

**MANEJO DE IRRIGAÇÃO DA CULTURA DO
PEPINO JAPONÊS (*Cucumis sativus* L.) EM
AMBIENTE PROTEGIDO**

EDUARDO CARVALHO OLIVEIRA

2009

EDUARDO CARVALHO OLIVEIRA

**MANEJO DE IRRIGAÇÃO DA CULTURA DO PEPINO JAPONÊS
(*Cucumis sativus* L.) EM AMBIENTE PROTEGIDO**

Dissertação 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 a obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Prof. Dr. Jacinto de Assunção Carvalho

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2009

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

Oliveira, Eduardo Carvalho.

Manejo de irrigação da cultura do pepino japonês (*Cucumis sativus* L.) em ambiente protegido / Eduardo Carvalho Oliveira. –
Lavras : UFLA, 2009.

108 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2009.

Orientador: Jacinto de Assunção Carvalho.

Bibliografia.

1. Manejo de irrigação. 2. Pepino japonês. 3. Ambiente protegido. 4. Estresse hídrico. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 635.6387

EDUARDO CARVALHO OLIVEIRA

**MANEJO DE IRRIGAÇÃO DA CULTURA DO PEPINO JAPONÊS
(*Cucumis sativus* L.) EM AMBIENTE PROTEGIDO**

Dissertação 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 a obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 30 de julho de 2009

Profa. Dra. Fátima Conceição Rezende

UFLA

Profa. Dra. Myriane Stella Scalco

UFLA

Prof. Dr. Jacinto de Assunção Carvalho
UFLA
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL

A Deus, nosso criador e pai de todos.

Aos meus queridos pais: Rômulo Márcio de Oliveira e Maria Augusta Carvalho Oliveira, meus exemplos de vida e dedicação.

À minha tia Zilda de Oliveira, carinhosa e apoiadora do meu saber.

Aos meus padrinhos Nilo (in memoriam) e Juraci, pelo carinho sempre presente.

A minha companheira, Cláudia, pelo amor, carinho e apoio incondicional.

A todos aqueles que, assim como eu, acreditam que os maiores obstáculos da vida encontram-se dentro de nós mesmos, bastando apenas acreditar que tudo é possível quando se quer seguir em frente. E assim, sigo...

DEDICO

Aos meus irmãos:

Romualdo Augusto Carvalho Oliveira

Cristiano Carvalho Oliveira

Às suas esposas e filhos:

Thais Noronha Dias Oliveira

Suelaine Sousa de Sá

Natália Maria Sousa Armond Carvalho

Lucas Eduardo Sousa Armond Carvalho

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras, pela oportunidade concedida para a realização do mestrado em Engenharia Agrícola – Engenharia de Água e Solo, sendo esta minha “casa” durante sete anos.

Ao professor Dr. Jacinto de Assunção Carvalho, pela orientação, acompanhamento, ensinamentos, paciência e amizade, fundamentais para a realização do curso e deste trabalho.

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

À professora Dra. Fátima Conceição Rezende, pelas sugestões e apoio.

À professora Dra. Myriane Stella Scalco, pela participação na banca de defesa.

Ao professor Dr. Luiz Antônio Augusto Gomes, pelos ensinamentos e apoio prestado.

Aos professores do Setor de Água e Solo, pelos ensinamentos transmitidos.

Aos amigos de curso: Arionaldo, Donizete, Gervásio, Gil, Ícaro, Joaquim, Léo, Lucas, Sadjo, Wellington e Willian.

À bolsista de apoio técnico, Elisângela, pela ajuda prestada na condução dos experimentos.

Ao companheiro Edílson, pela ajuda prestada durante os experimentos.

À secretária do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Ana Daniela, pela amizade e informações prestadas durante o curso.

Aos funcionários do Setor de Água e Solo, Oswaldo (Neném) e Gilson, pela ajuda na montagem dos experimentos.

A todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para o meu êxito em mais esta etapa.

SUMÁRIO

RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
2.1 Cultura do pepino.....	3
2.2 Cultivo em ambiente protegido.....	4
2.3 Irrigação.....	6
2.4 Função de produção.....	9
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	12
3.1 Caracterização da área experimental.....	12
3.2 Cultura.....	13
3.3 Solo.....	13
3.3.1 Análises físicas.....	14
3.3.2 Análises químicas.....	16
3.4 Instalação e condução.....	17
3.5 Práticas culturais.....	19
3.5.1 Adubação.....	19
3.5.2 Controle de plantas daninhas.....	20
3.5.3 Controle fitossanitário.....	20
3.5.4 Variáveis meteorológicas.....	20
3.6 Delineamento experimental e tratamentos.....	20
3.6.1 Estudo I.....	20
3.6.1.1 Sistema de irrigação e manejo.....	22
3.6.2 Estudo II.....	24
3.6.2.1 Sistema de irrigação e manejo.....	24
3.6.2.2 Função de produção.....	26
3.7 Parâmetros avaliados nos Estudos I e II.....	30
3.8 Análises estatísticas.....	32

