007

Os valores médios de altura de planta (AP) (Figura 4) mostram que, até os 26 DAS, as lâminas de irrigação e as doses de N não provocaram efeitos sobre a altura da planta. Da mesma forma que aconteceu com o IAF, a AP somente apresentou diferença entre os tratamentos após os 37 DAS.

Já a partir dos 26 DAS até os 49 DAS (fase de vigor vegetativo), houve um aumento expressivo na AP das parcelas que receberam maiores lâminas de água (357,5 e 406,2 mm), atingindo um valor máximo de 57,4 cm de altura no tratamento T11 (406,2 mm e N=80 kg ha⁻¹). A menor altura nesse período foi observada no Tratamento 1 (179,5 mm de água e 0 kg ha⁻¹ de N) com 27,25 cm. Horn et al. (2000), avaliando espaçamentos e populações de plantas de feijão cultivar Pampa, verificaram a altura de 48 cm para espaçamentos de 50 cm entre linhas. Valores bem acima aos encontrados neste trabalho foram observados por Meira et al. (2005), que obtiveram altura média de plantas de 80,8 cm em feijoeiro irrigado.

A partir dos 49 DAS, verificou-se uma redução na AP, devido à cultura ter atingido o pico de crescimento vegetativo e ter entrado na fase reprodutiva. Em média, os menores valores de AP foram encontrados na menor lâmina de irrigação (179,5 mm), no entanto o menor valor foi encontrado na lâmina de irrigação de 256,5 mm e 160 kg ha⁻¹ (T6), aos 18 DAS, o que não significa ainda nenhum efeito dos tratamentos, pois a cultura tinha emergido havia cerca de 12 dias.

Souza et al. (2004), testando níveis de adubação para a cultivar Iapar 81, no estado do Paraná, obtiveram altura máxima de plantas de 43,6 cm. Para Soratto et al. (2003), a aplicação de todo o nitrogênio feito em cobertura proporcionou maior produtividade de grãos de feijão.



Dias após semeadura (DAS)

Figura 4. Variação da altura de plantas (cm) durante o ciclo da cultura: T1 – 179,5 mm e sem dose de nitrogênio (N); T2 – 179,5 mm e N=80 kg ha⁻¹; T3 – 179,5 mm e N=160 kg ha⁻¹; T4 – 256,5 mm e sem N; T5 – 256,5 mm e N=80 kg ha⁻¹; T6 – 256,5 mm e N= 160 kg ha⁻¹; T7 – 357,5 mm e sem N; T8 – 357,5 mm e N=80 kg ha⁻¹; T9 – 357,5 mm e N=160 kg ha⁻¹; T10 – 406,2 mm e sem N; T11 - 406,2 mm e N=80 kg ha⁻¹; T12 - 406,2 mm e N=160 kg ha⁻¹ – Piracicaba, SP, 2007

A partir das variações temporais dos valores médios da altura da planta, determinou-se a taxa de crescimento diário da altura da planta (TCAP), para cada tratamento. Conforme a análise da variância (Tabela 4), a interação entre I e N e as doses de N, isoladamente, não influenciaram a TCAP, no nível de 5 % de probabilidade. Já as lâminas de irrigação influenciaram a TCAP aos 37, 49 e 69 DAS (Tabela 4).

Tabela 4. Resumo da análise de variância para a taxa de crescimento diário da altura da planta (TCAP) do feijão em função das lâminas de irrigação (I) e das doses de nitrogênio (N) – Piracicaba, SP, 2007

