



WELLINGTON GOMES DA SILVA

**MANEJO DA IRRIGAÇÃO PARA O
FEIJÃO-DE-METRO CULTIVADO EM
AMBIENTE PROTEGIDO**

LAVRAS - MG

2011

WELLINGTON GOMES DA SILVA

**MANEJO DA IRRIGAÇÃO PARA O FEIJÃO-DE-METRO
CULTIVADO EM AMBIENTE PROTEGIDO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Engenharia de Água e Solo, para obtenção do título de Doutor.

Orientador

Dr. Jacinto de Assunção Carvalho

LAVRAS - MG

2011

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Silva, Wellington Gomes da.

Manejo da irrigação para o feijão-de-metro cultivado em ambiente protegido / Wellington Gomes da Silva. – Lavras : UFLA, 2011.

96 p. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2011.

Orientador: Jacinto de Assunção Carvalho.

Bibliografia.

1. *Vigna unguiculata* spp. 2. *Sesquipedalis*. 3. Viabilidade econômica. 4. Relação benefício/custo. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 635.65287

WELLINGTON GOMES DA SILVA

**MANEJO DA IRRIGAÇÃO PARA O FEIJÃO-DE-METRO
CULTIVADO EM AMBIENTE PROTEGIDO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Engenharia de Água e Solo, para obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 04 de julho de 2011.

Dra. Fátima Conceição Rezende	UFLA
Dr. Geraldo Magela Pereira	UFLA
Dra. Joelma Rezende Durão Pereira	UNILAVRAS
Dra. Myriane Stella Scalco	UFLA

Dr. Jacinto de Assunção Carvalho
Orientador

**LAVRAS – MG
2011**

Aos meus pais, Sr. Antônio e Sra. Antônia, pelos exemplos de humildade.
Aos meus irmãos Eleud, Jaqueline, Katiane, Poliana e Samirimis, e demais
membros da família, pelas declarações e/ou demonstrações de amor, incentivo e
apoio incondicional.
Em especial ao meu filho Wellington, motivo maior da minha incessante busca
por melhores condições e qualidade de vida.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela graça divina da minha existência, saúde e por ter me permitido realizar mais este sonho de vida, que por vezes me pareceu distante e inatingível.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Departamento de Engenharia (DEG), na pessoa do professor Dr. Manoel Alves de Faria (então coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola), e demais membros do colegiado, pela oportunidade oferecida para realizar o curso de Doutorado.

À Universidade Federal do Amazonas (UFAM), pela oportunidade e apoio para capacitação em Programa de Pós-Graduação em Instituição fora da Sede.

À Fundação de apoio a pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pelo auxílio financeiro, indispensável à realização dos experimentos.

À Fundação de apoio a pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM), pela concessão da bolsa de estudos, fundamental ao custeio de material didático, deslocamento, moradia, alimentação e encargos educacionais.

Ao professores da UFAM, Dr. Eduardo Ossamu Nagao, Dr. Carlos Alberto Franco Tucci, Dr. Carlos Moisés Medeiros, Dr. Antenor Francisco de Figueiredo e Dr. Edinaldo Narciso Lima, pela amizade, apoio e incentivo para a realização do curso de Doutorado.

Ao professor Dr. Antônio Marciano da Silva, pelo apoio e incentivo para a realização do curso de Doutorado.

Ao professor Dr. Jacinto de Assunção Carvalho, pela orientação, apoio na condução dos experimentos, por sua compreensão, paciência, dedicação e presteza.

À pesquisadora Dra. Fátima Conceição Rezende, pela pronta atenção, determinação na intensa e dedicada coorientação, avaliação e sugestões que contribuíram para a melhoria da qualidade da tese.

Ao professor Dr. Geraldo Magela Pereira, pelo apoio na coorientação, pronta atenção, e avaliação e sugestões que contribuíram para a melhoria da qualidade da tese.

Ao professor Dr. Messias José Bastos de Andrade pela contribuição na coorientação para a condução dos experimentos.

À pesquisadora Dra. Myriane Stella Scalco, pela presteza, colaboração na avaliação e sugestões que contribuíram para a melhoria da qualidade da tese.

À professora Dra. Joelma Pereira Durão, pela colaboração na avaliação e sugestões que contribuíram para a melhoria da qualidade da tese.

A todos os professores do Departamento de Engenharia com quem eu tive oportunidade de cursar disciplinas, pela dedicação, seriedade e compromisso com que conduzem as aulas ministradas.

Aos servidores e amigos técnico-administrativos do Setor de Engenharia de Água e Solo, Sr. José Luiz e Osvaldo “Neném”, por terem contribuído para minha formação profissional direta e/ou indiretamente e pela valiosa ajuda nas minhas atividades de pesquisa.

À Dra. Nerci Nina Lima e demais familiares, pelo carinho com que me acolheram como hóspede em sua residência no período inicial da minha chegada em Lavras.

À Engenheira Agrícola MSc. Carla de Pádua Martins, pelo carinho, amizade, companheirismo, hospitalidade e apoio durante todos os momentos.

Ao Engenheiro Agrícola MSc. Arinaldo de Sá Júnior, pela convivência agradável do dia a dia, amizade e apoio prestado durante o período em que fracturei o braço e estive hospitalizado.

Ao Engenheiro Agrícola MSc. Eduardo Carvalho Oliveira, pela convivência agradável, amizade, auxílio no entendimento e resolução dos exercícios acadêmicos das disciplinas que cursamos juntos.

Ao Engenheiro Agrônomo MSc. Gervásio Rios, pela convivência agradável, amizade, auxílio na compreensão de teorias e conceitos acadêmicos e resolução dos exercícios das disciplinas que cursamos juntos, apoio na condução dos experimentos e durante o período em que estive hospitalizado.

Ao Engenheiro Agrícola MSc. Donizete dos Reis Pereira, pela convivência agradável e amizade.

Ao Engenheiro Agrônomo Bruno Montoani Silva, pela amizade e auxílio na condução dos experimentos.

Meus mais sinceros agradecimentos a todos aqueles que de alguma forma contribuíram para a realização e aprimoramento deste trabalho.

“O indivíduo é, como a palavra indica, indivisível. Ele carrega para onde vai aquilo que ele é.”

Dewey (1979)

RESUMO

A produção de feijão-de-metro (*Vigna unguiculata* spp. *sesquipedalis* (L.) Verdc.) é uma excelente alternativa de renda para os produtores do estado do Amazonas, visto que seu consumo é bastante expressivo na região. Entretanto, são praticamente inexistentes na literatura informações sobre o comportamento da cultura quando cultivada sob diferentes condições de umidade do solo e regimes de irrigação em ambiente protegido. Este trabalho teve por objetivo geral obter parâmetros para o manejo de irrigação nas fases vegetativa e produtiva do feijão-de-metro, bem como avaliar a viabilidade econômica do seu cultivo em ambiente protegido. Foram realizados dois experimentos com a cultura em ambiente protegido. O primeiro experimento foi em blocos casualizados com esquema fatorial 5x2, correspondente a cinco níveis de potencial matricial (equivalentes a -15, -35, -55, -75 e -95 kPa), e duas fases fenológicas da cultura (vegetativa e produtiva). O segundo experimento também foi realizado em delineamento de blocos ao acaso, mas com níveis variados de reposição de água consumida (40, 70, 100, 130 e 160%). Foram utilizadas quatro repetições por tratamento em cada experimento. Foram avaliados o desenvolvimento (altura, diâmetro e a matéria seca), o rendimento (número de vagens, produção e produtividade), e a qualidade das vagens (massa fresca e comprimento das vagens). Os dados foram submetidos à análise de variância e regressão. Concluiu-se que: é viável economicamente o cultivo do feijão-de-metro em ambiente protegido, uma vez que a rentabilidade foi de R\$1,7 para cada real investido; que o manejo da irrigação deve ser conduzido mantendo-se a umidade do solo próxima à capacidade de campo (- 15 kPa), nas duas fases fenológicas da cultura.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata* spp. *sesquipedalis*. Irrigação. Análise econômica. Fase fenológica.

ABSTRACT

The yield of asparagus beanr (*Vigna unguiculata* spp. *sesquipedalis* (L.) Verdc.) is an excellent alternative source of income for producers of the state Amazonas, since its consumption is very expressive in the region. However, they are virtually nonexistent in the literature about the behavior of the crop when grown under different conditions of soil moisture and irrigation regimes in greenhouse. This study aimed to obtain parameters for the overall management of irrigation in the vegetative and reproductive stages of the asparagus bean, and assess the economic feasibility of its cultivation in greenhouse. Two experiments were conducted with the culture in a greenhouse. The first experiment was a randomized block with a 5x2 factorial scheme, corresponding to five levels of matric potential (equivalent to -15, -35, -55, -75 and -95 kPa), and two phenological stages (vegetative and reproductive) . The second experiment was also conducted in a randomized block at radom, but with varying levels of replacement of water consumed (40, 70, 100, 130 and 160%). Were used four replicates per treatment in each experiment. Were evaluated the development (height, diameter and dry matter), the yield (number of pods, yield and productivity) and quality of beans (fresh weight and length of the pods). Data were subjected to analysis of variance and regression. It was concluded that: it is economically viable to cultivate the aspagus bean in greenhouse, since the profit was R \$ 1.7 for each real invested, the management of irrigation should be conducted keeping the moisture soil close to field capacity (- 15 kPa) in two phenological stages.

Keywords: *Vigna unguiculata* spp. *sesquipedalis*. Irrigation. Economic Analysis. Phase phenological.

SUMÁRIO

	PRIMEIRA PARTE	17
1	INTRODUÇÃO	17
2	REFERENCIAL TEÓRICO	19
2.1	A cultura do feijão-de-metro	19
2.2	Cultivo em ambiente protegido	22
2.3	Manejo de irrigação	23
2.4	Potencial matricial	26
2.5	Análise econômica	28
	REFERÊNCIAS	32
	SEGUNDA PARTE – ARTIGOS	43
	ARTIGO 1 Resposta do feijão-de-metro cultivado em ambiente protegido ao manejo da irrigação em duas fases fenológicas	43
	ARTIGO 2 Análise técnica e econômica da irrigação do feijão-de-metro em ambiente protegido	68

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

O feijão-de-metro, da família Fabaceae (*Vigna unguiculata* spp. *sesquipedalis* (L.) Verdc.), é bastante apreciado pelas populações do Norte e Nordeste do Brasil, sendo cultivado por pequenos produtores. Por sua rusticidade e tolerância às altas temperaturas surge como opção ao cultivo do feijão vagem (Silva, 2003). Possui alto teor de proteína (28%), ferro (2,5 mg 100 g⁻¹), cálcio (80 mg 100 g⁻¹), fósforo (74 mg 100 g⁻¹), vitamina A (941 UI 100 g⁻¹), vitamina C (13mg 100g⁻¹) e fibra (2g 100g⁻¹), conforme relatam Resmi e Gopalakrishnan (2004).

Essa espécie representa uma significativa alternativa de renda para os produtores rurais do Amazonas, mas seu cultivo se dá com mais intensidade no período inicial da vazante dos rios, quando o agricultor aproveita a umidade natural dos solos de várzea. Assim, sua oferta é sazonal e dependente das condições favoráveis da natureza (Cardoso, 1997).

A instabilidade de oferta dos produtos agrícolas, resultante das variações dos elementos climáticos, contribui para o aumento do uso de técnicas de cultivo que permitam uma maior estabilidade da produção; entre elas destacam-se a irrigação e o cultivo em ambiente protegido.

A irrigação é comumente utilizada pelos agricultores para manter um suprimento regular de água para as espécies cultivadas. Associada às demais práticas agrícolas, a irrigação torna-se um fator de garantia tanto de estabilidade de oferta dos produtos quanto do aumento da produtividade das culturas.

Entretanto, essa prática só trará benefícios se feita de forma racional, minimizando os gastos com água, energia, equipamentos, fertilizantes e outros

elementos que constituem fatores de formação dos custos de produção (Frizzone, 2007).

Conhecendo-se, entre outros fatores, a necessidade hídrica e o momento ideal do suprimento de água para a espécie de interesse, nas suas diferentes fases de desenvolvimento, o manejo racional da irrigação pode ser estabelecido. Somente dessa forma pode-se obter uma produção economicamente viável e com a maximização do lucro.

O cultivo em ambiente protegido não é recente. Ele foi introduzido no Brasil na década de 1950, pelos holandeses, para a produção de flores; e na década de 1970 começou a ser utilizado para o cultivo de hortaliças (Martins, 1996). Entretanto, não se tem informações sobre o manejo nessas condições de cultivo para todas as culturas de interesse agrícola.

De acordo com Sganzerla (1997), o cultivo em ambiente protegido protege as plantas contra agentes meteorológicos, encurta o ciclo de produção, aumenta a produtividade, melhora a qualidade dos produtos e permite obter colheitas em qualquer período do ano, garantindo com isso a estabilidade de oferta da produção das espécies cultivadas nesse sistema.

Ainda não há pesquisas que dêem subsídios para o manejo de irrigação técnica e/ou economicamente viável para o feijão-de-metro nesse sistema de produção.

Diante do exposto, este trabalho teve por objetivo geral obter parâmetros para o manejo de irrigação nas fases vegetativa e produtiva do feijão-de-metro, bem como avaliar a viabilidade econômica do seu cultivo em ambiente protegido.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 A cultura do feijão-de-metro

O feijão-de-metro (*Vigna unguiculata* spp. *sesquipedalis* (L.) Verdc.) é uma hortaliça bastante cultivada no mundo. É originário da África Central, mas teve seu cultivo inicialmente estabelecido no sudeste da Ásia (Ha et al., 2010). No Brasil esta cultura foi introduzida no Nordeste pelos colonizadores europeus, possivelmente no estado da Bahia. Posteriormente, disseminou-se por outras regiões do País, principalmente para o Norte e Centro-oeste. Na região Norte, seu consumo é expressivo, principalmente porque substitui a “vagem” em vários pratos, notadamente em saladas (Cardoso, 1997).

A planta é uma liana (trepadeira), alcançando aproximadamente 2,0 m de comprimento. A raiz é pivotante e, assim como as hastes, ramifica-se pouco. As folhas apresentam morfologia bastante peculiar, típica das espécies pertencentes à família das Fabáceas. São compostas e trifoliadas, longopeciadas, alternas e estipuladas. A inflorescência tem forma de cacho, com flores violáceas, longo pedunculares (Pimentel, 1985). Devido à beleza de suas flores essa espécie também é utilizada como planta ornamental.

Segundo Ofori e Klogo (2005), as vagens do feijão-de-metro devem ser colhidas em estágio imaturo, antes do completo desenvolvimento das sementes. Para Resmi e Gopalakrishnan (2004) o início da colheita pode ser estimado pela contagem do número de semanas após o plantio. Conforme esses autores são necessárias cerca de sete semanas da semeadura até o início da colheita, dependendo da cultivar e das condições ambientais; o período de colheita normalmente se estende por seis a oito semanas. Conforme o United States Agency For International Development - USAID (2004) o comprimento e o

diâmetro das vagens, e o número de dias após a antese (abertura da flor) são os principais indicadores do momento da colheita.

Embora seja recomendado colher as vagens com comprimento mínimo de 38 cm, alguns mercados preferem vagens mais longas, de até 76 cm. Vagens de melhor qualidade são retas, comprimento uniforme e de coloração homogênea. As cultivares mais populares têm cor verde, embora alguns mercados possam preferir cultivares que produzem uma vagem de cor avermelhada (USAID, 2004).

Em estudo com o feijão-de-metro irrigado, em condições de campo, realizado na Universidade de Ghana (Oeste da África), Ofori e Klogo (2005) concluíram que, para se obter vagens de boa qualidade para o consumo, estas deveriam ser colhidas antes de 15 dias após a abertura da flor.

Com base nas citações acima se verifica que há dois critérios que podem ser adotados para que se proceda à colheita. O primeiro, que tem como base o comprimento das vagens, pode ser mais prático ao ser adotado pelo produtor. Já o segundo critério, que recomenda a colheita com base no número de dias após a antese, este é mais criterioso quanto à condução de pesquisas por representar melhor a resposta das plantas às variações das condições ambientais a que estão submetidas. A adoção de um ou outro método de colheita vai depender dos objetivos do pesquisador.