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
4.1 Estudo I.....	33
4.1.1 Condições climáticas dentro da casa de vegetação.....	33
4.1.2 Avaliação do desenvolvimento e produção da cultura – Experimento I (Fase Vegetativa).....	35
4.1.2.1 Diâmetro do caule.....	35
4.1.2.2 Altura das plantas.....	38
4.1.2.3 Número de folhas.....	40
4.1.2.4 Produtividade do pepino japonês.....	45
4.1.2.5 Eficiência do uso da água (EUA).....	49
4.1.3 Avaliação do desenvolvimento e produção da cultura - Experimento II (Fase Reprodutiva).....	50
4.1.3.1 Diâmetro do caule.....	50
4.1.3.2 Altura das plantas.....	53
4.1.3.3 Número de folhas.....	54
4.1.3.4 Produtividade do pepino japonês.....	54
4.1.3.5 Eficiência do uso da água (EUA).....	58
4.2 Estudo II.....	60
4.2.1 Condições climáticas dentro da casa de vegetação.....	60
4.2.2 Evaporação do mini-tanque e lâminas de irrigação	62
4.2.3 Coeficiente “K” da cultura.....	63
4.2.4 Avaliação do desenvolvimento e produção das plantas.....	66
4.2.4.1 Diâmetro do caule.....	66
4.2.4.2 Altura das plantas.....	70
4.2.4.3 Avaliação do número de folhas.....	75
4.2.4.4 Avaliação da produtividade do pepino japonês	79
4.2.4.5 Eficiência do uso da água (EUA).....	85
4.2.5 Análise econômica da lâmina de água	87
5 CONCLUSÕES	93
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	94

RESUMO

OLIVEIRA, Eduardo Carvalho. **Manejo de irrigação da cultura do pepino japonês (*Cucumis sativus* L.) em ambiente protegido**. 2009. 108p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.¹

A cultura do pepino encontra-se entre as dez hortaliças de maior interesse comercial no Brasil, tendo o cultivo do pepino japonês (*Cucumis sativus* L.) em ambiente protegido sido introduzido por produtores da região do cinturão verde da cidade de São Paulo. O cultivo em ambiente protegido é uma tecnologia moderna que auxilia na redução do efeito da sazonalidade sobre a produção, além de proporcionar vários ciclos de produção durante o ano. A irrigação é imprescindível para este sistema de cultivo e, partindo desta informação, foram desenvolvidos dois estudos com a irrigação da cultura do pepino japonês. O primeiro consistiu em um delineamento inteiramente casualizado, envolvendo quatro tensões de água no solo (15, 30, 60 e 120 kPa) como tratamentos e cinco repetições, em duas fases da cultura (vegetativa e reprodutiva), com os objetivos determinar o momento mais adequado para se iniciar a irrigação e avaliar o efeito de diferentes tensões de água no solo nas diferentes fases fenológicas. O segundo estudo, também com delineamento inteiramente casualizado, envolveu cinco níveis de reposição de água no solo (50%, 75%, 100%, 125% e 150%), com seis repetições com o objetivo de avaliar o efeito da aplicação de diferentes lâminas de irrigação sobre a produção da cultura, aliada a uma análise econômica do processo. De acordo com os resultados obtidos, foi possível concluir que: a produção da cultura apresentou comportamento inversamente proporcional à tensão de água no solo, observando menor valor quando para a tensão de 120 kPa, sendo a fase reprodutiva a mais sensível à variação da tensão; melhor eficiência do uso da água foi obtida para a tensão de 15 kPa aplicada durante a fase vegetativa e de 60 kPa aplicada na fase reprodutiva; maior produtividade física foi obtida com aplicação de uma lâmina de 320 mm e a aplicação de uma lâmina de 319,5 mm proporcionou maior rentabilidade econômica.

¹ Comitê orientador: Jacinto de Assunção Carvalho – UFLA (orientador), Fátima Conceição Rezende – UFLA, Luiz Antônio Augusto Gomes – UFLA e Geraldo Magela Pereira – UFLA

ABSTRACT

OLIVEIRA, Eduardo Carvalho. **Irrigation management of japanese cucumber (*Cucumis sativus* L.) culture in greenhouse.** 2009. 108 p. Dissertation (Master's Degree on Agricultural Engineering) – Federal University of Lavras, Lavras, MG.¹

The culture of cucumber is among the ten biggest commercial interest vegetables in Brazil, this japanese cucumber (*Cucumis sativus* L.) culture in greenhouse has been introduced by producers from the green belt region of São Paulo city. The culture in greenhouse is a modern technology which assists in reducing the effect of the seasonality on the production, in addition to provide several cycles of production during the year. Irrigation is essential for this system of culture, thus, through this information, two studies with irrigation of the japanese cucumber culture have been developed. The first one consisted of a completely randomized design (CRD), involving four soil water tensions (15 kPa, 30 kPa, 60 kPa and 120 kPa) as treatments and 5 repetitions, in two phases of the culture (vegetative and reproductive), having as objective to determine the most adequate moment to initiate the irrigation and to assess the effect of different soil water tensions for the different phenological stages; the second study with a completely randomized design as well, involving five levels of water replacement in soil (50%, 75%, 100%, 125% and 150%) with 6 repetitions, objectified to evaluate the effect of the application of different irrigation blades on the culture production, joined to a economic analysis of the process. In accordance with the gotten results, it was possible to conclude that: the production of the culture presented an inversely proportional behavior to the soil water tension, observing lesser value for the tension of 120 kPa, finding the reproductive phase the most sensitive to the variation of the tension; the best efficiency of water use was gotten for the tension of 15 kPa applied during the vegetative phase and 60 kPa applied on the reproductive phase. The highest physical productivity was gotten through the application of a water depth of 320 mm and, the application of a water depth of 319.5 mm provided greatest economic yield.

¹ Guidance Committee: Jacinto de Assunção Carvalho – UFLA (Adviser),
Fátima Conceição Rezende – UFLA, Luiz Antônio Augusto Gomes –
UFLA, Geraldo Magela Pereira – UFLA.

1 INTRODUÇÃO

O cultivo em ambiente protegido surgiu na Europa, pela necessidade de obtenção de ambientes favoráveis ao cultivo de plantas no inverno. Atualmente, com o desenvolvimento tecnológico, é possível controlar não só a temperatura, mas também a umidade, os teores de oxigênio, de gás carbônico e os níveis de fertilizantes (Napoleão, 2005).

Embora com custos de produção maiores em relação à exploração tradicional, o cultivo em ambiente protegido proporciona colheitas na entressafra, quando os preços são maiores.