Fonte de variação	Grau de liberdade	Valor de F					
		TCAP 18 DAS	TCAP 26 DAS	TCAP 37 DAS	TCAP 49 DAS	TCAP 69 DAS	TCAP 76 DAS
I	3	1,77 ^{ns}	2,06 ^{ns}	37,30^{**}	5,11^{**}	32,34^{**}	1,00 ^{ns}
Regressão linear	1	1,63 ^{ns}	0,24 ^{ns}	105,11^{**}	12,57^{**}	93,17^{**}	0,24 ^{ns}
Regressão quadrática	1	2,14 ^{ns}	1,19 ^{ns}	0,00 ^{ns}	0,07 ^{ns}	2,86 ^{ns}	1,58 ^{ns}
N	2	0,86 ^{ns}	0,44 ^{ns}	1,34 ^{ns}	1,59 ^{ns}	1,38 ^{ns}	1,00 ^{ns}
Regressão linear	1	0,72 ^{ns}	0,87 ^{ns}	1,76 ^{ns}	1,32 ^{ns}	0,09 ^{ns}	1,50 ^{ns}
Regressão quadrática	1	0,99 ^{ns}	0,01 ^{ns}	0,92 ^{ns}	1,85 ^{ns}	2,67 ^{ns}	0,50 ^{ns}
I x N	6	0,61 ^{ns}	0,74 ^{ns}	2,25 ^{ns}	1,67 ^{ns}	0,28 ^{ns}	1,00 ^{ns}
Bloco	3	0,10 ^{ns}	3,85 ^{ns}	0,78 ^{ns}	1,31 ^{ns}	0,02 ^{ns}	1,00 ^{ns}
CV _{água} (%)	-	9,03	22,03	36,30	41,36	-25,98	-694,16
CV _{nitrogênio} (%)	-	8,50	21,81	16,44	21,64	-15,24	-693,63

DAS – dias após a semeadura

^{ns} Não significativo em nível de 0,05 de probabilidade pelo teste F

* Significativo em nível de 0,05 de probabilidade pelo teste F

** Significativo em nível de 0,01 de probabilidade pelo teste F

Quanto aos componentes de produção da cultura (produtividade de grãos, número de vagens por planta e número de grãos por vagem), a análise da variância (Tabela 5) revelou que a interação entre I e N e as doses de N, isoladamente, não influenciaram nenhum desses componentes, ao nível de 5% de probabilidade. Já as lâminas de irrigação influenciaram esses componentes de produção ao nível de 1% de probabilidade.

O aumento da dose de N não promoveu o aumento da produtividade de grãos, assim como a do número de grãos por vagem e do número de vagens por planta, convergindo para os resultados observados na literatura (Arf et al., 1991; 2004). Segundo Arf et al. (2004), a justificativa de tal resultado repousa no alto teor de matéria orgânica do solo que, diante da mineralização, liberaria quantidades suficientes de N para atender às necessidades da planta. Normalmente, quando se aumenta a dose de N, as plantas produzem maior número de vagens, sem, contudo, aumentar o número de grãos por vagem. Embora em algumas pesquisas (Silveira & Damasceno, 1993) tenha-se constatado o aumento do número de vagens por planta, em resposta à aplicação de doses crescentes de N, Arf et al. (1991) não observaram esse efeito ao variarem as doses desse nutriente.

Carvalho et al. (2001), também no Município de Selvíria, MS, estudando o efeito de fontes e diferentes parcelamentos do N em feijoeiro de inverno, concluíram que a aplicação de 75 kg ha⁻¹ de N proporcionou, em média, incrementos de 38% na produtividade da cultura.

Tabela 5. Resumo da análise de variância para a produtividade de grãos (PG), número de vagens por planta (NVP), número de grãos por vagem (NGV) em função das lâminas de irrigação (I) e das doses de nitrogênio (N) – Piracicaba, SP, 2007

Fonte de variação	Grau de liberdade	Valor de F		
		PG (kg ha ⁻¹)	NVP	NGV
I	3	75,69**	8,07**	8,51**
Regressão linear	1	178,38**	16,80**	24,24**
Regressão quadrática	1	48,18**	3,27 ^{ns}	1,28 ^{ns}
N	2	1,03 ^{ns}	0,17 ^{ns}	0,78 ^{ns}
Regressão linear	1	0,77 ^{ns}	0,16 ^{ns}	0,88 ^{ns}
Regressão quadrática	1	1,30 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,69 ^{ns}
I x N	6	1,38 ^{ns}	0,25 ^{ns}	0,84 ^{ns}
Bloco	3	0,56 ^{ns}	0,70 ^{ns}	1,37 ^{ns}
CV _{água} (%)	-	16,73	34,37	11,74
CV _{nitrogênio} (%)	-	12,24	22,70	7,03