Nos países da Ásia como China, Índia, Malásia e Indonésia, por exemplo, onde o feijão-de-metro desperta maior interesse econômico, há mais de 30 cultivares comerciais. Na região Norte do Brasil são cultivadas apenas duas cultivares: uma possui vagens finas e sementes pretas e a outra, vagens mais espessas e sementes marrons. Nessa região a preferência do consumidor é indistinta entre os dois tipos (Pimentel, 1985).

Devido à planta ser trepadeira ela necessita de tutoramento, o qual pode ser feito utilizando-se espaldeiras, varas de pequeno diâmetro ou até mesmo

bambu. A escolha do tipo de tutor vai depender da disponibilidade de material disponível e do ambiente de cultivo (Sganzerla, 1997).

A demanda da região Norte é atendida principalmente por pequenos produtores que têm nesta hortaliça uma significativa fonte de renda. No Estado do Amazonas, onde o consumo é amplamente difundido, predominam os plantios realizados por agricultores da área de várzea (Cardoso, 1997).

Apesar de sua importância econômica e social, o feijão-de-metro ainda tem uma produção sazonal, pois seu cultivo depende das condições favoráveis da natureza; devido a isso sua oferta não atende a demanda do mercado regional durante todo o ano (Pimentel, 1985).

Em condições de campo o feijão-de-metro é plantado no fim da época chuvosa, quando a planta tem água a sua disposição no início do crescimento e a frutificação não é prejudicada pela elevada precipitação, que compromete a produção (Pimentel, 1985). Desse modo, o cultivo dessa hortaliça fica restrito a esse período já que é a época que proporciona condições ambientais mais propícias para a produção.

De acordo com Pimentel (1985), é recomendado o uso da irrigação no cultivo do feijão-de-metro no período seco. Em ambiente protegido a única fonte de água para a cultura é oriunda da irrigação (Parizi et al., 2010). Porém, resultados de pesquisa com manejo de irrigação para a cultura são escassos.

O manejo de irrigação e o cultivo em ambiente protegido, além de incrementar a produtividade, pode proporcionar a obtenção de um produto diferenciado, de melhor qualidade e com perspectiva de melhores preços no mercado (Martins; Gonzalez, 1995). Por se tratar de uma prática ainda não adotada no cultivo do feijão-de-metro, a perspectiva promissora da adoção da irrigação deve ser estudada e analisada de forma detalhada, principalmente no que diz respeito ao manejo e viabilidade econômica.

2.2 Cultivo em ambiente protegido

A principal diferença entre a produção no meio agrícola e os demais setores da economia consiste na exposição às condições ambientais. A agricultura é uma atividade de alto risco, uma vez que não se tem controle sobre os elementos climáticos (Romanini et al., 2010). Uma agricultura moderna produz de forma sustentável com o menor grau de risco possível, por meio do uso intensivo de técnicas apropriadas, como o cultivo protegido e irrigação (Araújo et al., 2009). Segundo Mary et al. (2007), o cultivo em ambiente protegido é um técnica que tem contribuído para a modernização da agricultura.

O uso de ambiente protegido possibilita o crescimento e desenvolvimento das culturas nas épocas em que os elementos meteorológicos no ambiente externo são limitantes (Heldwein et al., 2010), maior proteção quanto aos fatores climáticos (excesso de chuvas, diminuição da temperatura noturna etc.), proteção do solo contra a lixiviação, redução dos custos com fertilizantes e defensivos, produção maior em comparação ao cultivo em ambiente aberto (Reis; Souza; Azevedo, 2009), produção em épocas de melhores preços, e melhor qualidade dos produtos.

O que se espera em um cultivo em determinado ambiente é o alto rendimento e qualidade dos produtos, desde que sejam dadas as condições para a cultura utilizar, da forma mais eficiente possível, os fatores determinantes da produção, quer sejam genéticos, bióticos ou abióticos (Sganzerla, 1997).

Condições de radiação solar, temperatura e umidade relativa do ar podem ser modificadas pelo uso de ambiente protegido (Sganzerla, 1997).

Para Nascimento et al. (2008), o aumento da temperatura do ar afeta o potencial de florescimento, diminuindo o número de dias para o início da floração. Segundo esses autores, isso ocorre devido ao seu efeito nos processos metabólicos internos da planta.

Carvalho et al. (2010) verificaram que não houve efeito dos regimes de irrigação em ambiente protegido e natural até o potencial matricial de -60 kPa, mas observaram que as plantas de maracujá (*Passiflora edulis*) tiveram crescimento mais rápido em altura e diâmetro, antecipação da colheita e, também, vagens de melhor qualidade em relação ao ambiente natural. Segundo os autores, o crescimento mais acelerado das plantas pode ter sido influenciado pelas maiores temperaturas máximas e mínimas ocorridas em ambiente protegido quando comparadas ao ambiente natural.

Têm-se observado reduções em torno de 60% na evapotranspiração das culturas em casa de vegetação coberta com plástico, em comparação com cultivos a céu aberto (Martins; Gonzalez, 1995). Segundo Farias et al. (1994), a cobertura de plástico reduz a demanda evaporativa atmosférica, especialmente em razão da atenuação da radiação e da diminuição da velocidade do vento, considerados como fatores mais importantes na demanda evaporativa atmosférica.

2.3 Manejo de irrigação

A demanda por recursos hídricos no meio agrícola, em razão da incorporação de novas áreas ao processo produtivo, tanto no Brasil como em qualquer outra parte do mundo, tem aumentado as preocupações quanto ao uso racional de água (Coelho; Or, 1999).

No que diz respeito à agricultura irrigada, a água não é utilizada com a eficiência esperada. A baixa eficiência é observada não apenas na sua condução e distribuição pelos sistemas, mas também no manejo da irrigação (Christofidis, 2006). Diante disso, há necessidade de maiores esforços para que o aproveitamento desse recurso natural seja mais eficiente.

Dentre os sistemas de irrigação existentes destacam-se a irrigação por aspersão convencional, autopropelido, pivô-central e irrigação por gotejamento. É importante destacar que não existe um método melhor que o outro em relação à fisiologia da planta, porém eles diferem na sua adaptabilidade em relação às condições locais de solo, topografia, clima, cultura, qualidade de água, fatores econômicos e determinadas influências externas e agronômicas (Oliveira et al., 2010). Cada sistema apresenta suas vantagens e desvantagens, porém o mais indicado para o ambiente protegido é o sistema de gotejamento.

Independentemente do sistema de irrigação utilizado, é imprescindível manejar adequadamente a irrigação para racionalizar o uso de todos os fatores envolvidos no processo produtivo tendo em vista obter melhor retorno do capital empregado (Frizzone; Andrade Júnior, 2005).

De acordo com Souza et al. (2006), para que o manejo da irrigação seja realizado de forma satisfatória é preciso não somente ter meios que auxiliem na determinação do momento de irrigar e da quantidade de água a ser aplicada, mas também conhecer a resposta das culturas a esses procedimentos.

Normalmente o excesso ou déficit hídrico, duas condições que caracterizam a baixa eficiência do uso da água em sistemas de agricultura irrigada, são limitantes à obtenção de produtividades elevadas e produtos de boa qualidade (Pires et al., 2007).

Uma baixa eficiência no manejo da irrigação incorre em prejuízos relativos a gastos excessivos com a fertilização do solo, devido à lixiviação de nutrientes e à baixa disponibilidade destes à planta; prejuízos com energia, bombeando água desnecessariamente; com salinização do solo e outras complicações resultantes (Costa et al., 2002; Faria et al., 2002).

Apesar de o manejo da irrigação ser um fator de grande importância para os que desejam obter sucesso na atividade agrícola, este deve ser associado a outras práticas agrícolas (preparo do solo, adubação e calagem, uso de sementes

melhoradas, espaçamento, densidade de plantio, controle das pragas e doenças) para que a eficiência do uso da água seja maximizada (Sousa et al., 2005), pois isoladamente este não traz resultados.

O manejo de irrigação pode ser realizado com base no monitoramento do potencial de água do solo e na evapotranspiração de referência obtida pelo método de Penman-Monteith, modificado pela FAO ou pelo tanque “Classe A”, entre outros. Para Blainski et al. (2009) o monitoramento com base no potencial de água no solo é o mais difundido e de maior simplicidade operacional, embora apresente desvantagens assim como os demais métodos.

Lopes et al. (2004), avaliando o efeito do manejo de irrigação pelo monitoramento do potencial de água no solo e pelo método do tanque “Classe A”, no consumo de água pelas plantas e na produtividade de grãos da cultura do feijoeiro, concluíram que houve uma economia de água em torno de 15% quando foi utilizado o manejo com base no potencial de água do solo, sem afetar a produtividade dos grãos. Esses resultados reforçam as afirmativas de outros autores (Oliveira et al., 1999; Phene; Howell, 1984;), de que o manejo de irrigação com base na umidade do solo demonstra ser mais eficiente quando comparado aos demais métodos.

A medida do potencial matricial tem sido objeto de pesquisa na busca pelo estabelecimento do manejo de irrigação em cultivo de alface (Andrade Júnior; Klar, 2003; Maggi et al., 2006; Santos; Pereira, 2004), cenoura (Silva; Vieira; Carrijo, 1982), pimentão (Santana et al., 2004), feijão (Figueiredo et al., 1998; Guerra; Silva; Rodrigues, 2000; Hostalácio; Válio, 1984), trigo (Guerra, 1995); sorgo (Cogo; Guerra, 1978), algodão (Oliveira; Campos; Oliveira, 1999), melão (BRAGA et al., 2006), morango (Pires et al., 2007), maracujá (Carvalho et al., 2010), entre outros.

O total de água necessária para suprir as necessidades da cultura durante o seu ciclo deve ser distribuído de forma a atender a exigência hídrica

diferencial das plantas em cada fase fenológica. Esta cresce desde a embebição da semente, que requer valores muito baixos, até o ponto de máxima área foliar onde se tem o máximo da evapotranspiração (Larcher, 2000).

Esse diferencial na exigência hídrica das culturas está relacionado ao período crítico das plantas ao déficit hídrico. Segundo Larcher (2000), o período crítico de certo fator para a planta (temperatura, precipitação, umidade etc.) é um intervalo durante o qual ela apresenta máxima suscetibilidade. Conforme Silva et al. (2009), durante os períodos críticos para umidade do solo, as deficiências de água diminuem o rendimento econômico mais do que em outros períodos.

Assim, ao se definir o período crítico das culturas ao déficit hídrico, além de melhorar a eficiência da água utilizada na irrigação, pode-se reduzir os custos de produção pelo menor gasto com água, energia e mão-de-obra utilizada para manutenção do sistema de irrigação (Frizzone, 2007).

Em função disso, diversos estudos têm sido realizados a fim de definir o manejo de irrigação para as respectivas fases fenológicas das culturas, dentre os quais destacam-se as pesquisas realizadas por Abreu et al. (1980), Bilibio et al. (2010a), Guerra, Silva e Rodrigues (1995), Marouelli et al. (1991), Marouelli, Silva e Moretti (2002, 2003), Sá et al. (2005) e Stone et al. (1979).

2.4 Potencial matricial

A água do solo pode ser caracterizada por um estado de energia, o qual é determinado em função das diferentes forças que atuam sobre ela (Libardi, 2005). Segundo Hillel (2004), a física clássica reconhece como as duas principais, a cinética e a potencial. Ainda segundo esse autor, como o movimento de água no solo é muito lento, a contribuição da energia cinética é insignificante. Por outro lado, como a água se move seguindo um gradiente de energia criado pela ação de certas forças relacionadas ao solo, a energia

potencial passa a ser a principal. Assim, a este estado de energia dá-se o nome de potencial da água no solo (Reichardt e Timm, 2004).

Jury e Horton (2004), afirmam que o potencial da água no solo é frequentemente determinado por meio da soma de seus componentes parciais (potencial gravitacional, potencial matricial, potencial de pressão e potencial osmótico). Entretanto, para Pires (2002) o potencial matricial tem sido, em termos práticos, o único a ser considerado no manejo da irrigação, quando este é feito com base no controle da umidade do solo.

Prevedello (1996) relata que quanto menor o potencial matricial (mais negativo) adotado para definir o momento de irrigação, menos frequentes são as reposições de água no solo para a cultura, e vice versa. Para Klar (1984) isso ocorre em virtude das irrigações serem realizadas quando o solo apresenta maior esgotamento da água disponível, o que torna maior o período entre as irrigações.

Stone et al. (1988), ao estudarem os efeitos de três níveis de potencial matricial (-12,5 kPa, -25 kPa e -75 kPa) sobre o crescimento do feijoeiro, verificaram que há considerável decréscimo no crescimento com a redução do potencial matricial. À medida que a irrigação era feita com potencial matricial mais baixo diminuíram o índice e a duração da área foliar, o rendimento e a taxa de produção de matéria seca, a taxa de crescimento relativo e a taxa assimilatória líquida. Segundo esses autores, a redução na produção de matéria seca deveu-se quase exclusivamente ao índice de área foliar já que o estresse hídrico ao reduzir a turgescência, reduz a expansão celular, o que por sua vez reduz a expansão do caule e da folha.

Tem sido observado em resultados de pesquisas que, em geral, a produtividade das culturas aumenta quando as irrigações são realizadas a valores maiores de potencial matricial (próximo da capacidade de campo), ou seja, irrigações mais frequentes (Andrade Júnior; Klar, 2003; Figuerêdo et al., 2008; Santos; Pereira, 2004).

Em estudos de manejo da irrigação com base no potencial matricial Santana et al. (2004a) verificaram em um experimento com cultivo de pimentão, com reinício de irrigação a -10, -30, -50 e -60 kPa, que as melhores médias de produtividade foram alcançadas com o tratamento cuja reposição de água era feita quando a umidade do solo atingia -10 kPa, que indica potencial matricial maior.

Por outro lado, Sá et al. (2005) concluíram que o maior rendimento de tomate foi obtido irrigando-se as plantas quando o potencial matricial atingia valores próximos a -80 kPa; enquanto as irrigações realizadas nos potenciais matriciais de -15, -30, -50, -120 e -170 kPa reduziram o rendimento.

Como se pode perceber, nem sempre as maiores produtividades são obtidas com irrigações realizadas mais frequentemente. Esses resultados demonstraram claramente que o manejo de irrigação não pode ser generalizado.

2.5 Análise econômica

Tendo em vista a queda de produção do feijão-de-metro em condições de campo, ocasionado pela elevada precipitação (Pimentel, 1985), a interrupção de sua oferta para o mercado consumidor durante os períodos menos favoráveis para o plantio e de sua importância social e econômica é possível que o cultivo dessa hortaliça, irrigada e em ambiente protegido, possa proporcionar geração de renda aos produtores ao longo de todo o ano, além de promover a estabilidade de oferta da produção para os consumidores. Entretanto, há que se considerar os aspectos econômicos para a recomendação dessa prática de cultivo, pois não se pode sugerir a difusão de práticas agrícolas baseadas apenas nos resultados agronômicos.

A importância de estudos de análise econômica tem-se acentuado nos últimos anos devido à tendência de um maior crescimento do preço dos insumos

em relação aos produtos. Daí a necessidade de os agricultores utilizarem tais insumos eficientemente para minimizarem os custos variáveis por unidade produzida (Frizzone; Andrade Júnior, 2005).

A participação da irrigação na composição dos custos de produção é um dado importante. Além disso, a análise econômica é fundamental no processo de tomada de decisão pela adoção ou não do cultivo do feijão-de-metro em ambiente protegido (Frizzone; Andrade Júnior, 2005).

A avaliação econômica da irrigação frequentemente envolve a quantificação da produtividade em resposta ao total de água aplicada. A caracterização da resposta da cultura à aplicação de água tem sido amplamente conhecida como Função de Produção Água-Cultura (Sousa; Bernardo; Carvalho, 1999). O emprego das funções de produção nesses estudos justifica-se pela necessidade de encontrar um indicador de caráter agroeconômico sem a necessidade de se recorrer a métodos complexos e de difícil operacionalidade (Frizzone; Andrade Júnior, 2005).