Na região Sul de Minas, onde há uma predominância da cafeicultura, praticada principalmente por pequenos produtores rurais, o cultivo de olerícolas em ambiente protegido pode representar uma atividade alternativa com a possibilidade de manter um fluxo de caixa contínuo, empregando mão-de-obra familiar ou mesmo gerando empregos, com menores riscos de queda de produção.

Por ser uma técnica com alto custo inicial de implantação, atualmente, o cultivo protegido no Brasil é utilizado somente para culturas de elevado retorno por área de cultivo, como flores, tomate, pimentão, pepino, alface e ervilha, entre outros. Esse custo inicial vem caindo com o uso de materiais alternativos e, em um futuro próximo, a técnica de cultivo protegido será utilizada para as mais diversas culturas.

Muitos problemas têm sido enfrentados pelos produtores nesse sistema de cultivo, no que diz respeito ao controle de pragas, doenças e suas crescentes resistências aos produtos químicos, altos custos e ao manejo inadequado da irrigação.

Um manejo adequado da irrigação implica em eficiência de aplicação e, conseqüentemente, maior economia de água, fertilizantes e energia. Assim

disposto, é sabido que a água é um recurso natural limitado e já não é mais considerada renovável, como outrora. Tem se tornado um bem cada vez mais escasso, tanto devido a problemas de contaminação ou degradação ambiental quanto pelo desperdício em residências, indústrias e na agricultura irrigada.

Os desperdícios de água empregada na agricultura irrigada ocorrem principalmente pela falta de conhecimento dos produtores rurais em relação à demanda de água pelas culturas e o momento de se proceder às irrigações.

A quantidade de água a ser fornecida para as plantas via irrigação, em ambiente protegido, tem sido objeto de pesquisa de vários trabalhos, devido à sua importância econômica e ambiental. Dessa forma, torna-se fundamental o conhecimento de um manejo de irrigação adequado que resulte em maior eficiência do uso da água e aumento da produtividade das culturas agrícolas, de forma a garantir o retorno econômico dos investimentos e reduzir os impactos ambientais decorrentes de sua aplicação.

Este trabalho foi realizado com os objetivos de:

- avaliar o efeito de diferentes tensões de água no solo e lâminas de reposição de água no solo como forma de irrigação, sobre o rendimento da cultura do pepino japonês cultivado em ambiente protegido;
- verificar em que fase fenológica da cultura o déficit hídrico é mais prejudicial à produção;
- ajustar modelos de regressão das características de produção das plantas como variável dependente das tensões de umidade e das lâminas de reposição de água do solo;
- indicar a tensão de umidade no solo ideal para irrigar nos estádios de crescimento e de produção da cultura;
- indicar a lâmina de reposição de água para a cultura que proporcione o melhor retorno econômico.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Cultura do pepino

O pepino (*Cucumis sativus* L.) é originário da Ásia, sendo cultivado na Índia há mais de 3.000 anos. É uma planta que apresenta resposta intermediária entre as condições tropical e temperada, podendo ser cultivada em ambiente protegido e no campo. O fruto pode ser destinado à mesa e à indústria. A Ásia é a maior produtora de pepino no mundo, detendo cerca de 73% da produção mundial, sendo a China, individualmente, responsável por 42%. Na Europa, seu cultivo é basicamente de cultivares ginoicas partenocárpicas e em ambiente protegido, alcançando-se altíssimas produtividades (Fontes, 2005).

A cultura de pepino encontra-se entre as dez hortaliças de maior interesse comercial no Brasil, sendo os estados de Minas Gerais, Bahia, São Paulo, Espírito Santo, Rio de Janeiro e Paraná os maiores produtores. O rendimento do pepino cultivado a campo no Brasil é ainda muito reduzido, estando em 1,6 kg m⁻² para pepino em conserva e de 2,5 a 8,0 kg m⁻² para pepino tipo salada (Silva et al., 1992; Epagri, 1993). Para as condições de cultivo em casa de vegetação, os rendimentos encontram-se entre 15 a 30 kg m⁻² (Alfonso Osorio et al., 1984; Robles, 1985; Martins et al., 1995).

É considerada uma hortaliça de verão, adaptando-se bem às condições climáticas reinantes durante essa época do ano, não tolerando geadas (Blanco et al., 1997). Temperaturas entre 20° e 25°C são favoráveis ao desenvolvimento, à floração e à frutificação da planta. A cultura adapta-se melhor a solos de textura média, leves, embora tolere solos argilosos. A faixa de pH 5,5 a 6,8 é a mais favorável ao desenvolvimento, porém, deve-se proceder à calagem, buscando atingir pH 6,0. A adubação orgânica e a fosfatagem, efetuadas semanas antes da sementeira ou do transplante, favorecem a produtividade. O preparo do solo

consiste em aração, gradagem e sulcamento para plantio (Filgueira, 2000).

A cultura do pepino é dotada de cinco fases distintas: FASE I – fase inicial, do transplantio ao pegamento; FASE II – desenvolvimento vegetativo, do pegamento ao início do florescimento; FASE III – meio do ciclo, do florescimento ao início da formação dos frutos; FASE IV – final do ciclo, do início da formação dos frutos ao início da colheita e FASE V – colheita, do início da colheita ao final do ciclo (Santos, 2002).

O pepino japonês (tipo alongado) tem frutos tipicamente afilados e alongados, com 20-30 cm, de coloração verde-escura e triloculares, com acúleos brancos. O sabor é típico e agradável, sendo os frutos preferidos em mercados exigentes, como o da capital paulista. Caracteristicamente, não há formação de sementes, já que todos os híbridos desse grupo são ginoico-partenocárpicos. A cultura tutorada é conduzida em estufas fechadas, sendo a polinização indesejável por alterar o formato dos frutos. Bons exemplos são os híbridos Yoshinari, Rensei e Flecha (Filgueira, 2000).