^{ns} Não significativo em nível de 0,05 de probabilidade pelo teste F

* Significativo em nível de 0,05 de probabilidade pelo teste F

** Significativo em nível de 0,01 de probabilidade pelo teste F

De acordo com a Tabela 6, o maior valor de PG encontrado foi de 3.986,09 kg ha⁻¹ no tratamento T12, correspondente à maior lâmina de irrigação (406,2 mm) e à maior dose de N (160 kg ha⁻¹), enquanto o menor valor de PG foi de 1.002,96 kg ha⁻¹, na menor lâmina aplicada (179,5 mm) e na dose de 80 kg ha⁻¹ de N (T2), evidenciando um aumento aproximado de 297 % na PG, quando aumentada a lâmina de irrigação em 226,7 mm. As menores lâminas foram as que propiciaram as menores produtividades de grãos, resultados semelhantes aos obtidos por Frizzzone (1986), Libardi & Saad (1994) e Gomes et al. (2000). A produtividade máxima encontrada pelos autores foi de 2.540 kg ha⁻¹ com a aplicação de 373,4 mm de lâmina de água. Rezende et al. (2002) encontraram médias de rendimento de grãos de 2.759,1 kg ha⁻¹. Também Rezende et al. (2004) obtiveram produtividade média de 935 kg ha⁻¹ para o cultivo sem irrigação suplementar e 1.239 kg ha⁻¹ com irrigação suplementar.

Tabela 6 – Valores médios das características de produção: produtividade estimada de grãos (PG) para a densidade de plantio de 280.000 plantas ha⁻¹, número de vagens por planta (NVP) e número de grãos por vagem (NGV) do feijão em função das lâminas de irrigação, em mm, e das doses de nitrogênio (N), em kg ha⁻¹ – Piracicaba, SP, 2007

Tratamento	PG (kg ha ⁻¹)	NVP	NGV
T1*	1004,95	8,73	3,66
T2	1002,96	8,43	3,49
T3	1264,61	8,23	3,76
T4	2933,57	11,50	3,87
T5	3000,96	11,08	3,66
T6	3106,02	11,40	3,85
T7	3939,59	16,60	4,26
T8	3805,71	17,05	4,17
T9	3476,68	16,80	4,08
T10	3339,91	13,00	4,61
T11	3330,00	12,63	4,59
T12	3986,09	15,03	4,35

* T1 – 179,5 mm e sem dose de nitrogênio (N); T2 – 179,5 mm e N=80 kg ha⁻¹; T3 – 179,5 mm e N=160 kg ha⁻¹; T4 – 256,5 mm e sem N; T5 – 256,5 mm e N=80 kg ha⁻¹; T6 – 256,5 mm e N= 160 kg ha⁻¹; T7 – 357,5 mm e sem N; T8 – 357,5 mm e N=80 kg ha⁻¹; T9 – 357,5 mm e N=160 kg ha⁻¹; T10 – 406,2 mm e sem N; T11 - 406,2 mm e N=80 kg ha⁻¹; T12 - 406,2 mm e N=160 kg ha⁻¹

As estimativas das variações do IAF aos 28, 37, 59, 77 e 82 DAS, da AP aos 37, 49 e 69 DAS, da PG, do NVP e do NGV podem ser obtidas pelas equações de regressão linear e polinomial quadrática, obtidas a partir da análise de regressão (Tabela 7). As equações demonstram a variação dos parâmetros de desenvolvimento da cultura e dos componentes de produção, em função das lâminas de irrigação.