Tais funções são relações empíricas, obtidas mediante análise de regressão entre a produtividade (variável dependente) e a lâmina de água aplicada (variável independente), segundo um determinado modelo (Ferguson, 1998).

A escolha do modelo que representa a função de resposta das plantas ao manejo de irrigação deve ser feita com base na sua capacidade de representar melhor os dados experimentais, facilidade de ajustamento do modelo aos dados e na interpretação dos resultados (Noronha, 1984).

O modelo que descreve as funções de produção água-cultura, obtido experimentalmente, pode indicar retornos constantes com o incremento das lâminas de água aplicadas. Isso significa que haverá produtividade constante quando as lâminas de água aplicadas resultarem em aumentos iguais na produtividade obtida. Assim, a relação entre a aplicação de água e a

produtividade será linear. Quando isso ocorre não se consegue determinar a combinação ótima econômica entre os fatores variáveis e os fatores fixos utilizados no processo produtivo (Almeida et al., 2004).

Azevedo et al. (2005), estudando o rendimento da pimenteira (*Capsicum* spp.) em função do manejo da irrigação conduzido com a aplicação de lâminas crescentes de água (674, 765, 873, 969 e 1.080 mm), verificaram que a representação matemática da função de produção seguiu um modelo linear, o que significa acréscimos constantes na produtividade em função das lâminas de água aplicadas. Esses resultados impossibilitam a análise econômica dentro dos princípios da teoria econômica da produção, conforme salienta Ferguson (1998).

Dentre os modelos matemáticos utilizados nas análises econômicas das pesquisas agrícolas destaca-se o polinomial de segunda ordem, pois na maioria das vezes é o que melhor tem representado a estimativa de produção em estudos de função de produção em agricultura irrigada Almeida et al., 2004; Andrade Júnior et al., 2002; Bilibio et al., 2010b; Carvalho et al., 2011; Frizzone; Ollita; Pereira, 1987; Monteiro et al., 2006; Oliveira et al., 2011; Santana et al., 2009; Vilas Boas et al., 2008).

Encontram-se na literatura científica nacional estudos de análise econômica para um grande número de culturas de interesse agrícola que identificam, utilizando as funções de resposta das culturas à aplicação de água, o nível de água a ser utilizado no manejo da irrigação e a produtividade que poderá proporcionar o melhor retorno econômico ao se utilizar a irrigação para a cultura de interesse (Carvalho et al., 2011; Oliveira et al., 2011; Santana et al., 2009).

Contudo, a adoção do manejo de irrigação recomendado apenas com base na indicação da lâmina ótima econômica, estimada a partir das funções de produção obtidas experimentalmente, não dá ao produtor ideia do retorno financeiro a ser obtido pela decisão do investimento nessa atividade agrícola.

Para Queiroz et al. (1996) o emprego da irrigação pode se tornar inviável economicamente, mesmo com a aplicação da lâmina ótima econômica, se não forem levados em conta os custos de produção durante a análise econômica.

Portanto, há necessidade de incluir nessas pesquisas alguns indicadores de viabilidade econômica a partir dos quais se pode prever o nível de retorno financeiro ao capital a ser empregado, contribuindo assim para uma melhor análise para tomada de decisão pelo produtor rural.

Vários pesquisadores (Aredes et al., 2009; Cecílio Filho et al., 2008; Marques; Coelho, 2003; Pavinato et al., 2008; Pimentel et al., 2007; Ponciano; Souza; Golynski, 2006; Souza et al., 2009) utilizaram indicadores de viabilidade econômica que permitiram aferir a probabilidade de sucesso ou insucesso na adoção de sistemas de produção em atividades agrícolas, dentre os quais se destacam o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR) e a relação Benefício/Custo (B/C).

Para que o cultivo do feijão-de-metro irrigado, em ambiente protegido, seja economicamente viável é necessário que os benefícios econômicos gerados pela adoção dessa técnica de cultivo sejam positivos e superiores aos custos, ou seja, que o benefício monetário gerado pela produção seja maior que a elevação no custo de produção ocasionada pela implantação e operacionalização do sistema de irrigação (Frizzone e Andrade Júnior, 2005).

REFERÊNCIAS

ABREU, T. A. S. et al. Análise da produção de cebola sob diferentes regimes de irrigação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 15, n. 2, p. 233-236, 1980.

ALMEIDA, F. T. et al. Análise econômica baseada em funções de resposta da produtividade versus lâminas de água para o mamoeiro no norte fluminense. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 675-683, 2004.

ANDRADE JÚNIOR, A. S. et al. Níveis de irrigação na cultura do feijão caupi. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 1, p. 17-20, 2002.

ANDRADE JÚNIOR, A. S.; KLAR, A. E. Produtividade de alface em função do potencial matricial de água no solo e níveis de irrigação. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 14, n. 1, p. 27-31, 2003.

ARAÚJO, J. S. et al. Características de frutos de pimentão cultivado em ambiente protegido sob doses de nitrogênio via fertirrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 2, p. 152-157, 2009.

AREDES, A. F. et al. Análise econômica da irrigação na cultura do maracujá. **Revista de Economia da UEG**, Anápolis, v. 5, n. 1, p. 66-86, 2009.

AZEVEDO, B. M. de et al. Rendimento da pimenteira em função de lâminas de irrigação. **Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 36, n. 3, p. 268-273, 2005.

BILIBIO, C. et al. Desenvolvimento vegetativo e produtivo da berinjela submetida a diferentes tensões de água no solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 7, p. 730-735, 2010a.

BILIBIO, C. et al. Função de produção da berinjela irrigada em ambiente protegido. **Irriga**, Botucatu, v. 15, n. 1, p. 10-22, 2010b.

BLAINSKI, E. et al. Intervalo hídrico ótimo num nitossolo vermelho distroférico irrigado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 33, n. 2, p. 273-281, 2009.

BRAGA, M. B. et al. Orientação geográfica de estufas de polietileno e potenciais de água no solo no cultivo do melão rendilhado híbrido 'nero'. **Irriga**, Botucatu, v. 11, n. 1, p. 130-138, 2006.

CARDOSO, M. O. **Hortaliças não-convencionais da Amazônia**. Brasília: EMBRAPA-MA, 1997. 152 p.

CARVALHO, J. A. et al. Análise produtiva e econômica do pimentão-vermelho irrigado com diferentes lâminas, cultivado em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 6, p. 569-574, 2011.

CARVALHO, J. A. et al. Desenvolvimento e produtividade do maracujazeiro-amarelo irrigado sob diferentes lâminas de irrigação em ambiente protegido e natural. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 5, p. 862-874, 2010.

CECILIO FILHO, A. B. et al. Viabilidade produtiva e econômica do consórcio entre chicória e rúcula em função da época de plantio. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 26, n. 3, p. 316-320, 2008.

CHRISTOFIDIS, D. A água na produção de alimentos: o papel da academia e da indústria no alcance do desenvolvimento sustentável. **Revista Ciências Exatas**, Taubaté, v. 12, n. 1, p. 37- 46, 2006.

COELHO, E. F.; OR, D. Modelo de distribuição de água e de potencial matricial no solo sob gotejamento com extração de água por raízes. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 2, p. 227-234, 1999.

COGO, N. P.; GUERRA, M. Umidade do solo e rendimento das culturas em experimentos em casa de vegetação: I: sorgo (*Sorghum vulgare*) em solos Vertssol e Latosolo roxo distrófico e podzólico vermelho amarelo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 2, n. 1, p. 10-13, 1978.

COSTA, E. L. et al. Irrigação da cebola. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 23, n. 218, p. 57-66, 2002.

DEWEY, J. **Como pensamos**: como se relaciona o pensamento reflexivo com o processo educativo. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1979. 296 p.

FARIA, R. A. et al. Economia de água e energia em projetos de irrigação suplementar no Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 189-194, 2002.

FARIAS, J. R. B. et al. Efeitos da cobertura plástica sobre a radiação solar. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 1, n. 1, p. 31-36, 1994.

FERGUSON, C. E. **Microeconomia**. 13. ed. Rio de Janeiro: Forense Universitária, 1998. 610 p.

FIGUERÊDO, S. F. et al. Estabelecimento do momento de irrigação com base na tensão da água no solo para a cultura do feijoeiro. **Engenharia Rural**, Piracicaba, v. 9, n. 2, p. 35-49, 1998.

FIGUERÊDO, S. F. et al. Gerenciamento da irrigação do feijoeiro baseado em critérios técnicos e econômico no cerrado. **Irriga**, Botucatu, v. 13, n. 3, p. 378-391, 2008.

FRIZZONE, J. A.; ANDRADE JUNIOR, A. S. de (Ed.). **Planejamento de irrigação**: análise de decisão de investimento. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2005. 626 p.

FRIZZONE, J. A.; OLLITA, A. F. L.; PEREIRA, G. T. Funções de resposta do feijoeiro ao uso de nitrogênio e lâmina de irrigação: 1- região racional. **Irrigação e Tecnologia Moderna**, Brasília, v. 28, n. 1, p. 27-33, 1987.

FRIZZONE, J. A. Planejamento da irrigação com o uso de técnicas de otimização. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 1, n. 1, p. 24-49, 2007.

GUERRA, A. F.; SILVA, D. B. da; RODRIGUES, G. C. Manejo de irrigação e fertilização nitrogenada para o feijoeiro na região dos cerrados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 6, p. 212-218, 2000.

GUERRA, A. F. Tensão de água no solo: efeito sobre a produtividade e qualidade dos grãos de cevada. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 2, p. 245-254, 1995.

HA, T. J. et al. Identification and characterization of Anthocyanins in yard-long beans (*Vigna unguiculata* ssp. *sesquipedalis* L.) by high-performance liquid chromatography with diode array detection and electrospray ionization/mass spectrometry (HPLC-DAD-ESI/MS) analysis. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [S.l.], v. 58, n. 4, p. 2571-2576, 2010.

HELDWEN, A. B. et al. Plastocrono e rendimento de feijão-de-vagem cultivado sob ambiente protegido e no ambiente externo em semeadura tardia no outono. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 4, p. 768-773, 2010.
HILLEL, D. **Introduction to environmental soil physics**. Amsterdam: Elsevier Academic, 2004. 494 p.

HOSTÁLCIO, S.; VÁLIO, I. F. M. Desenvolvimento de plantas de feijão cv. Goiano precoce, em diferentes regimes de irrigação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 19, n. 2, p. 211-218, 1984.

JURY, W.; HORTON, R. **Soil physics**. 6th ed. New Jersey: J. Wiley, 2004. 370 p.

KLAR, A. E. **A água no sistema solo-planta-atmosfera**. São Paulo: Nobel, 1984. 408 p.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima Artes e Textos, 2000. 531 p.

LIBARDI, P. L. **Dinâmica da água no solo**. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2005. 327 p.

LOPES, A. S. et al. Manejo da irrigação (tensiometria e balanço hídrico climatológico) para a cultura do feijoeiro em sistemas de cultivo direto e convencional. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 89-100, 2004.

MAGGI, M. F. et al. Produção de variedades de alface sob diferentes potenciais de água no solo em ambiente protegido. **Irriga**, Botucatu, v. 11, n. 3, p. 415-427, 2006.

MAROUELLI, W. A. et al. Desenvolvimento e qualidade de ervilha sob diferentes tensões de água no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 26, n. 7, p. 1041-1047, 1991.

MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C.; MORETTI, C. L. Desenvolvimento de plantas, produção e qualidade de bulbos de alho sob condições de deficiência de água no solo. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 3, p. 470-473, 2002.

MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C.; MORETTI, C. L. Resposta do tomateiro para processamento a tensões de água no solo, sob irrigação por gotejamento. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 23, n. 1, p. 1-8, 2003.

MARQUES, P. A. A.; COELHO, C. R. D. Estudo da viabilidade econômica da irrigação da pupunheira (*Bactris Gasipaes* H.B.K.) para Ilha Solteira - SP, Brasil. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 2, p. 291-297, 2003.

MARTINS, S. R. Desafios da plasticultura brasileira: limites socioeconômicos e tecnológicos frente às novas e crescentes demandas. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 14, n. 1, p. 133-138, 1996.

MARTINS, S. R.; GONZALEZ, J. F. Evapotranspiração e respostas fisiológicas do feijão-vagem em substrato em estufa com sistema de ventilação/calefação. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 3, n. 1, p. 31-37, 1995.

MARY, W. et al. Avaliação de estrutura de bambu como elemento construtivo para casa de vegetação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p. 100-109, 2007.

MONTEIRO, R. O. C. et al. Função de resposta do meloeiro a diferentes lâminas de irrigação e doses de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 24, n. 4, p. 455-459, 2006.

NASCIMENTO, M. N. et al. Alterações bioquímicas de plantas e morfológicas de gemas de cafeeiro associadas a eventos do florescimento em resposta a elementos meteorológicos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 5, p. 1300-1307, 2008.

NORONHA, J. F. Teoria da produção aplicada à análise econômica de experimentos. In: CONTINI, E. et al. **Planejamento da propriedade agrícola: modelos de decisão**. Brasília: EMBRAPA, 1984. p. 23-65.

OFORI, K.; KLOGO, P. Y. Optimum time for harvesting yardlong bean (*Vigna sesquipedalis*) for high yield and quality of pods and seeds. **Journal of Agriculture e Social Sciences**, [S.l.], v. 1, n. 2, p. 86-88, 2005.

OLIVEIRA, C. A. S. Determinação da tensão de água em solo agrícola usando um sensor de dissipação de calor. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 8, p. 1417-1425, 1999.

OLIVEIRA, E. C. et al. Viabilidade técnica e econômica da produção de ervilha (*Pisum sativum* L.) cultivada sob diferentes lâminas de irrigação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 2, p. 324-333, 2011.

OLIVEIRA, E. L. de et al. Manejo e viabilidade econômica da irrigação por gotejamento na cultura do cafeeiro acaiaá considerando seis safras. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 5, p. 887-896, 2010.

OLIVEIRA, F. A. de; CAMPOS, T. G. S.; OLIVEIRA, B. C. Efeito de tensões de água no solo sobre o rendimento do algodoeiro herbáceo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 10, p. 1905-1911, 1999.

PARIZI, A. R. C. et al. Níveis de irrigação na cultura do Kalanchoe cultivado em ambiente protegido. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 4, p. 854-861, 2010.

PAVINATO, P. S. et al. Nitrogênio e potássio em milho irrigado: análise técnica e econômica da fertilização. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 2, p. 358-364, 2008.

PHENE, C. J.; HOWELL, T. A. Soil sensor control of high-frequency irrigation systems. **Transactions of the ASAE**, Michigan, v. 27, n. 2, p. 392-396, 1984.

PIMENTEL, A. A. M. P. **Olericultura no trópico úmido**: hortaliças na Amazônia. São Paulo: Agronômica Ceres, 1985. 322 p.

PIMENTEL, L. D. et al. Estudo de viabilidade econômica na cultura da Noz-macadâmia no Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 29, n. 3, p. 500-507, 2007.

PIRES, R. C. M. et al. Necessidades hídricas das culturas e manejo da irrigação. In: PIRES, R. C. M.; MIRANDA, J. H. (Ed.). **Irrigação**. Piracicaba: FUNEP, 2002. p. 121-194. (Série Engenharia Agrícola, 1).

PIRES, R. C. M. et al. Produção do morangueiro em diferentes níveis de água, cobertura do solo e ambiente de cultivo. **Irriga**, Botucatu, v. 12, n. 3, p. 338-353, 2007.

PONCIANO, N. J.; SOUZA, P. M.; GOLYNSKI, A. Avaliação econômica da produção de abacaxi (*Ananas cosmosus* L.) cultivar perola na região Norte Fluminense. **Caatinga**, Mossoró, v. 19, n. 1, p. 82-91, 2006.

PREVEDELLO, C. L. **Física do solo com problemas resolvidos**. Curitiba: Sociedade Autônoma de Estudos Avançados em física do Solo, 1996. 446 p.