2.2 Cultivo em ambiente protegido

O cultivo em ambiente protegido é uma tecnologia moderna de cultivo que apresenta, entre as suas principais características, anular os efeitos negativos das baixas temperaturas, da geada, do vento, do granizo, do excesso de chuva bem como encurtar o ciclo de produção (Sganzerla, 1995). A variação da produção ao longo do tempo deve-se, principalmente, à limitação que o clima de determinadas regiões provoca sobre as culturas, pois sendo o cultivo realizado fora das condições ideais de temperatura e umidade, é provável a ocorrência de uma redução na produtividade da cultura, assim como a ampliação do dano ocasionado por ataque de pragas e doenças. No mesmo sentido, Medeiros et al. (2002) destacam que o cultivo em ambiente protegido é um sistema que permite

obter produtos de melhor qualidade e com maior produtividade, além de favorecer o cultivo ao longo do ano, em regiões que apresentam problemas climáticos.

O uso correto do ambiente protegido possibilita produtividades superiores às observadas em campo. A produtividade dentro do ambiente protegido pode ser de duas a três vezes maior que as observadas no campo e com qualidade superior (Purquerio & Tivelli, 2006). Aumentos de produtividades sob este sistema de cultivo, em relação ao cultivo em campo aberto, têm sido relatados no Brasil, variando de 0,3% a 46,3% (Reis et al., 1991), 48,5% (Reis et al., 1992) e de 55,0% a 79,6% (Oliveira et al., 1995).

O cultivo do pepino japonês em ambiente protegido foi introduzido por produtores cooperados da extinta Cooperativa Agrícola de Cotia – Cooperativa Central (CAC-CC), na região do cinturão verde da cidade de São Paulo (Kumagaia, 1991).

Em ambiente protegido, o pepino apresenta melhor qualidade e melhor produtividade em relação ao produzido em campo aberto. Em função disso, esta cultura passou a ser excelente opção para o cultivo protegido em períodos de menor oferta e na obtenção de preços mais elevados, devido à melhor qualidade dos frutos (Brandão Filho & Callegari, 1999).

Purquerio & Tivelli (2006) comentam, ainda, que, além do controle parcial das condições climáticas, o ambiente protegido permite a realização de cultivos em épocas em que, normalmente, não seriam escolhidas para a produção ao ar livre. Esse sistema também auxilia na redução das necessidades hídricas (irrigação) por meio de uso mais eficiente da água pelas plantas. O conhecimento do consumo de água das plantas cultivadas em ambiente protegido é fundamental para o planejamento e o manejo da água para a agricultura irrigada.

Nas últimas décadas, houve um significativo aumento da área plantada

sob ambiente protegido no Brasil, principalmente para a produção de hortaliças e flores (Maggi et al., 2006), devido às muitas vantagens apresentadas por este sistema de cultivo. Entretanto, maiores produtividades e produtos de melhor qualidade, aliados a um maior retorno financeiro, são obtidos quando todo o processo de produção é realizado de forma racional, maximizando o uso dos insumos.

A irrigação consiste em uma técnica imprescindível em sistemas sob ambiente protegido, entretanto, seu uso tem sido, na maioria das vezes, realizado sem qualquer critério de controle e/ou manejo, acarretando conseqüente prejuízo da produção e diminuição do lucro. Um manejo inadequado pode ocasionar déficit ou excesso hídrico às plantas, aumento no índice de doenças e pragas e, principalmente, em ambientes controlados, baixa qualidade do produto final, além de excessivo consumo de água (Hoffman et al., 1992).

A escassez de técnicos para atuar na área e a deficiência de resultados de pesquisa sobre o comportamento de hortaliças sob cultivo protegido são os motivos que mais limitam os avanços da plasticultura na agricultura nacional (Tessariolli Neto et al., 1997). Assim, há uma crescente demanda de conhecimento a respeito de manejos eficientes, como embasamento para que a plasticultura obtenha produtividade satisfatória, em especial, a horticultura.

2.3 Irrigação

A instabilidade de oferta dos produtos agrícolas, resultante da variação do regime pluvial, contribui para o aumento da demanda por tecnologias que permitam maior estabilidade da produção agrícola (Tibau, 1984). Entre as várias tecnologias que podem ser utilizadas, destacam-se a irrigação (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 1988; Gomes et al., 2007) e o cultivo em ambiente protegido.

Associada às demais práticas agrícolas, a irrigação torna-se um fator de garantia, tanto de estabilidade de oferta dos produtos agrícolas quanto do aumento da produtividade das culturas. Entretanto, essa prática só trará benefícios se feita de forma correta, minimizando os gastos com água, energia, equipamentos e outros elementos que constituem fatores de formação dos custos de produção (Paiva, 2006).

O uso da irrigação, a quantidade de água a aplicar e quando aplicar inserem-se em uma decisão a ser tomada com base no conhecimento das relações água-solo-planta-atmosfera. É necessário conhecer o comportamento de cada cultura em função das diferentes quantidades de água a ela fornecida, a determinação das fases de seu desenvolvimento de maior consumo de água e os períodos críticos, quando a falta ou o excesso provocaria quedas de produção (Bernardo, 1996).

No cultivo em solo, o manejo da irrigação pode ser criteriosamente estabelecido, baseando-se no estado energético da água no solo ou nas plantas, na taxa de evapotranspiração da cultura ou na combinação de dois ou mais deles. A escolha do critério a ser seguido vai depender, principalmente, da disponibilidade de informações relacionadas ao sistema água-solo-planta-clima, do grau de conhecimento do irrigante e de equipamentos para medições (Silva & Marouelli, 1998). Mesmo assim, o emprego somente de sensores de solo, tanto para indicar o momento quanto para a quantidade de água a aplicar, mostra-se como uma alternativa viável, sendo de baixo custo e de relativa praticidade (Figuerêdo, 1998).