Tabela 7 – Equações de regressão para o índice de área foliar (IAF) aos 28, 37, 59, 77 e 82 DAS, taxa de crescimento da altura da planta (TCAP) aos 37, 49 e 69 DAS, produtividade de grãos (PG), número de vagens por planta (NVP) e número de grãos por vagem (NGV) do feijão em função das lâminas de irrigação (I) – Piracicaba, SP, 2007

Característica	Equação de regressão	R ² (%)
IAF 28 DAS	IAF = 1,1637 + 0,0017 I	85,34
IAF 37 DAS	IAF = 1,4997 – 0,0062 I – 0,000025 I ²	99,88
IAF 59 DAS	IAF = -10,7881 + 0,0859 I – 0,0001 I ²	99,21
IAF 77 DAS	IAF = -8,9687 + 0,1017 I – 0,00017 I ²	82,46
IAF 82 DAS	IAF = -4,3363 + 0,0687 I – 0,00012 I ²	72,67
TCAP 37 DAS	TCAP = -0,9788 + 0,0072 I	93,93
TCAP 49 DAS	TCAP = 0,3362 + 0,002893 I	81,99
TCAP 69 DAS	TCAP = 0,2591 – 0,00458 I	96,04
PG (kg ha ⁻¹)	PG = -7407,0482 + 63,8905 I – 0,0915 I ²	99,78
NVP	NVP = 3,8550 + 0,0290 I	69,42
NGV	NGV = 2,8841 + 0,0038 I	94,95

6 CONCLUSÕES

O efeito das lâminas de irrigação sobre a cultura do feijão foi mais pronunciado do que as doses de nitrogênio. O fator *água* influenciou as variáveis biofísicas (IAF, altura da planta, produtividade, número de vagens por planta e número de grãos por vagem), encontrando-se valores maiores nas plantas que receberam maiores quantidades de água;

A adubação nitrogenada, como também o aumento da dose de N, não influenciou as variáveis biofísicas da cultura do feijão.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACOSTA-GALLEGOS, J.A.; ADAMS, M.W. Plant traits and yield stability of dry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivars under drought stress. **Journal of Agricultural Science**, Cambridge, v.117, p. 213-219, 1991.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 328 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).

ARAÚJO, R. S.; RAVA, C.A.; STONE, L.F.; ZIMMERMANN, M.J.O. **Cultura do feijoeiro comum no Brasil**. 1. ed. Piracicaba-SP: POTAFÓS, 1996. 786p.

ARF, O.; FORNASIERI FILHO, D.; MALHEIROS, E.B. & SAITO, S.M.T. 1991. Efeito da inoculação e adubação nitrogenada em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cultivar Carioca 80. I. Solo de alta fertilidade. **Científica**, 19(1): 29-38.

ARF, O.; RODRIGUES, R.A.F.; SÁ, M.E.; BUZETTI, S.; NASCIMENTO, V. Manejo do solo, água e nitrogênio no cultivo de feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 39, p. 131-138, 2004.

CARVALHO, M.A.C.; ARF, O.; SÁ, M.E.; BUZETTI, S.; SANTOS, N.C.B.; BASSAN, D.A.Z. Produtividade e qualidade de sementes de feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) sob influência de parcelamentos e fontes de nitrogênio. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.25, p.617-624, 2001.

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

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília: Serviço de Produção de Informação/Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1999. 412 p.

FRIZZONE, J.A. **Funções de resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) ao uso de nitrogênio e lâmina de irrigação**. 1986. 133p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1986.

GOMES A.A.; ARAÚJO, A.P.; ROSSIELLO, R.O.P.; PIMENTEL, C. Acumulação de biomassa, características fisiológicas e rendimento de grãos em cultivares de feijoeiro irrigado e sob sequeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 10, p. 1927-1937, 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.

HANS, R.J.; KELLER, J.; RASMUSSEN, V.P.; WILSON, G.D. Line source sprinkler for continuous variable irrigation crop production studies. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 40, p. 426-429, 1976.

HORN, F.L.; SCHUCH, L.O.B.; SILVEIRA, E.P.; ANTUNES, I.F.A.; VIEIRA, J.C.; MARCHIORO, C.; MEDEIROS, D.F.; SCHWEENGBER, J.E. Avaliação de espaçamento e populações de plantas de feijão visando à colheita mecanizada direta. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, p. 41-46, jan. 2000.