QUEIROZ, J. E. et al. Estratégias ótimas de irrigação do feijoeiro: terra como fator limitante da produção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 1, p. 55-61, 1996.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. Barueri: Manole, 2004. 478 p.

REIS, L. S.; SOUZA, J. L. de; AZEVEDO, C A. V. de. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo do tomate caqui cultivado em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 13, n. 3, p. 289-296, 2009.

RESMI, R.; GOPALAKRISHNAN, T. R. Effect of plant growth regulators on the performance of Yard Long Bean (*Vigna unguiculata* var. *sesquipedalis* (L.) Verdc.). **Journal of Tropical Agriculture**, [S.l.], v. 42, n. 1, p. 55-57, 2004.
ROMANINI, C. E. B. et al. Desenvolvimento e simulação de um sistema avançado de controle ambiental em cultivo protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 11, p. 1194-1201, 2010.

SÁ, N. S. A. de et al. Comportamento da cultura do tomateiro sob diferentes tensões de água no solo em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 3, p. 341-347, 2005.

SANTANA, M. J. et al. Produção do pimentão (*Capsicum annuum* L.) irrigado sob diferentes tensões de água no solo e doses de cálcio. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 6, p. 1385-1391, 2004.

SANTANA, M. J. et al. Viabilidade técnica e econômica da aplicação de água na cultura do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 2, p. 532-538, 2009.

SANTOS, S. R.; PEREIRA, G. M. Comportamento da alface tipo americana sob diferentes tensões da água no solo, em ambiente protegido. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 569-577, 2004.

SGANZERLA, E. **Nova agricultura**: a fascinante arte de cultivar com os plásticos. 6. ed. Guaíba: Agropecuária, 1997. 342 p.

SILVA, E. A. da et al. Influência de déficits hídricos controlados na uniformização do florescimento e produção do cafeeiro em três diferentes condições edafoclimáticas do Estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 2, p. 493-501, 2009.

SILVA, G. S. Galhas em caule de feijão-de-metro causadas por *Meloydogine incógnita*. **Nematologia Brasileira**, Piracicaba, v. 27, n. 2, p. 227-228, 2003.

SILVA, W. L. C.; VIEIRA, J. V.; CARRIJO, O. A. Efeitos de diferentes tensões de umidade do solo sobre a cultura de cenoura em fase de desenvolvimento ativo do sistema radicular. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 17, n. 2, p. 211-214, 1982.

SOUSA, E. F.; BERNARDO, S.; CARVALHO, J. A. Função de produção da cana-de-açúcar em relação à água para três variedades, em Campos dos Goytacazes, RJ. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 19, n. 1, p. 28-42, 1999.

SOUSA, V. F. de et al. Eficiência do uso da água pelo maracujazeiro amarelo sob diferentes níveis de irrigação e doses de potássio. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 3, p. 302-306, 2005.

SOUSA, V. F. et al. Umidade do solo na zona radicular do maracujazeiro cultivado sob irrigação localizada. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 2, p. 365-373, 2006.

SOUZA, O. P. de et al. Qualidade do fruto e produtividade do abacaxizeiro em diferentes densidades de plantio e lâminas de irrigação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 5, p. 471-477, 2009.

STONE, L. F. et al. Efeitos da supressão de água em diferentes fases do crescimento na produção do arroz irrigado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 14, n. 2, p. 105-109, 1979.

STONE, L. F. et al. Efeitos da tensão da água do solo sobre a produtividade e crescimento do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 34, n. 2, p. 227-234, 1988.

UNITED STATES AGENCY FOR INTERNATIONAL DEVELOPMENT. **Bora (yard long bean) postharvest care and market preparation**. [S.l.], 2004. 17 p. il. color. (Technical Bulletin, 20). Disponível em: <http://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PNACY836.pdf>. Acesso em: 20 set. 2007.

VILAS BOAS, R. C. et al. Avaliação técnica e econômica da produção de duas cultivares de alface tipo crespa em função de lâminas de irrigação. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 2, p. 525-531, 2008.

SEGUNDA PARTE – ARTIGOS

ARTIGO 1

Manejo de irrigação para o feijão-de-metro, nas fases vegetativa e produtiva, em ambiente protegido

**Preparado de acordo com as normas da Revista Brasileira de Engenharia
Agrícola e Ambiental (versão preliminar)**

Resumo: O desenvolvimento e produção das plantas estão relacionados a fatores genéticos, os quais são afetados pelo manejo de cultivo. O manejo adequado da irrigação é uma prática agrícola que requer informações para cada cultura explorada; em particular nas fases fenológicas do ciclo produtivo, pois muitas espécies possuem períodos críticos durante os quais o estresse hídrico causa sérias reduções na produção. Este trabalho teve como objetivo avaliar o efeito de cinco níveis de potencial matricial de água no solo sobre o crescimento e produção do feijão-de-metro. O experimento foi conduzido em casa de vegetação, na área experimental pertencente ao Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras (UFLA) - Lavras - MG. O delineamento experimental foi o de blocos casualizados, em esquema fatorial 5x2, com quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos de cinco potenciais matriciais de água no solo como indicativos do momento de irrigar (-15, -35, -55, -75 e -95 kPa), em duas fases fenológicas (vegetativa e produtiva), monitorados por sensores instalados a 0,15 m de profundidade. O sistema de irrigação utilizado foi por gotejamento. Os resultados permitiram concluir que a fase mais sensível ao déficit hídrico foi a produtiva, e que a irrigação realizada no potencial matricial em torno de -15 kPa induziu melhor resposta da cultura quanto ao desenvolvimento, produção e qualidade das vagens.

Palavras-chave: *Vigna unguiculata* spp. *sesquipedalis*, Potencial matricial, crescimento, produção, matéria seca

Schedulling irrigation for asparagus bean in vegetative stages and productive in greenhouse

Abstract: The development and production of plants is related to genetic factors which are affected by the management of cultivation. Proper management of irrigation water requires knowledge of these procedures for each culture and explored particularly in phenological phases of its production cycle because many species have critical periods during which water stress causes serious reductions in production. This work was to evaluate the effect of five levels of matric potential on growth and yield of bean meters. The experiment was conducted at the Experimental Engineering Department, Federal University of Lavras UFLA - Lavras-MG. The experimental design was randomized blocks in factorial 5x2. The treatments consisted of five matric potentials as indicative of the irrigation schedule -15 -35 -55 -75 -95 kPa and at two phenological stages of vegetative and reproductive monitored by sensors installed at 0 15 m depth. The results showed that irrigation held at matric potential around -15 kPa regardless of growth stage showed a better response to the production of culture and pod length of shoot dry matter of plant height and stem diameter.

Key words: *Vigna unguiculata* spp. *sesquipedalis*, matric Potential, growth, production, dry matter

INTRODUÇÃO

A demanda crescente por hortaliças de qualidade aliada a problemas com escassez de terras cultiváveis próximas a grandes centros consumidores, precipitação excessiva ou insuficiente, racionalização do uso da água, problemas de salinização do solo e fitossanitários, além da globalização de mercado, fazem com que a produção agrícola se torne cada vez mais tecnicizada para ser competitiva e atender ao mercado consumidor.

Devido a estes fatores, tem-se buscado alternativas para assegurar a produção de um grande número de culturas agrícolas de interesse econômico e garantir oferta o ano todo, destacando-se entre elas a irrigação e o cultivo em ambiente protegido.

O manejo da irrigação representa os procedimentos utilizados para se irrigar. Para que esses procedimentos sejam realizados de forma correta é preciso não somente ter meios que auxiliem na determinação do momento de irrigar e da quantidade de água a ser aplicada, mas também conhecer a resposta das culturas aos procedimentos de manejo da irrigação adotados (Frizzone, 2007).

Informações sobre o efeito do manejo da irrigação para as culturas são importantes para: conhecer os períodos críticos durante os quais a deficiência de água causa sérias reduções à produção; determinar o momento de aplicar água de modo a maximizar a eficiência do seu uso, da energia elétrica, do sistema de irrigação; e manter favoráveis as condições de umidade do solo para garantir a produção e o retorno dos investimentos.

Embora pareça óbvio que a produção de uma cultura aumente com a umidade do solo mantida próximo à capacidade de campo durante todo seu ciclo produtivo, essa relação não se dá para todas as culturas ou mesmo fases fenológicas, conforme demonstram pesquisas realizadas com a cultura da cebola (Abreu et al., 1980), ervilha (Marouelli et al., 1991), berinjela (Bilibio et al., 2010) e outras. Os resultados das pesquisas realizadas por esses autores demonstram que recomendações generalistas dos procedimentos de manejo da irrigação para espécies do mesmo grupo agrônomico, como hortaliças, por exemplo, é inadequada tendo em vista as respostas diferenciadas das espécies ao déficit hídrico.

O feijão-de-metro (*Vigna unguiculata* spp. *sesquipedalis* (L.) Verdc.) é uma hortaliça bastante cultivada no mundo. É originário da África Central (Sarutayopha et al., 2007) e teve seu cultivo inicialmente estabelecido no sudeste da Ásia (Ha et al., 2010). No Brasil esta cultura foi introduzida no Nordeste. Posteriormente, disseminou-se por outras regiões do País, principalmente para o Norte e Centro-oeste (Cardoso, 1997). Na região Norte seu consumo é expressivo, principalmente porque substitui a “vagem” em vários pratos (Silva, 2003).

A demanda da região Norte é atendida principalmente por pequenos produtores que têm nesta hortaliça uma significativa fonte de renda. No estado do Amazonas, onde o consumo é amplamente difundido, predominam os plantios realizados por agricultores da área de várzea (Cardoso, 1997).

Apesar de representar mais uma alternativa de renda para os produtores rurais do Amazonas, o feijão-de-metro ainda tem uma produção sazonal, pois tanto o excesso de chuvas como a baixa umidade

do solo são desfavoráveis ao seu cultivo; devido a isso sua oferta não atende à demanda do mercado regional durante todo o ano (Cardoso, 1997).

Diante da importância econômica e a escassez de informações para essa espécie, o trabalho foi realizado com o objetivo obter dados para o manejo da irrigação para a cultura, por meio da avaliação do efeito de cinco níveis de potencial matricial de água no solo sobre o desenvolvimento e produção da cultura.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação, modelo arco, na área experimental pertencente ao Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras (UFLA), em Lavras, Minas Gerais. A área utilizada para o experimento está localizada entre as coordenadas geográficas: 21° 13' 48" de latitude Sul, 44° 58' 36" de longitude Oeste e altitude de 902 m. Durante a condução do experimento a temperatura e a umidade relativa média do ar foram de 27,5° C e 65,5%, respectivamente.

A área do experimento apresenta solo classificado como Latossolo Vermelho Distroférrico (EMBRAPA, 2006). Sua textura é argilosa para a camada de 0 a 30 cm, cujas características físicas e químicas, podem ser vistas na Tabela 1.

Tabela 1. Características físicas e químicas do solo da área do experimento, para a camada de 0 a 30 cm de profundidade*

Análise física									
Areia	Silte	Argila	Textura	ρ_g	ρ_p	θ_{cc}	θ_{pm}		
(dag kg ⁻¹)				Argilosa	(g cm ⁻³)		%		
12,1	15,9	72,0		1,01	2,64	0,42	0,27		
Análise química									
pH	MO	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	V	m	B	Zn
(H ₂ O)	(g kg ⁻¹)	(mg dm ⁻³)		(cmol _c dm ⁻³)		- % -		(mg dm ⁻³)	
5,8	2,3	12,9	225	4,2	1,1	71,1	0,0	1,3	16,4

V = Índice de saturação por bases, m = Índice de saturação por alumínio

* Análises realizadas no Laboratório de Física e Fertilidade do Solo do DCS/UFLA

A curva característica de retenção da água do solo foi obtida experimentalmente. Os valores obtidos foram ajustados ao modelo de Van Genuchten (1980). Com o auxílio do programa computacional SWRC 3.0 (Soil Water Retention Curve), desenvolvido por Dourado

Neto et al. (2000), obteve-se a equação 1, com coeficiente de ajuste de 0,97:

$$\theta = 0,253 + \frac{0,364}{\left[1 + (0,2697|\psi|)^{2,0818}\right]^{0,5195}} \quad (1)$$

em que:

θ - umidade do solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);

ψ - potencial de água no solo (kPa).

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com quatro repetições. Os tratamentos, dispostos num arranjo fatorial 5x2, resultaram na combinação de cinco níveis de potencial matricial (-15, -35, -55, -75 e -95 kPa), em duas fases de desenvolvimento da cultura (vegetativa e produtiva). Cada unidade experimental consistiu de um canteiro com uma linha de plantio de dois metros de comprimento e densidade de seis plantas por metro. Como úteis foram consideradas as 10 plantas centrais.

A fase vegetativa correspondeu ao período entre a emergência e a época em que 50% das flores das plantas do tratamento -15 kPa se encontravam abertas (50 dias após a emergência, DAE) e a produtiva entre o início da antese até o final da colheita (82 DAE), quando as irrigações foram paralisadas.

Os canteiros foram delimitados internamente por um filme de polietileno preto (com espessura de 0,03 mm), com o objetivo de impedir a movimentação de água entre eles e não interferir nos tratamentos. Os canteiros foram construídos com 2,0 m de comprimento, 0,40 m de largura e 0,30 m de profundidade num total de 240 dm^3 , espaçados de 0,40 m no sentido longitudinal e de 0,60 m no sentido transversal. O solo

utilizado nos canteiros foi seco ao ar, destorroado em peneira com 4 mm de malha, homogeneizado e levado de volta ao canteiro.

As adubações de plantio e de cobertura foram realizadas de acordo com a análise de fertilidade do solo e as recomendações para a cultura do feijão vagem (Carrijo et al, 1999). Foram utilizados 150 kg ha^{-1} de N e 280 kg ha^{-1} de P_2O_5 . A adubação de plantio foi feita durante o preparo do solo, adicionando-se todo o conteúdo de P_2O_5 . Parte da adubação com N foi feita no dia da semeadura (30%), e o restante (70%) foi dividido em duas aplicações, realizadas aos 25 e 40 DAE. As fontes de nutrientes utilizadas foram ureia e superfosfato triplo.

A cultivar utilizada foi a “semente marron”. Foram semeadas 36 sementes por canteiro, distribuídas em 12 sulcos de plantio a 1,0 cm de profundidade (1/10/2009). A germinação das sementes ocorreu em 05/10/2009 (quando 100% das plântulas haviam emergido), data em que se iniciou a diferenciação dos tratamentos. Três dias após a emergência (08/10/2009) foi feito o desbaste deixando-se 12 plantas (conduzidas no sistema de espaldeira, com o último fio de arame a 1,8 m de altura em relação ao solo). Para garantir a germinação das sementes aplicou-se um total de 75 mm de água em todos os tratamentos, parcelados em três irrigações de 25 mm, em intervalos de um dia.

A irrigação foi realizada por gotejamento, utilizando-se em cada canteiro seis gotejadores, autocompensantes, espaçados de 0,33 m, com vazão de 4 L h^{-1} e pressão de serviço de 100 kPa. A uniformidade média de aplicação de água foi de 98,8%, obtida logo após a montagem do sistema de irrigação.

O manejo da irrigação foi realizado com base no valor médio de leitura do potencial matricial observado nos sensores instalados em três unidades experimentais de cada tratamento (um por canteiro). Para monitorar os tratamentos com potencial matricial igual ou superior a -75 kPa utilizou-se tensiômetros, e sensores de matriz granular (Granular Matrix Sensor-GMS, Watermark[®]) no tratamento de -95 kPa. As leituras foram realizadas diariamente (as 9, 12, 15 e 17 horas) por meio de um tensiômetro digital com sensibilidade de 0,1 kPa e leitor digital do GMS.

No momento de cada irrigação, os conteúdos volumétricos de água associados às medidas de potencial matricial (na profundidade de 0,15 m) foram utilizados para calcular a lâmina de irrigação a ser aplicada em cada tratamento, visando elevar a umidade do solo à capacidade de campo (Tabela 1) até a profundidade de 0,30 m.