Para o adequado manejo da água de irrigação é necessário conhecer, entre outros fatores, a necessidade hídrica e o momento ideal do suprimento de água para a espécie a ser cultivada, nas suas diferentes fases de desenvolvimento (Gomes, 1997).

No Brasil, o manejo da irrigação em olerícolas cultivadas é realizado

empiricamente, sem o controle da umidade, do substrato ou do solo e determinação da evapotranspiração da cultura, resultando, muitas vezes, em insucesso. Para evitar o risco da ocorrência de déficit hídrico, muitos produtores de pimentão e tomate (cultivados em substratos) irrigam várias vezes ao dia. Todavia, irrigações em excesso aumentam os custos de produção, devido ao maior uso de energia e, também, ao desperdício de nutrientes, além de poluir o meio ambiente e reduzir a produção (Carrijo & Marouelli, 2002; Marouelli et al., 2005).

O manejo da irrigação é importante não apenas para suprir as plantas de água, mas também para permitir a absorção dos nutrientes necessários para a otimização da produção (Stanley & Maynard, 1990). Além disso, o manejo de irrigação deve proporcionar condição para a obtenção de produção economicamente viável, visando, inclusive, a maximização do lucro.

Dentre os vários equipamentos existentes no mercado para o manejo da irrigação, destaca-se o tanque Classe A, em virtude do custo relativamente baixo e do fácil manejo. O tanque Classe A tem a vantagem de medir a evaporação de uma superfície de água livre, associada aos efeitos integrados da radiação solar, do vento, da temperatura e da umidade do ar (Bernardo et al., 2005). Um tanque evaporímetro reduzido (minitanque) no interior da casa de vegetação é de grande valia, pois apresenta as vantagens de ser um instrumento de menor custo e de operação mais fácil, além de ocupar reduzido espaço. O minitanque tem a forma circular, construído em chapa galvanizada com 60,5 cm de diâmetro (50% do diâmetro do tanque Classe A), 25,4 cm de profundidade e apoiado sobre estrado de madeira, este com altura de 15 cm acima do solo.

O monitoramento da tensão de água no solo constitui uma técnica fundamental para o manejo da irrigação. Figuerêdo (1998) recomendou o uso de tensiômetro para executar a medida do potencial mátrico do solo, em função da facilidade de aquisição, da simplicidade no manuseio e do baixo custo do

equipamento.

Os tensiômetros são recomendados para a utilização no limite de precisão para medidas inferiores a 75 kPa (Bernardo et al., 2005). Porém, teoricamente, se pode medir até 100 kPa, mas, na prática, acima de 80 kPa, o ar começa a penetrar na cápsula porosa.

O ideal no manejo da irrigação é a combinação de métodos. Na combinação do tensiômetro com o tanque Classe A, o tensiômetro é usado para determinar o momento da irrigação e checar as condições de umidade do solo e o tanque Classe A para determinar a lâmina de água de reposição (Carrijo et al., 1999).

O excesso de irrigação, geralmente, reduz a produtividade e a qualidade da produção, podendo provocar o crescimento excessivo da planta, o retardamento da maturação dos frutos, a lixiviação de nutrientes solúveis (N e K), a queda de flores, maior incidência de doenças de solo e distúrbios fisiológicos, maiores gastos com energia e o desgaste do sistema de irrigação (Carrijo et al., 1999).

2.4 Função de produção

Com auxílio de resultados de experimentos agrícolas, é possível estimar uma função de produção e o seu ponto ótimo de produção. Conhecidos os preços dos insumos e dos produtos, pode-se determinar a quantidade ótima de cada insumo a ser utilizado para que a lucratividade do agricultor seja otimizada (Pádua, 1998).

A produção de uma cultura depende de muitos fatores variáveis. De forma geral, a produção pode expressar-se mediante uma função da forma da Equação 1, denominada função de produção:

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_j, \dots, X_m) \quad (1)$$

em que

Y = produção do cultivo;

X_j = fator variável que afeta a produção.

Estas funções são obtidas mediante uma análise de regressão, entre uma variável dependente e uma ou várias variáveis independentes, segundo um determinado modelo, que pretende representar um sistema de produção.

Vários trabalhos de pesquisa envolvendo irrigação e fertilizantes apontando recomendações genéricas que objetivam a obtenção de produtividades físicas máximas já foram desenvolvidos, porém, sem qualquer preocupação com a economicidade. A utilização da irrigação, com base nestas informações, poderá torná-la inviável do ponto de vista econômico, já que o ótimo econômico, geralmente, não corresponde à máxima produtividade biológica (Oliveira, 1993).

Sob considerações econômicas da irrigação para um determinado sistema de produção, Peri et al. (1979), citados por Frizzone (1986), introduziram o conceito de lâmina ótima econômica, por meio do qual a lâmina a ser aplicada deveria ser determinada em função da máxima receita líquida obtida com uma dada irrigação.

No processo de tomada de decisão sobre o manejo da irrigação, é importante considerar o custo da água. Quando a água se torna fator limitante à produção, a água economizada, irrigando-se com lâminas menores, pode ser utilizada para irrigar uma quantidade adicional de terra, possibilitando um aumento no lucro e que corresponde ao custo de oportunidade da água (Frizzone, 1986).

A produção agrícola tem como fatores complementares na rentabilidade econômica a água e os nutrientes e o uso eficiente desses recursos constitui fator

preponderante para o êxito da agricultura. Um manejo eficiente da irrigação requer informações relacionadas às necessidades de água das culturas e da função de produção das culturas à água (Scalco, 2000).