LIBARDI, P.L.; SAAD, A.M. Balanço hídrico em cultura de feijão irrigada por pivô central em latossolo roxo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 18, n. 3, p. 529-532, 1994.

MEIRA, F.A. et al. Doses e épocas de aplicação de nitrogênio no feijoeiro irrigado cultivado em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. v.40, n.4, p.383-388, 2005.

OLIVEIRA, F.A.; SILVA, J.J.S. Evapotranspiração, índice de área foliar e desenvolvimento radicular do feijão irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 3, p. 317-322, 1990.

PAVANI, L.C.; LOPES, A.S.; PEREIRA, G.T. Desenvolvimento da cultura do feijoeiro submetida a dois sistemas de manejo de irrigação e de cultivo. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 31, p. 453-459, 2009.

PIASKOWSKI, S.R.; RONZELLI JÚNIOR, P.; DAROS, E.; KOEHLER, H.S. Adubação nitrogenada em cobertura para o feijoeiro em plantio direto na palha. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 2, p. 67-72, 2001.

REZENDE, R.; FREITAS, P.S.L.; MANTOVANI, E.C.; FRIZZONE, J.A. Função de produção da cultura do milho e do feijão para diferentes lâminas e uniformidade de aplicação de água. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.26, n.4, p.503-511, 2004

REZENDE, R.; GONÇALVES, A.C.A.; FRIZZONE, J.A.; FREITAS, P.S.L.; BERTONHA, A.; ANDRADE, C.A.B. Uniformidade de aplicação de água, variáveis de produção e índice de área foliar da cultivar de feijão Iapar 57. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 24, n. 5, p. 1561-1568, 2002.

SANT'ANA, E.V.P.; SILVEIRA, P.M. Crescimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) influenciado por doses de nitrogênio em cobertura. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 38, p. 134-140, 2008.

SANTOS, J. J. A.; BEZERRA, F.M.L.; MIRANDA, E.P.; CORDEIRO, L.G. Determinação da evapotranspiração de referência (ET_o) e evapotranspiração máxima (E_m) em diferentes fases fenológicas do feijão caupi (*Vigna unguiculata* (L.) Walp.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas. **Anais...** Lavras: SBEA/UFLA, 1998. v. 2, p.184-186.

SANTOS, A.B.; FAGERIA, N.K.; SILVA, O.F.; MELO, M.L.B. Resposta do feijoeiro ao manejo de nitrogênio em várzeas tropicais. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, p. 1265-1271, 2003.

SAS INSTITUTE. **The sas-system for windows release 6.11 (software)**. Cary, 1996. 378 p.

SILVEIRA, P.M. da & DAMASCENO, M.A. 1993. Doses e parcelamento de K e de N na cultura do feijoeiro irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.28 , p.1269-1276.

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

SORATTO, R.P.; ARF, O.; RODRIGUES, R.A.F.; BUZETTI, S.; SILVA, T.R.B. Resposta do feijoeiro ao preparo do solo, manejo de água e parcelamento de nitrogênio. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 25, p. 89-96, 2003.

SOUZA, A.B.; ANDRADE, M.J.B.; ALVES, V.G. Populações de plantas, adubação e calagem para o feijoeiro (cv. Iapar 91) em um Gleissolo de Ponta Grossa, Estado do Paraná. **Acta Scientiarum Agronomy**, Maringá, v. 26, n. 3, p. 347-352, 2004.

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

STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M. da; MOREIRA, J.A.A.; BRAZ, A.J.B.P. Evapotranspiração do feijoeiro irrigado em plantio direto sobre diferentes palhadas de culturas de cobertura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, p. 577-582, abr.2006.

VALADÃO, L.T., KLAR, A.E. Evapotranspiração do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.), em dois níveis do lençol freático. In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 11., 1996, Campinas. **Anais...** Campinas : Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem, 1996. v. 1, p. 163-176.

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