A colheita das vagens iniciou 57 DAE prolongando até 82 DAE, sendo a mesma realizada 12 dias após a antese. Esse critério foi baseado na observação de mudança de tonalidade na cor das vagens (quando estas passavam do verde escuro intenso para um verde claro brilhante), considerado o ponto ideal para colheita. Para padronizar tal procedimento, diariamente, pela manhã, as flores que se encontravam abertas foram identificadas com fios de coloração diferente.

Os efeitos dos tratamentos foram avaliados sobre o diâmetro do colo, altura da parte aérea, massa seca de folhas, massa seca de ramos, massa seca total da parte aérea, massa fresca das vagens, comprimento das vagens, número de vagens por planta e produção da cultura.

O diâmetro foi medido a 1 cm de altura em relação ao solo, utilizando-se um paquímetro digital; e a altura, do solo até a inserção da última folha

do ramo principal, medida com uma trena metálica. Após tomadas as medidas as folhas foram separadas dos ramos e as plantas, cortadas rente ao solo. Ambos, folhas e ramos foram secos em estufa com circulação forçada de ar a 70° C, até obtenção de massa constante, para determinação da massa seca de folhas, massa seca de ramos e pelo somatório da massa seca de folhas e de ramos, a massa seca total da parte aérea. A altura das plantas foi obtida 50 DAE e o diâmetro do colo e a matéria seca das plantas, 82 DAE. Todas as características de desenvolvimento e produção foram obtidas das 10 plantas centrais de cada canteiro.

Os dados coletados foram submetidos à análise de variância, análise de regressão e teste de Tukey para a comparação de médias. Na análise de regressão foram testados os modelos linear e polinomial de 2° grau. As equações de regressão foram escolhidas com base na significância dos coeficientes de regressão, a 1% e 5% de probabilidade, pelo teste F, e no maior valor do coeficiente de determinação R^2 . Os testes estatísticos foram realizados com o auxílio do programa estatístico SISVAR versão 5.0 (Ferreira, 2008).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observa-se na Tabela 2, que as lâminas aplicadas e o número de irrigações aumentaram com o aumento dos potenciais matriciais (solo com água mais facilmente disponível), o que era esperado. De acordo com Taiz e Zeiger (2009), as plantas cultivadas em solo com água mais facilmente disponível apresentam maior desenvolvimento, área foliar e transpiração e, conseqüentemente, exigem irrigações mais frequentes e maior volume de água para repor o que foi utilizado para o metabolismo e também “cedido” para a atmosfera.

Tabela 2. Lâmina de água aplicada e número de irrigações realizadas no plantio e em cada fase fenológica das plantas de feijão-de-metro sob diferentes níveis de potencial matricial

PM (kPa)	-15		-35		-55		-75		-95	
	L (mm)	N	L (mm)	N	L (mm)	N	L (mm)	N	L (mm)	N
Plantio	75,0	3	75,0	3	75,0	3	75,0	3	75,0	3
FV	141,5	15	128,7	11	116,5	9	76,0	3	27,3	2
FR	150,9	16	145,2	12	126,9	11	66,4	5	54,0	4

PM= potencial matricial; FV= fase vegetativa; FR= fase produtiva; L= Lâmina de água; N= número de irrigações

Na análise de variância (Tabela 3) observa-se efeito significativo do potencial matricial (PM), das fases fenológicas (F) e da interação entre estes fatores para as variáveis diâmetro do colo (D), massa seca de folhas (MSF), massa seca de ramos (MSR) e massa seca da parte aérea (MSPA) das plantas de feijão-de-metro, não sendo encontrado efeito significativo para altura ($p > 0,05$). O comportamento de crescimento do feijão-de-metro em altura está compatível com o descrito por Oliveira (2009), que não verificou efeito significativo para a altura de plantas de pepino com a

redução do potencial matricial (-15, -30, -60 e -120 kPa) na fase vegetativa. Está coerente também com o obtido por Sá et al. (2004) para o tomateiro, irrigados com níveis decrescentes de potencial matricial (-15, -30, -50, -70, -120 e -170 kPa).

Tabela 3. Resumo da análise variância relativo ao diâmetro do colo (D), altura, massa seca de folhas (MSF), massa seca de ramos (MSR) e massa seca total da parte aérea (MSPA) das plantas de feijão-de-metro sob diferentes níveis de potencial matricial (PM) e fases fenológicas (F)

Fontes de variação	GL	Quadrado médio				
		Diâmetro	Altura	MSF	MSR	MSPA
PM	4	3,60*	2030,16ns	5538,15*	3098,20*	174,63*
F	1	0,33*	1834,15ns	2468,83*	17351,39*	6860,47*
PM x F	4	0,19*	472,40ns	304,92*	3018,79*	1869,41*
Bloco	3	0,08*	187,70ns	100,38*	1606,90*	1345,65*
Resíduo	27	0,07	0,09	55,73	6378,13	517,82
CV (%)		3,59	12,4	11,62	10,87	11,08

*, e ns – Significativo a 5% e não significativo, respectivamente.

Como pode ser observado na Figura 1 as plantas que cresceram em solo mais úmido (-15 kPa) na fase vegetativa apresentaram maior diâmetro de colo, massa seca de folhas, massa seca de ramos e matéria seca da parte aérea que aquelas que se desenvolveram em solo mais seco (-35, -55, -75 e -95 kPa). Entretanto, sob essas mesmas condições de cultivo na fase produtiva as plantas apresentaram comportamento diferenciado para a massa seca de ramos em comparação às demais variáveis, pois mesmo cultivada em solo mais seco nessa fase o valor médio da massa seca de ramos permaneceu aproximadamente constante.

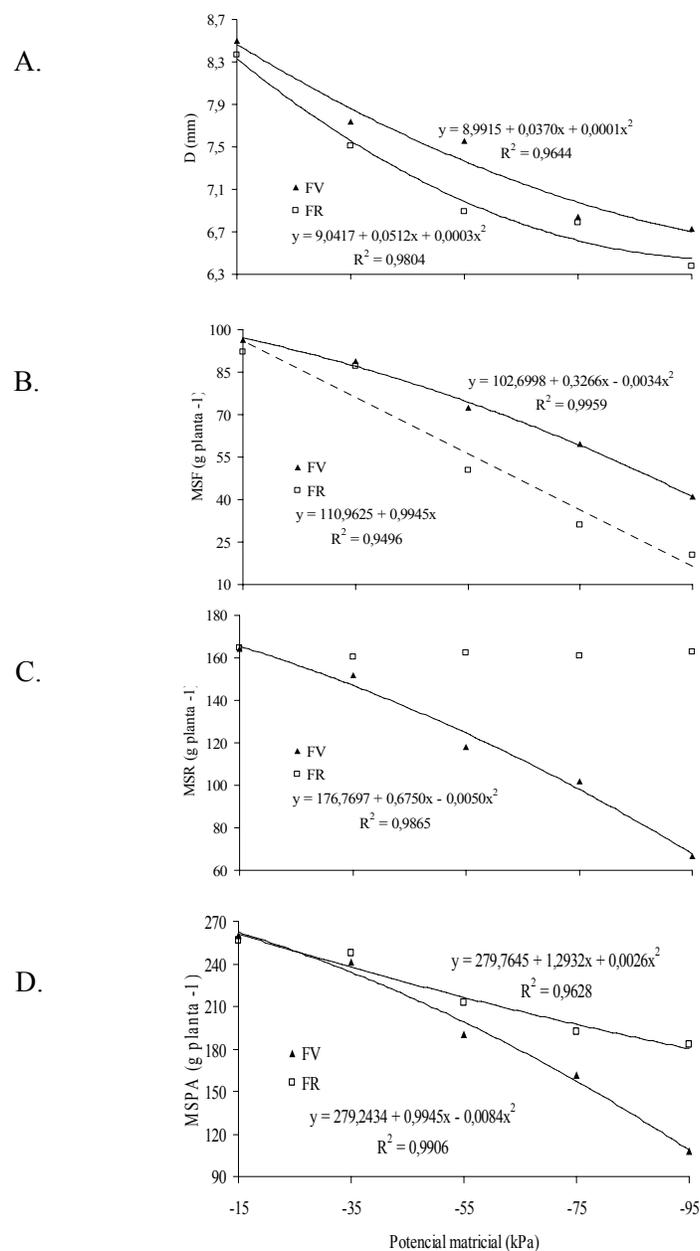


Figura 1. Representação gráfica do diâmetro do colo (A), massa seca de folhas (B), massa seca de ramos (C) e massa seca da parte aérea (D) das plantas de feijão-de-metro, em função do potencial matricial nas duas fases fenológicas

Uma possível explicação para esse comportamento é o fato da maior parte dos ramos terem se desenvolvido ainda durante a fase vegetativa, quando as plantas eram irrigadas no maior potencial matricial (-15 kPa); e como os ramos não sofrem abscisão sob condições ambientais desfavoráveis, ao contrário do que ocorre com as folhas (Taiz e Zeiger, 2009), era de se esperar que a massa seca de ramos não fosse reduzida sob déficit hídrico na fase produtiva.

As equações de regressão ajustadas indicam superioridade das plantas cultivadas sob regime de irrigação no maior potencial matricial (-15 kPa). Esses resultados evidenciam que irrigações realizadas sob menores potenciais matriciais (-35, -55, -75 e -95 kPa) promovem inibição no crescimento e desenvolvimento, conforme foi observado por diversos pesquisadores (Santos e Pereira, 2004; Farias et al., 2005; Macedo et al., 2010).

A tendência de redução de diâmetro, produção de massa seca de folhas, massa seca de ramos e de matéria seca da parte aérea à medida que reduz os potenciais matriciais (Figura 1), pode ser atribuída à dificuldade que as plantas de feijão-de-metro tiveram em absorver água, pois numa situação de menor potencial matricial a água fica retida mais fortemente à superfície dos coloides; assim, as plantas precisam gastar mais energia para adquirir água para uso em seus processos fisiológicos vitais e isso afeta negativamente as características de crescimento.

Os resultados obtidos nesta pesquisa concordam com aqueles obtidos por Marouelli et al. (2003a), que constataram diminuição na produção de massa seca da parte aérea de plantas de alho quando as irrigações na fase vegetativa e produtiva eram realizadas a potenciais matriciais entre -20 e -160 kPa. O mesmo foi observado por Marouelli et al. (2003b) para o tomateiro irrigado na fase produtiva potenciais matriciais entre -15 a -70 kPa. Esses autores atribuíram

tais resultados as adaptações das plantas ao déficit hídrico na fase vegetativa, como maior crescimento de raízes, menor índice de área foliar e maior espessura da cutícula da folha. As diferenças observadas para a resposta dessas espécies de plantas devem estar relacionadas aos níveis de potencial matricial empregados e à diferente sensibilidade de cada espécie ao déficit hídrico na fase fenológica do seu ciclo, reforçando a afirmativa de que cada espécie cultivada deve receber manejo de irrigação diferenciado, e conforme as suas necessidades.

Na Tabela 4 são mostrados os resultados dos testes de médias para diâmetro do colo (D), massa seca de folhas (MSF), massa seca de ramos (MSR) e massa da parte aérea (MSPA) das plantas de feijão-de-metro submetidas ao manejo diferenciado de irrigação nas fases vegetativa (FV) e produtiva (FR) da cultura. Observa-se que o diâmetro de colo e a massa seca de folhas das plantas tiveram médias superiores quando as irrigações foram feitas nos níveis mais elevados de potencial matricial na fase vegetativa. Esses resultados indicam que na fase produtiva as plantas foram mais sensíveis à redução dos níveis de umidade do solo em função do manejo diferenciado de irrigação nessa fase fenológica da cultura, pois maiores valores de diâmetro de colo e massa seca de folhas indicam plantas mais robustas vegetativamente e com maior capacidade fotossintética, essencial para a produção vegetal (Pavani et al., 2009).

Tabela 4. Teste de média para diâmetro médio do colo (D), massa seca de folhas (MSF), massa seca de ramos (MSR) e massa seca total da parte aérea (MSPA) do feijão-de-metro sob diferentes níveis de potencial matricial nas fases vegetativa (FV) e produtiva (FR)

Fase	Diâmetro (mm)	MSF (g planta ⁻¹)	MSR (g planta ⁻¹)	MSPA (g planta ⁻¹)
FV	7,47 a	71,73 a	120,64 b	192,29 b
FR	7,19 b	56,27 b	162,20 a	218,48 a

Médias seguidas pela mesma letra na vertical não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Observou-se na Figura 1 que a redução da massa seca de folhas das plantas irrigadas nos potenciais matriciais menores se deu de forma semelhante nas duas fases fenológicas, porém o mecanismo de adaptação utilizado pelas plantas sob estas condições de cultivo foi diferenciado. Enquanto a redução da massa seca de ramos das plantas submetidas ao estresse hídrico na fase vegetativa se deu em função da emissão de menor número de folhas e redução da área das folhas em expansão, na fase produtiva a redução da massa seca de folhas ocorreu devido a queda das folhas já completamente expandidas, conforme foi observado durante a condução do experimento.

Maiores valores de massa seca da parte aérea indicam melhor desenvolvimento das plantas (Pavani et al., (2009). Entretanto, conforme o resultado obtido nesta pesquisa, este parâmetro não foi adequado para caracterizar o crescimento das plantas de feijão-de-metro submetidas ao manejo diferenciado de irrigação. Percebe-se na Tabela 4 que embora as plantas de feijão-de-metro tenham apresentado maior média de matéria seca da parte aérea quando as irrigações foram realizadas à valores mais elevados de potencial matricial na fase produtiva, elas apresentaram menor crescimento em diâmetro, fato esse que reforça esta afirmativa.

Conforme mostrado na Tabela 4, a maior contribuição para a produção de matéria seca da parte aérea, independente da fase em que as plantas foram submetidas ao déficit hídrico, deveu-se à massa seca de ramos, pois sua média foi maior do que a proporcionada pela massa seca de folhas. Contudo, observa-se que a massa seca de folhas foi maior na fase vegetativa (Tabela 4). Isso reforça a afirmativa de que a massa seca de folhas foi quem mais contribuiu para o melhor desempenho das plantas ao admitirmos que plantas com mais massa seca de folhas possuem maior

lâmina foliar e, portanto, maior potencial para sintetizar os metabólitos essenciais ao crescimento, desenvolvimento e produção das culturas (Pavani et al., 2009).

A análise de variância (Tabela 5) indicou efeito significativo do potencial matricial (PM), das fases fenológicas (F) e da interação entre estes fatores para as variáveis número de vagens (NV), massa fresca de vagens (MF), comprimento de vagens (CV) e produção de vagens (PV).

Tabela 5. Resumo da análise de variância relativo ao número de vagens (NV), massa fresca de vagens (MF), comprimento de vagens (CV) e produção de vagens (PV) das plantas de feijão-de-metro sob diferentes níveis de potencial matricial (PM) e fases fenológicas (F)

Fontes de variação	GL	Quadrado médio			
		NV	MF	CV	PV
PM	4	997,70*	2,93*	18,74*	179602,99*
F	1	36,48*	39,20*	132,13*	100761,44*
T x F	4	3,74*	2,55*	11,69*	6032,65*
Bloco	3	0,87*	0,13*	3,33*	873,95*
Resíduo	27	4,26	0,58	2,15	1810,67
CV (%)		4,7	6,7	3,6	8,4

* e ^{ns} – Significativo a 5% e não significativo, respectivamente.

Verifica-se na Figura 2 que houve redução do número de vagens por planta e da produção de vagens à medida que a irrigação era realizada nos valores mais elevados de potencial matricial, independente da fase fenológica. No entanto, para a massa fresca de vagens e o comprimento de vagens somente foi observado esse comportamento quando a diferenciação no manejo da irrigação foi realizada na fase produtiva.