Dentre os vários modelos que descrevem uma função de produção, o modelo polinomial quadrático, na maioria das vezes, foi o que melhor representou a estimativa de produções agrícolas (Oliveira, 1993; Carvalho, 1995; Pereira, 2005; Vilas Boas, 2006; Santana, 2007).

Considerando-se que o grande número de variáveis que influenciam a produtividade das culturas agrícolas e a complexidade das relações que afetam a quantidade e qualidade do produto, a produtividade pode ser expressa exclusivamente em função da água utilizada pelo cultivo, contando que os demais fatores da produção permaneçam fixos e em nível ótimo. Do mesmo modo, Benami & Ofen (1993), citados por Monteiro (2004), afirmam que, para que uma atividade agrícola irrigada funcione de modo racional, dois aspectos devem ser levados em consideração: o retorno econômico da cultura irrigada e os custos de instalação, manutenção e operação do sistema, sendo a irrigação localizada a apropriada para condições de agricultura intensiva e de alto retorno econômico.

É por meio deste tipo de estudo que se realiza a definição de estratégias ótimas de irrigação, relacionando-se a produção das culturas à quantidade de água aplicada, daí a importância de se estabelecer funções de produção.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização da área experimental

Dois estudos envolvendo irrigação com a cultura do pepino japonês foram conduzidos, simultaneamente, em duas casas de vegetação. O primeiro estudo analisou a interferência do déficit hídrico (tensões de água no solo) no desenvolvimento e na produção da cultura nas fases vegetativa e reprodutiva, sendo executados em uma única casa de vegetação. O segundo estudo, executado em outra casa de vegetação, analisou os mesmos parâmetros do primeiro estudo, porém, submetido a diferentes lâminas de reposição de água no solo.

As casas de vegetação estão situadas na área experimental do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, em Lavras, região sul de Minas Gerais, a 910 metros de altitude e nas coordenadas geográficas 21°14' de latitude sul e 45°00' de longitude oeste de Greenwich (Brasil, 1992).

O clima da região é do grupo Cwa, de acordo com a classificação de Köppen, ou seja, clima temperado suave, chuvoso, com inverno seco (Dantas et al., 2007). A temperatura média anual do ar é de 19,4°C, com média mínima de 14,8°C e média máxima de 26,1°C. A umidade relativa média do ar é de 76,2% e a precipitação e a evaporação média anual são de 1.529,7 e 1.034,3 mm, respectivamente.

As casas de vegetação utilizadas são constituídas de pilares de madeira (eucalipto tratado) e teto tipo arco de material metálico, com 2,5 m de pé-direito, 4,0 m de altura no ponto mais alto, 15 m de comprimento e 6,0 m de largura, cobertas com filme de polietileno de baixa densidade transparente, aditivado antiUV com espessura de 150 micras e as laterais fechadas com tela clarite.

3.2 Cultura

A cultivar utilizada nos experimentos foi a do pepino japonês, variedade Master Green, da empresa Sementes Sakama. As plantas foram obtidas por semeadura em bandejas de 128 células e, após atingirem uma altura média de 5 cm, foram transplantadas nas unidades experimentais (canteiros) de cada experimento (Figura 1).



FIGURA 1 Transplântio das mudas com média de 5 cm de altura.

3.3 Solo

O solo da área experimental foi originalmente classificado como Latossolo Vermelho Distroférrico, segundo a Embrapa (1999).

As plantas foram cultivadas em canteiros erguidos sobre o solo das casas de vegetação. Duas amostras compostas representativas foram coletadas, considerando, como camada, a altura dos canteiros de 0,25 m. As mesmas foram enviadas aos Laboratórios de Física do Solo e de Fertilidade do Solo do Departamento de Ciência do Solo da UFLA, para serem feitas análises físicas e químicas, respectivamente.

3.3.1 Análises físicas

Na Tabela 1 são apresentados os resultados das análises físicas e a classificação textural das amostras dos solos nas duas casas de vegetação (I e II) utilizadas para os estudos I e II, respectivamente.

TABELA 1 Granulometria e classificação textural dos solos utilizados nos estudos.

Identificação	Areia	Silte (%)	Argila	Classe textural
Amostra I	18	21	61	Muito argilosa
Amostra II	12	22	66	Muito argilosa

Fonte: Laboratório de Física do Solo – DCS/UFLA

Amostras de solo homogeneizadas das duas casas de vegetação com estrutura deformada (terra fina seca ao ar) foram colocadas em cilindros de PVC e, depois de saturadas, foram levadas para uma bancada dotada de funil de Haines, para a determinação de pontos de baixa tensão (2, 4, 6, 8 e 10 kPa), bem como para a câmara de pressão de Richards para os pontos de maior tensão (20, 33, 40, 70, 1.000 e 1.500 kPa) sendo, todas as tensões, em valores absolutos.

Utilizando o programa computacional SWRC, desenvolvido por Dourado Neto et al. (1995), foram gerados os parâmetros de ajuste da curva de retenção (Tabela 2), ajustada segundo o modelo proposto por Genuchten (1980), que descreve o comportamento da umidade do solo em função da tensão (potencial matricial).

TABELA 2 Parâmetros de ajuste da curva de retenção ao modelo proposto por Genuchten (1980), com potencial matricial em kPa e teor de água em $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ para ambiente protegido.

Camada (m)	$\theta_r (\text{cm}^3 \text{cm}^{-3})$	$\theta_s (\text{cm}^3 \text{cm}^{-3})$	$\alpha (\text{cm}^{-1})$	m	n
0,00 – 0,25	0,235	0,674	0,2749	0,5067	2,0272

A curva de retenção ajustada pelo modelo de Genuchten (1980) é descrita pela Equação 2:

$$\theta = \theta_r + \left(\frac{\theta_s - \theta_r}{\left[1 + (\alpha|\psi|)^n \right]^m} \right) \quad (2)$$

em que

θ = umidade com base em volume ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$);

θ_r = umidade residual ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$);

θ_s = umidade de saturação ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$);

Ψ = potencial de água no solo (kPa);

α (cm^{-1}), m e n são parâmetros da equação de Genuchten.