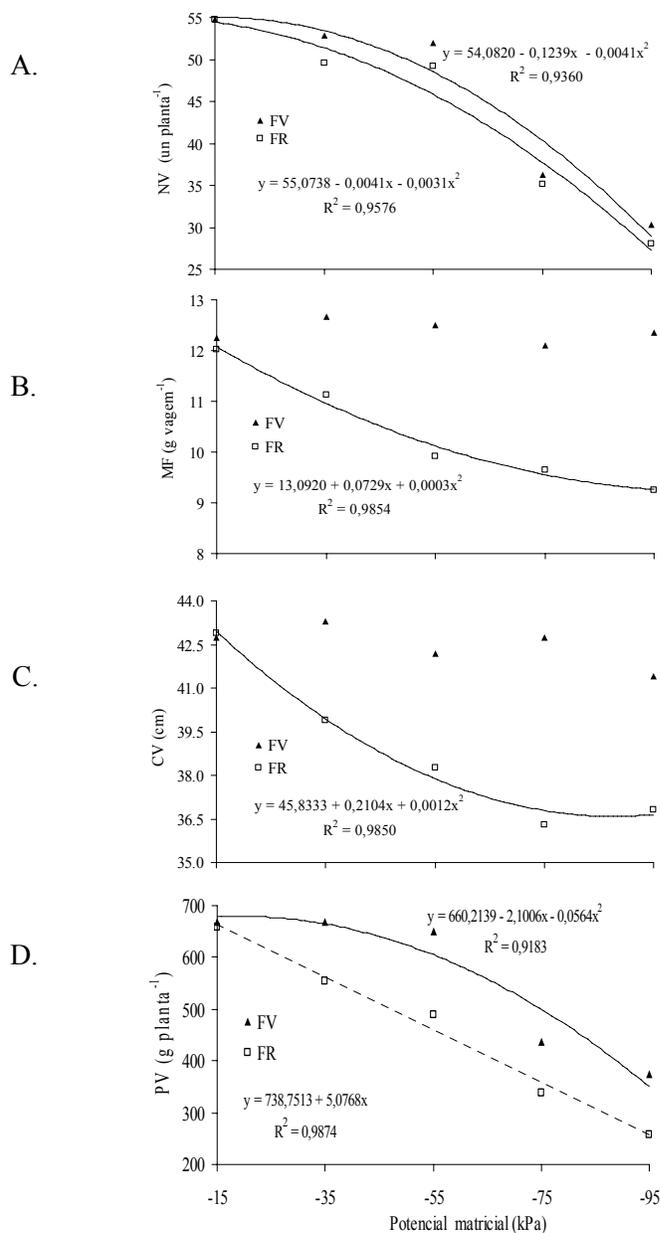


Figura 2. Representação gráfica do número de vagens (A), massa fresca de vagens (B), comprimento de vagens (C) e produção de vagens (D) das plantas de feijão-de-metro em função do potencial matricial nas duas fases fenológicas

A partir desses resultados pode-se inferir que as irrigações realizadas abaixo de -15 kPa na fase vegetativa influenciaram a produção quantitativamente pela redução do número de vagens, ao passo que na fase produtiva além de afetar o quantidade de vagens também afetou a qualidade dos vagens pela redução da massa fresca destas.

Os maiores valores estimados para o número de vagens, massa fresca de vagens, comprimento de vagens e produção de vagens foram obtidos quando a irrigação foi realizada no potencial matricial de -15 kPa (Figura 2). Esse resultado sugere que, para se obter maior produção e vagens de melhor qualidade, a irrigação do feijão-de-metro deve ser realizada com mais frequência e, portanto, estando o solo mais próximo da capacidade de campo.

O efeito do manejo da irrigação na fase produtiva foi mais pronunciado que aquele observado na fase vegetativa (Tabela 6), sugerindo que as irrigações realizadas sob valores maiores de potencial matricial na fase produtiva foram mais prejudicial à produção das plantas de feijão-de-metro.

Tabela 6. Teste de média para número de vagens (NV), massa fresca de vagens (MF), comprimento de vagens (CV) e produção de vagens (PV) de feijão-de-metro sob diferentes níveis de potencial matricial nas fases vegetativa (FV) e produtiva (FR)

Fase	NF (um planta ⁻¹)	MF (g planta ⁻¹)	CF (cm vagem ⁻¹)	RF (g planta ⁻¹)
FV	45,0 a	12,38 a	42,48 a	559,91a
FR	44,0 b	10,39 b	38,84 b	459,53 b

Médias seguidas pela mesma letra na vertical não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey

Nos ecossistemas naturais e cultivados, a atividade fotossintética das plantas resulta na conversão da energia solar em energia química, a qual é essencial para a produção vegetal (Taiz e Zeiger, 2009). Como a produção da planta é

dependente da fotossíntese, pode-se inferir que a superioridade de rendimento obtida pelas plantas irrigadas com déficit hídrico na fase vegetativa foi atingida devido ao seu potencial de produção de fotoassimilados ser maior, pois possivelmente houve maior interceptação de radiação solar pelas folhas em função da maior produção de massa seca de folhas (Tabela 4).

CONCLUSÕES

Nas condições em que o experimento foi realizado, os resultados permitem concluir que:

1. O maior desenvolvimento de planta, produção e qualidade do produto foram observados nos tratamentos irrigados com potencial matricial de -15 kPa, medido a 0,15 m de profundidade.
2. O feijão-de-metro foi mais sensível ao déficit hídrico na fase produtiva, na qual o rendimento e qualidade dos vagens foram menores do que na fase vegetativa.

REFERÊNCIAS

ABREU, T. A. S.; SILVEIRA, P. S.; PEREIRA, G. T. Análise da produção de cebola sob diferentes regimes de irrigação. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 15, n. 2, p. 233-236, 1980.

BILIBIO, C.; CARVALHO, J. A.; MARTINS, M.; REZENDE, F. C.; FREITAS, E. A.; GOMES, L. A. A. Desenvolvimento vegetativo e produtivo da berinjela submetida a diferentes tensões de água no solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 7, p. 730-735, 2010.

CARDOSO, M.O. **Hortaliças não-convencionais da Amazônia**. EMBRAPA-MA. Brasília, 1997. 152 p.

CARRIJO, I. V.; FILGUEIRA, F. A. R.; TRANI, P. E. Feijão-Vagem (trepador). In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V. V. H. (Eds). **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5. ed. Lavras, 1999. p. 170.

DOURADO NETO, D. ; NIELSEN, D. R. ; HOPMANS, J. W. ; REICHARDT, K. ; BACCHI, O. O. S. Software to model soil water retention curves (SWRC, version 2.00). **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, n. 1, p. 191-192, 2000.

EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 2.ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

FARIAS, M.F. de; SAAD, J. C. C. Crescimento e qualidade de crisântemo cultivado em vaso sob ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 3, p. 740-742, 2005.

FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, Lavras, v. 6, p. 36-41, 2008.

FRIZZONE, J. A. Planejamento da irrigação com o uso de técnicas de otimização. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 1, n. 1, p. 24-49, 2007.

HA, T. J. et al. Identification and characterization of anthocyanins in yard-long beans (*Vigna unguiculata* ssp. *sesquipedalis* L.) by high-performance liquid chromatography with diode Array detection and electrospray ionization/mass spectrometry (HPLC-DAD-ESI/MS) analysis. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [S. l.], v. 58, n. 4, p. 2571-2576, 2010.

MACEDO et al. Desempenho de um sistema de irrigação automatizado através da tensão de água no solo. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 4, n. 2, p. 78-81, 2010.

MARQUELLI, W. A. et al. Desenvolvimento e qualidade de ervilha sob diferentes tensões de água no solo. **Pesquisa agropecuária brasileira**, Brasília, v. 26, n. 7, p. 1041-1047, 1991.

MARQUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C.; MORETTI, C. L. Resposta do tomateiro para processamento a tensões de água no solo, sob irrigação por gotejamento. **Engenharia agrícola**, Jaboticabal, v. 23, n. 1, p. 1-8, 2003b.

MARQUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C.; MORETTI, C. L. Desenvolvimento de plantas, produção e qualidade de bulbos de alho sob condições de deficiência de água no solo. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 3, p. 470-473, 2003a.

OLIVEIRA, E. C. Manejo de irrigação da cultura do pepino japonês (*Cucumis sativus* L.) em ambiente protegido. 2009. 88 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

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, n. 3, p. 453-459, 2009.

SÁ, N. S. A. Cultivo do tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mill.) em ambiente protegido sob diferentes tensões de água no solo. 2004. 71 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

SARUTAYOPHA, T.; NUALSRI, C.; SANTIPRACHA, Q.; SAEREEPRARAT, V. Characterization and genetic relatedness among 37 yardlong bean and cowpea accessions based on morphological characters and RAPD analysis. **Sangklanakarin Journal of Science and Technology**, [S. l.], v. 29, n. 3. p. 591-600, 2007.

SANTOS, S. R.; PEREIRA, G. M. Comportamento da alface tipo americana sob diferentes tensões da água no solo, em ambiente protegido. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 569-577, 2004.

SILVA, G. S. Galhas em caule de feijão-de-metro causadas por *Meloydogine* incógnita. **Nematologia Brasileira**, v. 27, n. 2, p. 227-228, 2003.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 819 p.

VAN GENUCHTEN, M. Th. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of insaturated soils. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 41, p. 892-8, 1980.

ARTIGO 2

**ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DA IRRIGAÇÃO DO
FEIJÃO-DE-METRO EM AMBIENTE PROTEGIDO**

**Preparado de acordo com as normas da revista Engenharia Agrícola
(versão preliminar)**

RESUMO: O experimento foi conduzido em Lavras-MG, em ambiente protegido, e teve como objetivo estimar as lâminas de água que maximizam a produtividade e o retorno econômico no cultivo de feijão-de-metro e analisar a viabilidade econômica dessas estratégias de manejo de irrigação. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com cinco tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos constituíram-se de cinco lâminas de irrigação, sendo: 40, 70, 100, 130 e 160 % da lâmina de reposição de água até a capacidade de campo. O sistema de irrigação utilizado foi por gotejamento. As lâminas de água que maximizam a produtividade e o retorno econômico foram obtidas a partir do modelo de regressão ajustado aos dados de produtividade e das relações de preço do produto e do custo da água. A viabilidade econômica foi obtida com base na relação benefício/custo. Concluiu-se que: a produtividade máxima de vagens, de 35.160,6 kg ha⁻¹, foi estimada com a lâmina de água de 434,4 mm e a lâmina de máximo retorno econômico foi estimada em 431,3 mm, com produtividade de 35.156,6 kg ha⁻¹; que é viável economicamente o cultivo do feijão-de-metro; e que a rentabilidade esperada é de R\$ 1,7 para cada real investido.

PALAVRAS-CHAVE: *Vigna unguiculata* spp. *sesquipedalis*, manejo de irrigação, viabilidade econômica, relação benefício/custo.

TECHNICAL AND ECONOMIC ANALYSIS OF THE IRRIGATION OF ASPARAGUS BEAN IN GREENHOUSE

ABSTRACT: The research aimed to estimate the water depths that maximize productivity and economic return on crop of asparagus bean in greenhouse, analyze the economic feasibility of these strategies for management of irrigation water in relation to investments and implementation costs and give an idea of profitability. The experiment was conducted in Lavras-MG in the greenhouse. The experimental design was randomized blocks with five treatments and four replications. The treatments consisted of five depth of irrigation defined by, 40, 70, 100, 130 and 160% of the replacement blade of water up to field capacity. It was concluded that: the maximum yield of pods of $35.160,6 \text{ kg ha}^{-1}$, was estimated from the water depth of 434,4 mm and the depth of maximum economic return was estimated at 431,3 mm, with a yield of $35,156,6 \text{ kg ha}^{-1}$, which is economically viable to cultivate the asparagus bean at growth conditions, and that the expected return is \$ 1.7 for every real invested.

KEYWORDS: *Vigna unguiculata* spp. *sesquipedalis*. Irrigation management. Economic viability. Benefit/cost ratio.

INTRODUÇÃO

O feijão-de-metro (*Vigna unguiculata* spp. *sesquipedalis*, L.) é uma planta anual, trepadeira, com folhas de três lóbulos e grandes flores azul violetas. Produz vagens compridas (0,5 – 1,0 m) colhidas ainda em estágio imaturo (Xu et al., 2011). A cultura é tolerante a altas temperaturas e a solos ácidos (Flyman e Afolayan, 2008).

Essa hortaliça é uma importante fonte de minerais e proteína da dieta alimentar no sudeste da Ásia, oeste da Índia e China (Chen et al., 2007; Flyman e Afolayan, 2008). Na China, a produção anual dessa hortaliça em um ano regular é de aproximadamente 7,25 milhões de toneladas (Zhu et al., 2007).

No Brasil, em especial no Norte, essa espécie assume grande importância social e econômica, pois é cultivada por pequenos agricultores, que produzem tanto para consumo quanto em escala comercial (Cardoso, 1997). Conforme a observação desse autor a produção dessa hortaliça é sazonal, pois, como o excesso de chuva é prejudicial à cultura a produção se concentra, principalmente, no final da

estação chuvosa quando os produtores aproveitam a umidade natural das áreas de várzeas com o início da vazante dos rios.

Diante desse fato, faz-se necessário pesquisar alternativas que, além de possibilitar a estabilidade de oferta dos produtos agrícolas, promovam geração de renda, dentre as quais se destacam a irrigação e o cultivo em ambiente protegido (Maggi et al., 2006; Dermitas e Ayas, 2009).

Como o foco dos agricultores é o lucro, para se tomar uma decisão pela adoção ou não de novas alternativas de cultivo deve-se analisar o resultado financeiro a ser obtido com o investimento dos recursos. Para tanto, torna-se imprescindível obter informações do retorno sobre o capital investido.

As hortaliças são exigentes em água. Contudo, o fornecimento de água em níveis que possam atender a sua demanda para expressar o máximo potencial genético em termos produtivos pode não ser a melhor alternativa de manejo, pois a máxima produtividade biológica da cultura nem sempre assegura o máximo rendimento econômico. Portanto, é preciso definir uma estratégia de manejo de irrigação que atenda às necessidades das plantas e, ao mesmo tempo, assegure o máximo retorno financeiro.

A combinação dos fatores de produção para ajustar o rendimento das culturas irrigadas a níveis economicamente adequados pode ser obtido utilizando-se modelos matemáticos para prever a resposta produtiva das plantas à aplicação de água (Monteiro et al., 2006; Maciel et al., 2007; Oliveira et al., 2011). Esses modelos, conhecidos como “Função de produção água-cultura”, são bastante empregados nos estudos de análise econômica. O emprego desses modelos justifica-se pela necessidade de se encontrar um indicador de caráter agroeconômico sem necessidade de recorrer a métodos complexos e de difícil operacionalidade.

A escolha do modelo deve basear-se na sua capacidade de representar melhor os dados experimentais. Trabalhos de pesquisas realizados com diferentes culturas têm evidenciado que o polinomial de segundo grau normalmente é utilizado para descrever a função de produção em análises econômicas de pesquisa agrícola (Koetz et al., 2008; Vilas Boas et al., 2008; Bilibio et 2010).

Logo, por meio deste estudo buscou-se avaliar, técnica e economicamente, o efeito de diferentes lâminas de irrigação aplicadas por

gotejamento na produtividade da cultura do feijão-de-metro, cultivado em ambiente protegido.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em casa de vegetação, modelo arco, na área experimental pertencente ao Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras (UFLA), em Lavras, Minas Gerais. A área utilizada para o experimento está localizada entre as coordenadas geográficas: 21° 13' 48" de latitude Sul, 44° 58' 36" de longitude Oeste e altitude de 903 m. Durante a condução do experimento a temperatura e a umidade relativa média do ar foram de 27,5° C e 65,5% respectivamente.

A área do experimento apresenta solo classificado como Latossolo Vermelho Distroférrico (EMBRAPA, 2006). Sua textura é argilosa para a camada de 0 a 30 cm, cujas características físicas e químicas podem ser vistas na Tabela 1.

Tabela 1. Características físicas e químicas do solo da área do experimento, para a camada de 0 a 30 cm*. **Physical and chemical characteristics of the soil of the experimental area, for the layer 0 - 30 cm*.**

Análise física									
Areia	Silte	Argila	Textura		ρ_g	ρ_p	θ_{cc}	θ_{pm}	
-----	(dag kg ⁻¹)	-----	Argilosa		--- (g cm ⁻³)	---	--- (%)	---	
10,1	16,9	73,0			1,01	2,64	0,42	0,27	
Análise química									
pH	MO	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	V	m	B	Zn
(H ₂ O)	(g kg ⁻¹)	(mg dm ⁻³)		(cmol _c dm ⁻³)		- % -		(mg dm ⁻³)	
6,0	2,9	29,9	306	3,0	0,7	74,9	0,0	0,8	7,4

V = Índice de saturação por bases, m = Índice de saturação por alumínio.

* Análises realizadas no Laboratório de Física e Fertilidade do Solo do DCS/UFLA

A curva característica de retenção da água do solo foi obtida experimentalmente. Os valores obtidos foram ajustados ao modelo de Van Genuchten (1980). Com o auxílio do programa computacional SWRC 3.0 (Soil Water Retention Curve), desenvolvido por Dourado Neto et al. (2000), obteve-se a equação 1, com coeficiente de ajuste de 0,98:

$$\theta = 0,260 + \frac{0,355}{\left[1 + (0,2079|\psi|)^{2,0279}\right]^{0,5069}} \quad (1)$$

em que,

θ - umidade do solo ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$), e

ψ - potencial matricial (kPa).

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com cinco tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos foram aplicados com base nos diferentes níveis de reposição de água no solo, sendo T_1 , T_2 , T_3 , T_4 e T_5 correspondentes, respectivamente, a 40%, 70%, 100%, 130% e 160% do tratamento controle (T_3 – 100% de reposição da água para elevar a umidade do solo à capacidade de campo). Cada unidade experimental consistiu de um canteiro com uma linha de plantio de dois metros de comprimento e densidade de seis plantas por metro. Como úteis foram consideradas as 10 plantas centrais.

Os canteiros foram delimitados internamente por um filme de polietileno preto (com espessura de 0,03 mm), com o objetivo de impedir a movimentação de água entre eles e não interferir nos tratamentos. Os canteiros foram construídos com 2,0 m de comprimento, 0,40 m de largura e 0,30 m de profundidade num total de 240 dm^3 , espaçados de 0,40 m no sentido longitudinal e de 0,60 m no sentido transversal. O solo

utilizado nos canteiros foi seco ao ar, destorroado em peneira com 4 mm de malha, homogeneizado e levado de volta ao canteiro.

As adubações de plantio e de cobertura foram realizadas de acordo com a análise de fertilidade do solo e as recomendações para a cultura do feijão vagem (Carrijo et al, 1999). Foram utilizados 150 kg ha^{-1} de N e 230 kg ha^{-1} de P_2O_5 . A adubação de plantio foi feita durante o preparo do solo, adicionando-se todo o conteúdo de P_2O_5 . Parte da adubação com N foi feita no dia da semeadura (30%), e o restante (70%) foi dividido em duas aplicações, realizadas aos 25 e 40 DAE. As fontes de nutrientes utilizadas foram ureia e superfosfato triplo.

A cultivar utilizada foi a “semente marron”. Foram semeadas 36 sementes por canteiro, distribuídas em 12 sulcos de plantio a 1,0 cm de profundidade (1/10/2009). A germinação das sementes ocorreu em 05/10/2009 (quando 100% das plântulas haviam emergido), data em que se iniciou a diferenciação dos tratamentos. Três dias após a emergência (08/10/2009) foi feito o desbaste deixando-se 12 plantas (conduzidas no sistema de espaldeira, com o último fio de arame a 1,8 m de altura em relação ao solo). Para garantir a germinação das sementes aplicou-se um

total de 75 mm de água em todos os tratamentos, parcelados em três irrigações de 25 mm, em intervalos de um dia.

A irrigação foi realizada por gotejamento, utilizando-se em cada canteiro seis gotejadores, autocompensantes, espaçados de 0,33 m, com vazão de 4 L h^{-1} e pressão de serviço de 100 kPa. A uniformidade média de aplicação de água foi de 99,1%, obtida logo após a montagem do sistema de irrigação.

O manejo da irrigação foi realizado a partir da leitura do potencial matricial observado em quatro tensiômetros instalados a 0,15 m de profundidade nas unidades experimentais do tratamento de reposição de 100% da lâmina de irrigação (T_3). As leituras foram realizadas diariamente (as 9, 12, 15 e 17 horas) por meio de um tensímetro digital com sensibilidade de 0,1 kPa.

No momento de cada irrigação (quando o potencial matricial médio nos tensiômetros atingia -15 kPa), o conteúdo volumétrico de água associado à medida de potencial matricial foi utilizado para calcular a lâmina de irrigação a ser aplicada no tratamento T_3 (visando elevar a umidade do solo à capacidade de campo, até a profundidade de 0,30 m)

(Tabela 1); nos demais tratamentos as lâminas aplicadas corresponderam aos percentuais relativos a cada tratamento.

A colheita das vagens foi realizada 12 dias após a antese. Esse critério foi baseado na observação de mudança de tonalidade na cor das vagens (quando estas passavam do verde escuro intenso para um verde claro brilhante), considerado o ponto ideal para colheita. Para padronizar tal procedimento, diariamente, pela manhã, as flores que se encontravam abertas foram identificadas com fios de coloração diferente.

Os resultados foram avaliados estatisticamente por análise de regressão polinomial até segundo grau. O modelo de regressão ajustado foi escolhido com base na significância dos coeficientes de regressão ($P < 0,05$) e no valor do coeficiente de determinação R^2 . Os testes estatísticos foram realizados com o auxílio do programa estatístico SISVAR versão 5.0 (Ferreira, 2008).

A função de produção utilizada para a análise econômica foi obtida a partir do modelo de regressão ajustado para os dados de produtividade, representado pela equação 2:

$$Y_e(W_i) = B_0 + B_1 W_i + B_2 W_i^2 \quad (2)$$

em que,

$Y_e(W_i)$ – produtividade estimada, kg ha^{-1} ;

W_i - lâmina de água aplicada, mm, e

B_0 , B_1 e B_2 - coeficientes da regressão, tendo como hipótese que $B_1 > 0$ e $B_2 < 0$.

O custo total de produção (CT, $\text{R\$ ha}^{-1}$) pode ser dividido em custos fixos (CF, $\text{R\$ ha}^{-1}$) e variáveis (CV, $\text{R\$ ha}^{-1}$). Os custos fixos são aqueles que ocorrem independente do número de horas de operação do sistema de irrigação ($\text{R\$ ha}^{-1}$), no prazo de análise considerado. Para obtê-los utilizou-se as equações 3, 4 e 5:

$$CT = CF + CV \quad (3)$$

$$CF = C_p + C_{fi} \quad (4)$$

$$CV = C_w \cdot W_i \quad (5)$$

em que,

C_p - custo de produção da cultura, $\text{R\$ ha}^{-1}$;

C_{fi} - custo fixo da irrigação, $\text{R\$ ha}^{-1}$, e

C_w - custo da água de irrigação, $\text{R\$ mm ha}^{-1}$;

O custo de produção da cultura (C_p), sem considerar os custos da aplicação da lâmina de irrigação, segundo o levantamento de preços no mercado local, em dezembro de 2009, foi de R\$ 17.839,6 ha^{-1} .

Para calcular os custos fixos e variáveis referentes à irrigação considerou-se um sistema de irrigação por gotejamento para atender às seguintes características: área irrigada de 1 ha; altura manométrica total de 50 m; vazão da unidade de bombeamento de 11,8 $\text{m}^3 \text{ha}^{-1} \text{h}^{-1}$; rendimento do conjunto motobomba de 50%; e 4 horas dia^{-1} de funcionamento do sistema de irrigação. Nessas condições, o custo do sistema de irrigação, segundo as informações obtidas em empresas de projeto e comercialização de equipamentos de irrigação, foi de R\$ 9.960,48, incluídas todas as obras necessárias para o funcionamento.

No cálculo do custo fixo da irrigação (C_{fi} , R\$ ha^{-1}) utilizou-se o fator de recuperação de capital (FRC), que fornece um coeficiente que permite, a partir do valor do investimento, calcular o custo fixo referente a este investimento. Desse modo, o C_{fi} foi de R\$ 587,62 $\text{ha}^{-1} \text{ciclo}^{-1}$, o qual foi calculado utilizando-se as equações 6 e 7:

$$C_{fi} = \frac{\text{FRC} \cdot S_i}{n} \quad (6)$$

$$FRC = \frac{j \cdot (1+j)^{vu}}{(1+j)^{vu} - 1} \quad (7)$$

em que,

FRC - fator de recuperação de capital, adimensional;

j - taxa de juros ao ano, 0,12;

vu - vida útil do sistema de irrigação, 10 anos.

S_i - custo do sistema de irrigação; e

n – número de ciclos da cultura por ano, 3.

Pelo modelo atual de gestão de recursos hídricos o custo da água de irrigação pode ser considerado zero. Entretanto, para fins de análise econômica tal custo foi obtido com base no custo de energia elétrica consumida para o bombeamento (C_{EE} , R\$ mm⁻¹) e o custo de manutenção e operação do sistema de irrigação (C_{mo} , R\$ mm⁻¹), sendo os mesmos obtidos em dezembro de 2009. Admitindo-se que as pequenas propriedades rurais enquadram-se na classe de consumo B2 (Bilibio et al., 2010) o custo da água (C_w) foi calculado pelas equações 8, 9 e 10. Assim, C_w foi de R\$2,02 mm⁻¹ ha⁻¹.

$$C_w = C_{EE} + C_{mo} \quad (8)$$

$$C_{EE} = \frac{10.H.0,736.T_e.L_{R100\%}}{270.\eta} \quad (9)$$

$$C_{mo} = \frac{0,02.S_i}{n} \quad (10)$$

em que,

H - altura manométrica, m;

T_e - tarifa de energia elétrica, 0,68 R\$ kWh⁻¹;

L_{R100%} - lâmina de água aplicada no tratamento com reposição de 100%, mm;

η - rendimento do conjunto motobomba, decimal.

A lâmina de água a ser aplicada para se obter a produtividade máxima (W_m) foi calculada derivando o produto físico total (dado pela equação 2) em relação ao fator variável e se igualando à derivada obtida a zero. Neste ponto o produto físico total é máximo. Assim, tem-se:

$$W_m = -\frac{B_1}{2B_2} \quad (11)$$

A estratégia de manejo de irrigação a ser adotada deve refletir em maximização do retorno econômico (lucro). Este ponto é atingido quando se iguala a derivada de primeira ordem da equação 2 em relação a W à razão entre o custo do fator água (C_w) e o preço do produto (P_y), obtendo-se a equação da lâmina ótima econômica (W*):

$$W^* = W_m + \frac{C_w}{2B_2P_y} \quad (12)$$

em que,

C_w - custo do fator água, R\$ mm⁻¹, e

P_y - preço do produto, R\$ kg⁻¹.

A receita líquida (RL, R\$ ha⁻¹) foi obtida pela diferença entre a receita bruta (RB, R\$ ha⁻¹) e o custo total (CT), conforme a expressão:

$$RL_{wi} = RB - CT \quad (13)$$

$$RB = P_y \cdot W_i \quad (14)$$

A análise da viabilidade econômica da irrigação do feijão-de-metro foi realizada com base nos benefícios de sua adoção e nos investimentos e custos de sua implementação, utilizando-se o indicador de rentabilidade da relação benefício/custo (B/C). Como critério para a tomada de decisão foi considerado o valor mínimo acima de 1 devendo, portanto, a razão B/C superar este valor para que a atividade seja considerada viável economicamente (Araújo et al., 2011). Este indicador foi quantificado utilizando-se a equação 15.

$$B/C = \frac{RB}{CT} \quad (15)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores totais das lâminas de irrigação aplicadas durante a condução do experimento, nos tratamentos correspondentes aos níveis de reposição de água estão apresentados na Tabela 2. Em todos os tratamentos foi aplicada uma lâmina de 75 mm para garantir a germinação das sementes e estabelecimento das plantas. Posteriormente foi iniciada a diferenciação dos tratamentos de irrigação.

Tabela 2. Lâmina aplicadas na fase inicial (W_{ii}), lâmina aplicada durante o tratamento (W_{it}) e a lâmina total (WT) de irrigação. **Treatments, applied water depth in the initial phase (W_{ii}), applied water depth during treatment (W_{it}) and total depth (WT) irrigation applied during the experiment.**

Lâmina	Tratamentos (%)				
	40	70	100	130	160
W_{ii} (mm)	75	75	75	75	75
W_{it} (mm)	124,8	218,9	312,1	405,7	499,4
WT (mm)	199,8	293,9	387,1	480,7	574,4

Os resultados da análise de variância (Tabela 3) apresentaram efeito significativo ($P < 0,05$) para todas as variáveis analisadas (massa fresca, número de vagens e produção), indicando a dependência dos efeitos dos tratamentos utilizados no experimento. Resultados semelhantes foram

obtidos por Oliveira et al. (2011) cujos resultados foram significativos para o rendimento e número de vagens ao aplicar 50; 75; 100; 125 e 150% de reposição da água consumida pela cultura da ervilha (*Pisum sativum* L.).

Tabela 3. Resumo da análise de variância de regressão dos dados do número (NV), massa fresca (MF) e produção (PD) de vagens de feijão-de-metro em função das lâminas de água aplicadas. **Summary of regression analysis of variance of data on the number (NV), fresh weight (FW) and production (DP) of pods of asparagus bean depending on the depth of water applied.**

Fontes de variação	GL	Quadrado médio		
		NV	MF	PD
RL	1	271,72*	14,53*	100.549,09*
RQ	1	887,32*	0,73*	139.800,04*
Desvios	2	48,41*	0,11*	6.968,09*
Blocos	3	14,85*	0,32*	3.648,35*
Resíduo	12	11,56	0,07	2.093,75*
CV (%)		8,93	2,15	9,93

RL = Regressão linear; RQ = Regressão quadrática;

* = significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; CV = Coeficiente de variação; R^2 = coeficiente de determinação.

Embora seja esperado decréscimo da produtividade das culturas em resposta à crescente aplicação de água, nem sempre se obtém resposta significativa, conforme mostraram os resultados da pesquisa realizada por Koetz et al.(2006). Estes autores não observaram efeito estatístico no

rendimento das plantas de melão em função da irrigação com lâminas de água equivalentes a 50; 75; 100 e 125% da evaporação do tanque Classe “A”. Em contrapartida, Souza et al (2009), trabalhando com a mesma espécie, condições de cultivo e metodologia, verificaram efeito significativo para o rendimento das plantas em função dos níveis de irrigação aplicados (50; 75; 100 e 150% da evaporação do tanque Classe “A”).

Segundo Almeida et al. (2004), a falta de resposta das plantas à aplicação crescente de lâminas de água deve-se à aplicação insuficiente de água, o que de fato fica evidente quando se observa os níveis de reposição empregados por Koetz et al. (2006)b e Souza et al. (2009) e os respectivos resultados obtidos. Isso demonstra claramente que os níveis estabelecidos para os intervalos experimentais são importantes no planejamento das pesquisas.

A análise de regressão aplicada aos dados (número de vagens, massa fresca de vagens e produção em função das lâminas de água aplicadas) indicou que a regressão linear e quadrática podem ser utilizadas para descrever o efeito dos tratamentos para estas variáveis nos intervalos estudados (Tabela 3). No entanto, os coeficientes da regressão

quadrática foram maiores que os da regressão linear, indicando que esse modelo representou melhor o efeito dos tratamentos (Tabela 4).

Tabela 4. Regressão ajustada aos dados de número (NV), massa fresca (MF) e produção (PD) de vagens de feijão-de-metro em função das lâminas de água aplicadas. **Regression fitted to the data number (NV), fresh weight (NF) and production (DP) of pods of asparagus bean depending on the depth of water applied.**

Variáveis	Regressão ajustada	R ²
NV	$y = 26,6497 + 0,0295 * W_i$	0,23
	$y = -35,6210 + 0,3938 * W_i - 0,0005 * W_i^2$	0,94
MF	$y = 0,00650W_i + 9,45449$	0,94
	$y = 7,74159 + 0,01653 * W - 0.00001 * W^2$	0,99
PD	$y = 246.1735 + 0.5541 * W_i$	0,40
	$y = - 533,02 + 5,1135 * W_i - 0,0059 * W_i^2$	0,96

Santana et al. (2009), ao cultivar feijão comum (*Phaseolus Vulgaris* L.) sob cinco níveis de reposição das lâminas da água de irrigação (40; 70; 100; 130 e 160%), também notaram melhor ajuste dos dados de rendimento da cultura ao modelo quadrático.