A partir dessa equação e dos valores observados, foi gerada a curva de retenção de água no solo para a camada em estudo (Figura 2).

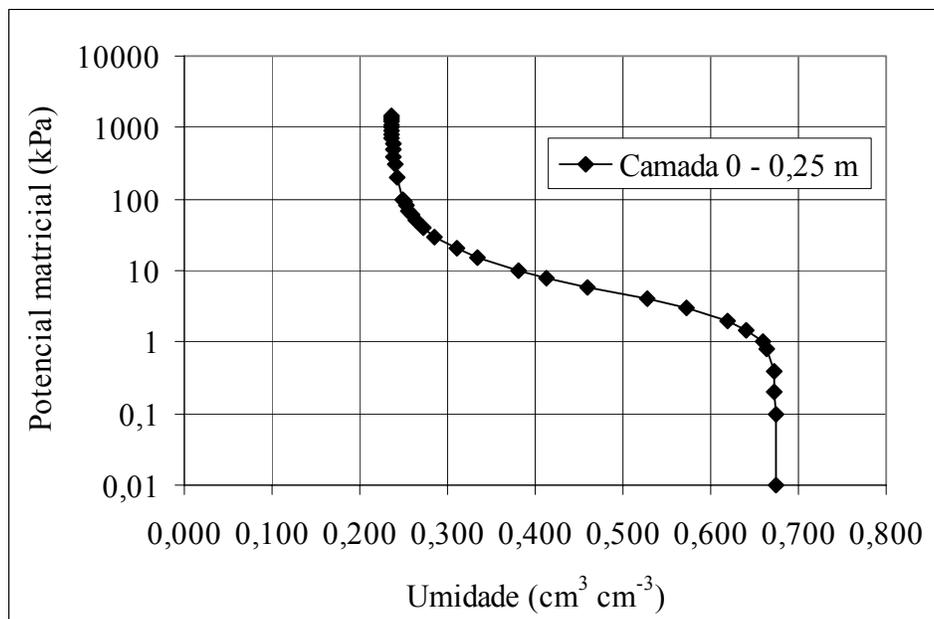


FIGURA 2 Curva característica de retenção de água no solo gerada por meio do modelo proposto por Genuchten (1980).

Partindo da Equação 2, ajustada para descrever a curva de retenção e considerando uma tensão de água no solo correspondente a 10 kPa para este tipo de solo (Carvalho et al., 1996), foi encontrado o valor referente à umidade na capacidade de campo de $\theta_{cc} = 0,381 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$, correspondente à camada de 0 a 0,25 m.

3.3.2 Análises químicas

Na Tabela 3 são mostrados os teores de nutrientes encontrados no solo antes da adubação de plantio. Para a obtenção dessas características químicas, foram coletadas amostras compostas nos locais dos estudos I e II.

TABELA 3 Caracterização química dos solos utilizados para a implantação dos estudos.

	pH	P	K	Na	Ca²⁺	Mg²⁺	Al³⁺	H + Al
	H₂O	mg dm⁻³			cmol_c dm⁻³			
Amostra I	6,3	18,4	312	-	2,8	0,8	0,0	1,7
Amostra II	6,4	24,2	112	-	4,1	1,0	0,0	2,1
	SB	(t)	(T)	V	m	ISNa	MO	P-rem
	cmol_c dm⁻³				%		dag kg⁻¹	mg L⁻¹
Amostra I	4,4	4,4	6,1	72,1	0	-	1,8	-
Amostra II	5,4	5,4	7,5	72,0	0	-	1,9	-
	mg dm⁻³							
	Zn	Fe	Mn	Cu	B	S		
Amostra I	2,3	43,8	28,2	9,7	0,1	8,0		
Amostra II	15,0	31,7	39,1	9,2	0,6	10,3		

De acordo com a soma de bases (SB) e o índice de saturação por bases (V) apresentados nas amostras, sua classificação foi dada como “bom” (Alvarez et al., 1999) para a cultura do pepino e a relação Ca:Mg também se encontrava em níveis satisfatórios para as duas amostras. Dessa forma, não foi necessário o uso da calagem para os solos em questão com finalidade de correção de acidez, elevação do índice de saturação por bases e aumento da relação Ca:Mg.

Quanto ao preparo do solo para o plantio, foram realizados dois revolvimentos do solo com uso de uma enxada rotativa para descompactar e destorroar o mesmo, promovendo a aeração do solo e visando o bom desenvolvimento do sistema radicular da cultura. Em seguida, foram construídos os canteiros, manualmente.

3.4 Instalação e condução

Os estudos tiveram início com o transplantio das mudas no dia 29 de agosto de 2008 e término com a última colheita, no dia 28 de novembro de 2008, totalizando 91 dias de cultivo. O início da utilização dos tratamentos nos dois

estudos se iniciou a partir dos 18 dias após o transplante (DAT), período necessário para pegamento e uniformização das mudas. As mudas transplantadas nos canteiros podem ser parcialmente vistas na Figura 3.



FIGURA 3 Mudas transplantadas e irrigadas no período de pegamento.

Mourões de eucalipto foram fixados e espaçados de dois ou três canteiros longitudinalmente às unidades experimentais. As plantas foram conduzidas em fios de arame liso n.º 16 esticados e fixados nos mourões a cada 0,25 m de altura, totalizando oito fios instalados na horizontal até a altura de 2,0 m.

Aos 40 DAT, foram retirados todos os frutos e folhas localizados até o quinto internódio das plantas. A partir do sexto internódio, permitiu-se o

desenvolvimento de duas ramificações por internódio, sendo as mesmas podadas após o terceiro internódio. A retirada da gema apical (capação) foi efetuada após o 22º internódio, de maneira a se evitar o crescimento indeterminado e não ultrapassando os 2,0 m de altura total dos fios de arame utilizados no tutoramento.