Observando os resultados apresentados na Tabela 5, verificou-se que o número de vagens e a produção aumentaram até a aplicação da lâmina de 387,10 mm, para, em seguida, diminuir. Já a massa fresca das vagens apresentou tendência de crescimento contínuo em consequência das lâminas de água aplicadas.

Tabela 5. Valores médios de número de vagens (NV), massa fresca (MF) e produção (PD) de vagens de feijão-de-metro em função das lâminas de água aplicadas (Wi). **Mean values for number of pods (NV), fresh weight (NF) and production (DP) of pods of asparagus bean depending on the depth of water applied (Wi).**

Wi (mm)	NV	MF (g)	PD (g planta ⁻¹)
198,8	23,94	10,60	255,18
293,9	39,44	11,30	445,45
387,1	48,65	12,33	599,46
480,7	40,67	12,74	519,30
574,4	36,53	12,93	472,25

Os melhores resultados para o número de vagens, produção e produtividades foram obtidos com a aplicação da lâmina de 387,10 mm (100% de reposição), indicando que a aplicação de lâminas deficitárias (198,8 e 293,9 mm) e excessivas (480,7 e 579,8 mm) foram limitantes ao rendimento das plantas (Tabela 5). Tais resultados confirmam os efeitos negativos do manejo inadequado de irrigação descritos na literatura científica (Santana et al., 2009; Oliveira et al., 2011).

Bilibio et al. (2010) obtiveram resultados semelhantes ao estudar o efeito de lâminas de reposição de água (50, 75, 100, 125 e 150%) no

cultivo de plantas de berinjela (*Solanum melongena* L.), observando que o maior rendimento foi obtido com a reposição integral da água consumida.

Semelhantemente, Koetz et al. (2008)a, testando o efeito de quatro níveis de lâminas de reposição de água (50, 75, 100 e 125%), também observaram maior rendimento do tomateiro (*Solanum lycopersicum* L.) com lâminas de água que mantiveram a umidade do solo próxima à capacidade de campo (100% de reposição). Reposições de água acima e abaixo deste valor resultaram em queda no rendimento.

A obtenção de mais massa fresca das vagens de feijão-de-metro, colhidas nas parcelas cultivadas com lâminas excessivas (480,7 e 579,4 mm), pode ser devido à redução do número de vagens produzidos sob essas condições de cultivo (Tabela 5). Com menor número de vagens nas plantas a taxa de absorção de nutrientes e fotoassimilados pode ter aumentado, o que deve ter contribuído para o ganho de massa fresca.

Embora tenha ocorrido acréscimo na massa fresca das vagens com o aumento das lâminas de água aplicadas, este não foi suficiente para compensar as perdas no rendimento das plantas que produziram menos vagens quando cultivadas sob lâminas excessivas (Tabela 5). Diante desse fato, pode-se inferir que a estratégia de manejo da água de irrigação a ser

adotada pelo produtor, para aumentar a produtividade das plantas de feijão-de-metro, deve priorizar a maximização do número de vagens e não o aumento da massa fresca destas.

Neste trabalho ficou constatada, tanto para custos variáveis como para custos fixos, a existência de custos médios maiores para menores produtividades e menores para maiores produtividades (Tabela 6). Este fato deve-se à maior diluição dos custos entre maiores produtividades, o que reflete na utilização mais racional do emprego dos recursos.

Verifica-se também, pela Tabela 6, que o custo fixo representou em média 95,9% dos custos totais, enquanto o custo variável representou apenas 4,1%. Como se pode notar, a percentagem de participação dos custos fixos é muito grande em relação à participação dos custos variáveis.

Tabela 6. Custo variável médio (CVMe), custo fixo médio (CFMe), custo total médio (CTMe) de produção do feijão-de-metro em função das lâminas de água aplicadas (Wi). **Average variable cost (AVC), average fixed cost (AFC), average total cost (ATC) and net revenue (NR) production asparagus bean depending on the depth of water applied (Wi).**

Wi (mm)	PR (kg ha ⁻¹)	CVMe		CFMe		CTMe (R\$ kg ⁻¹)
		(R\$ kg ⁻¹)	(% CTMe)	(R\$ kg ⁻¹)	(% CTMe)	
198,8	15.310,45	0,0264	2,1	1,2036	97,9	1,2300
293,9	26.727,05	0,0223	3,1	0,6895	96,9	0,7117
387,1	35.967,74	0,0218	4,1	0,5123	95,9	0,5341
480,7	31.157,98	0,0305	5,0	0,5773	95,0	0,6078
574,4	28.335,00	0,0411	5,9	0,6516	94,1	0,6927
Média		0,0284	4,1	0,7269	95,9	0,7553

Considerando-se o preço de venda do feijão-de-metro (R\$0,92 kg⁻¹) e o custo para se produzir 1 kg dessa hortaliça (R\$ 1,23 kg⁻¹), verifica-se que ao conduzir o manejo da irrigação aplicando 198,8 mm de água durante o ciclo da cultura o produtor teria um prejuízo aproximado de R\$ 0,32 kg⁻¹, pois o preço de venda não pagaria o custo de produção. Portanto, seria inviável economicamente produzir sob essa condição de manejo de irrigação.

Com base nos dados de produtividade, obteve-se a função de produção pelo ajustamento de regressão quadrática (equação 15) e a partir desses resultados foram calculadas as quantidades máximas e ótimas dos fatores.

$$Y_e = -31.980 + 306,8W_i - 0,353W_i^2 \quad R^2 = 0,96 \quad (15)$$

O termo quadrático da variável W_i foi negativo, indicando que a condição necessária para que Y_e tenha um máximo relativo no ponto W_m foi satisfeita. O valor obtido para a segunda derivada da função foi negativo (-0,353), satisfazendo a condição suficiente para se determinar o ponto de máximo retorno econômico (W^*).

A partir da equação de regressão ajustada (equação 15), a produtividade máxima (W_m) poderá ser atingida aplicando-se 437,46mm de água. A correspondente produtividade estimada será de 34.633,2 kg ha⁻¹. Por outro lado, obtém-se a lâmina ótima econômica (W^*) com 434,92 mm. Com este valor, a produtividade estimada foi de 34.629,8 kg ha⁻¹. Verifica-se que a lâmina W_m e W^* são semelhantes, fato também observado para a cultura do tomate (Koetz et al.,2008), alface (Silva et al.,2008; Vilas Boas et al., 2008), feijão (Santana et al. ,2009), berinjela (Bilibio et al., 2010) e ervilha (Oliveira et al., 2011). Tal fato deve-se possivelmente ao elevado valor econômico dessas culturas, o que torna maiores os lucros com a aplicação de lâminas de água de forma a manter a umidade do solo próxima à capacidade de campo.

Como se pode perceber, a economia de água pela aplicação da lâmina que maximiza o retorno econômico (W^*) é de $3,1 \text{ mm ha}^{-1}$, e a vantagem financeira de $3,2 \text{ R\$ ha}^{-1}$ (Tabela 7), portanto, as diferenças são pequenas e irrelevantes para cobrir os custos adicionais ($6,3 \text{ R\$ ha}^{-1}$) ao se adotar a lâmina para se obter a máxima produtividade (W_m). Assim, pode-se inferir que o máximo retorno econômico poderá ser obtido adotando-se um manejo de irrigação que mantenha a umidade do solo próxima à capacidade de campo.

A pequena diferença observada entre a lâmina de água com que se obtém o melhor retorno econômico (W^*) e a produtividade máxima (W_m) deve-se à relação entre o custo para aplicar água (C_w) e o preço do produto (P_y), pois W^* depende dessa relação (equação 12). Portanto, sempre que houver alterações no preço do produto (P_y), pago ao produtor, ou no custo da água aplicada (C_w), haverá deslocamento da lâmina ótima econômica (W^*).

Tabela 7 Análise de desempenho econômico para as lâminas de água que maximizam a produtividade (W_m) e o retorno econômico (W^*) para o feijão-de-metro. **Assessment of economic performance for the irrigation water that maximize productivity (W_m) and economic return (W^*) for the asparagus bean.**

	W_i (mm)	Y_e (Kg ha ⁻¹)	RB -----	C_t (R\$ ha ⁻¹)	RL -----	B/C
W^*	431,3	35.156,6	31.859,4	19.300,0	12.559,4	1.7
W_m	434,4	35.160,3	31.862,5	19.306,3	12.556,3	1.7

W_i = lâmina aplicada; Y_e = produtividade estimada; RB = receita bruta; C_t = custo total; RL = receita líquida; B/C = relação benefício-custo.

Assim, quanto menor a relação C_w/P_y , mais a lâmina W^* se aproxima de W_m e, conseqüentemente, menor a economia de água ao se adotar o manejo para aplicar W^* em relação a W_m . Isso mostra que a lâmina ótima econômica vai depender dos preços na época da análise econômica.

Observou-se, na Tabela 7, que o retorno econômico (R\$12.559,4 ha⁻¹) para aplicar a W^* é bastante próximo (R\$ 12.556,3 ha⁻¹) do obtido com a aplicação de W_m , e reforça a hipótese de que a lâmina de máximo retorno econômico (W^*) é semelhante àquela que proporciona produtividade máxima (W_m).

O indicador de rentabilidade (B/C) foi de 1,7 para W^* e W_m (Tabela 7). Esse valor indica que para cada real investido o retorno será de 1,7 reais. O referido indicador demonstra, com base nos critérios de decisão

($B/C > 1,0$), viabilidade econômica do cultivo do feijão-de-metro para essas estratégias de manejo de irrigação.

CONCLUSÕES

Nas condições em que foi realizado o experimento, os resultados permitiram concluir que:

Para se obter máxima produtividade e retorno econômico a irrigação deve ser realizada de forma a manter o solo próximo à capacidade de campo;

É economicamente viável a irrigação da cultura de feijão-de-metro em ambiente protegido, tendo em vista a rentabilidade de R\$1,7 para cada real aplicado no investimento.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F. T. et al. Análise econômica baseada em funções de resposta da produtividade versus lâminas de água para o mamoeiro no norte fluminense. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 675-683, 2004.

ARAÚJO, A. P. B. de; COSTA, R. N. T.; LACERDA, C. F. de; GHEYI, H. R. Análise econômica do processo de recuperação de um solo sódico no Perímetro Irrigado Curu-Pentecoste, CE. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 4, p. 377-382, 2011.

BILIBIO, C.; CARVALHO, J. A.; MARTINS, M.; RESENDE, F. C.; FREITAS, W. A.; GOMES, L. A. A. Função de produção da berinjela irrigada em ambiente protegido. **Irriga**, Botucatu, v. 15, n. 1, p. 10-22, 2010.

CARDOSO, M.O. **Hortaliças não-convencionais da Amazônia**. EMBRAPA-MA. Brasília - DF, 1997. 152 p.

CARRIJO, I. V.; FILGUEIRA, F. A. R.; TRANI, P. E. Feijão-Vagem (trepador). In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ V. V. H. (Eds). **Recomendações para uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**. 5. ed. Lavras, 1999. p. 170.

CHEN, C.; TAO, C.; PENG, H.; DING, Y. Genetic analysis of salt stress responses in asparagus bean (*vigna unguiculata* (L.) ssp. *sesquipedalis* verdc.). **Journal of Heredity**, Hubei, v. 98, n.7, p. 655-665, 2007.

DERMITAS, C.; AYAS, S. Deficit irrigation effects on pepper (*Capsicum annuum* L. Demre) yield in unheated greenhouse condition. **Journal of Food, Agricultural and Environment**, v. 7, n. 3-4, p. 989-1003, 2009.

DOURADO NETO, D. ; NIELSEN, D. R. ; HOPMANS, J. W. ; REICHARDT, K. ; BACCHI, O. O. S. Software to model soil water retention curves (SWRC, version 2.00). **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 57, n. 1, p. 191-192, 2000.

FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, Lavras, v. 6, n. 1, p.36-41, 2008.

FLYMAN, M. V.; AFOLAYAN, A. J. Effect of plant maturity on the mineral content of the leaves of *momordica balsamina* (L). and *Vigna unguiculata* subsp. *sesquipedalis* (L.). **Journal of Food Quality, Fort Hare**, v. 31, n. 1, p. 66-671, 2008.

FRIZZONE, J. A. Planejamento da irrigação com o uso de técnicas de otimização. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v.1, n. 1, p. 24-49, 2007.

KOETZ, M.; MASCA, M. G. C. C.; CARNEIRO, L. C.; RAGAGNIN, V. A.; SENA JUNIOR, D. G.; GOMES FILHO, R.R. Produção de tomate industrial sob irrigação por gotejamento no sudeste de Goiás. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza, v. 2, n. 1, p. 09-15, 2008.

KOETZ, M.; COELHO, G.; CARVALHO, J. A.; SOUZA, R. J. de; SILVA, R. A. da. Produção do meloeiro em ambiente protegido irrigado com diferentes lâminas de água. **Irriga**, Botucatu, v. 11, n. 4, p. 500-506, 2006.

MAGGI, M. F.; KLAR, A. E.; JADOSKI, C. J.; ANDRADE, A. R. S. Produção de variedades de alface sob diferentes potenciais de água no solo. **Irriga**, Botucatu, v. 1, n. 3, p. 415-427, 2006.

MACIEL, J. L.; DANTAS NETO, J.; FERNANDES, P. D. Resposta da goiabeira à lâmina de água e à adubação nitrogenada. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 6, p. 571-577, 2007.

MONTEIRO, Rodrigo Otávio C et al . Função de resposta do meloeiro a diferentes lâminas de irrigação e doses de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 24, n. 4, p. 455-459, 2006.

OLIVEIRA, E. C.; CARVALHO, J. A.; RESENDE, F. C.; FREITAS, W. A. Viabilidade técnica e econômica da produção de ervilha (*Pisum sativum* L.) cultivada sob diferentes lâminas de irrigação. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 31, n. 2, p. 324-333, 2011.

SANTANA, M. J. DE; CARVALHO, J. A.; ANDRADE, M. J. B. DE; GERVÁSIO, G. G.; BRAGA, J. C.; LEPRI, E. B. Viabilidade técnica e econômica da aplicação de água na cultura do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.). **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 33, n. 2, p. 532-538, 2009.

SILVA, P. A. M. et al . Função de resposta da alface americana aos níveis de água e adubação nitrogenada. **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 4, p. 1276-1281, 2008.

SOUSA, Antonio E. C et al . Produtividade do meloeiro sob lâmina de irrigação e adubação potássica. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 2, p. 271-278, 2010.

VAN GENUCHTEN, M. T. A closed form equation for predicting the hydraulic conductivity of insaturated soils. **Soil Science Society of American Journal**, Madison, v. 41, p. 892-8, 1980.

VILAS BOAS, R. C.; CARVALHO, J. A.; GOMES, L. A. A.; SOUZA, A. M. G. de; RODRIGUES, R. C.; SOUZA, K. J. Avaliação técnica e econômica da produção de duas cultivares de alface tipo crespa em função de lâminas de irrigação. **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 2, p. 525-531, 2008.

XU, P.; WU, X.; WANG, B.; LIU, Y.; EHLERS, J. D. A SNP and SSR based genetic map of asparagus bean (*Vigna. unguiculata* ssp. *sesquipedialis*) and comparison with the broader species. **Plos One journal**, Kingdon, v. 6, n. 1, p. 1-8. 2011.

ZHU, Y.; YU, H.; WANG, J.; FANG, W.; YUAN, J.; YANG, Z. Heavy metal accumulations of 24 asparagus bean cultivars grown in Soil contaminated with Cd alone and with multiple metals (Cd, Pb, and Zn). **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, [S.l.], v. 55, p. 1045 - 1052, 2007.