Os frutos começaram a serem colhidos aos 55 DAT, com intervalos de um ou dois dias, dependendo do tempo necessário para que os frutos atingissem o ponto de colheita, que gira em torno de 20 a 24 cm.

3.5 Práticas culturais

3.5.1 Adubação

As adubações de plantio e cobertura foram realizadas manualmente com base nas análises de solo (Tabela 3) e conforme recomendação de Gomes et al. (1999). As épocas de aplicação das fontes de nutrientes utilizadas e suas respectivas dosagens são mostradas na Tabela 4.

TABELA 4 Épocas de aplicação, dosagens e fontes dos nutrientes utilizados nos estudos.

Adubação	Épocas (semanas)	Nutrientes (kg ha ⁻¹)		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Plantio	-	0	180	80
Coberturas	1 ^a a 4 ^a	30	60	30
	5 ^a a 8 ^a	40	40	60
	9 ^a a 12 ^a	60	0	90
Total		130	280	260
Fertilizantes (fontes de nutrientes) utilizados		MAP Nitrato de potássio Ureia	MAP	Nitrato de potássio

3.5.2 Controle de plantas daninhas

Antes da sistematização do solo das casas de vegetação para o preparo dos canteiros, as plantas daninhas foram eliminadas por meio de capina manual. Da mesma forma, tal controle foi utilizado durante o período dos estudos com um monitoramento contínuo.

3.5.3 Controle fitossanitário

Em inspeções periódicas, avaliações visuais foram feitas a fim de se detectar a presença de pragas e a ocorrência de doenças durante o cultivo.

O controle de doenças foi feito preventivamente com pulverizações quinzenais de fungicidas à base de maconzeb e, semanalmente, com fungicidas à base de cobre. No início da frutificação, por ocasião do aparecimento de sintomas de oídio, foi realizada uma pulverização de fungicida à base de enxofre. Também foram aplicados, semanalmente, inseticidas para controle de pragas, dentre elas, o pulgão e a mosca branca, os quais são vetores dos vírus do mosaico e vira-cabeça das cucurbitáceas.

3.5.4 Variáveis meteorológicas

Durante a condução dos estudos, foram medidas as umidades relativas (UR) máxima e mínima e temperaturas (T°) máxima e mínima diariamente, por meio de um termo-higrômetro instalado em abrigo em cada casa de vegetação.

3.6 Delineamento experimental e tratamentos

3.6.1 Estudo I

O estudo I consistiu de dois experimentos, executados simultaneamente na mesma casa de vegetação, nos quais foram analisadas as interferências quanto

ao déficit hídrico no desenvolvimento e na produção das plantas em duas fases fenológicas do ciclo da cultura. O experimento I deu-se na forma de um delineamento inteiramente casualizado (DIC), envolvendo, como tratamento, quatro níveis de tensão de água no solo (15, 30, 60 e 120 kPa) na fase fenológica vegetativa do ciclo da cultura (pós-emergência até o início da floração de 50% das plantas). O experimento II consistiu também de um delineamento inteiramente casualizado (DIC), envolvendo, como tratamento, quatro níveis de tensão de água no solo (15, 30, 60 e 120 kPa) na fase fenológica reprodutiva (fim da fase vegetativa até completa maturação dos frutos e fim do ciclo útil das plantas). Ambos os experimentos contaram com cinco repetições, tendo cada unidade experimental consistido de um canteiro contendo duas plantas espaçadas de 1,1 x 0,4 m. O esquema de montagem dos experimentos em função dos tratamentos pode ser visualizado nas Figuras 4 e 5.

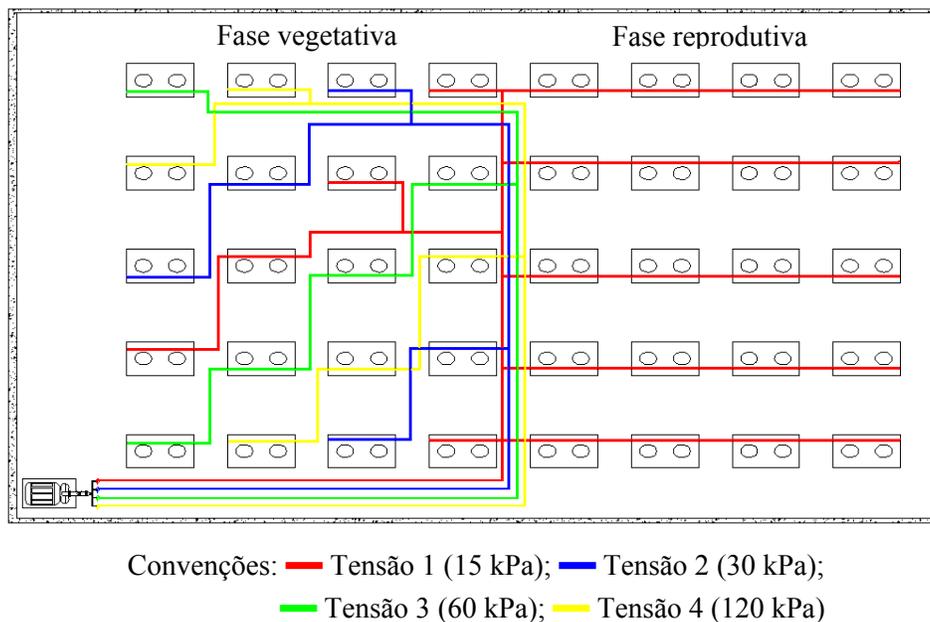


FIGURA 4 Esquema de montagem dos tratamentos no Experimento I (fase vegetativa).

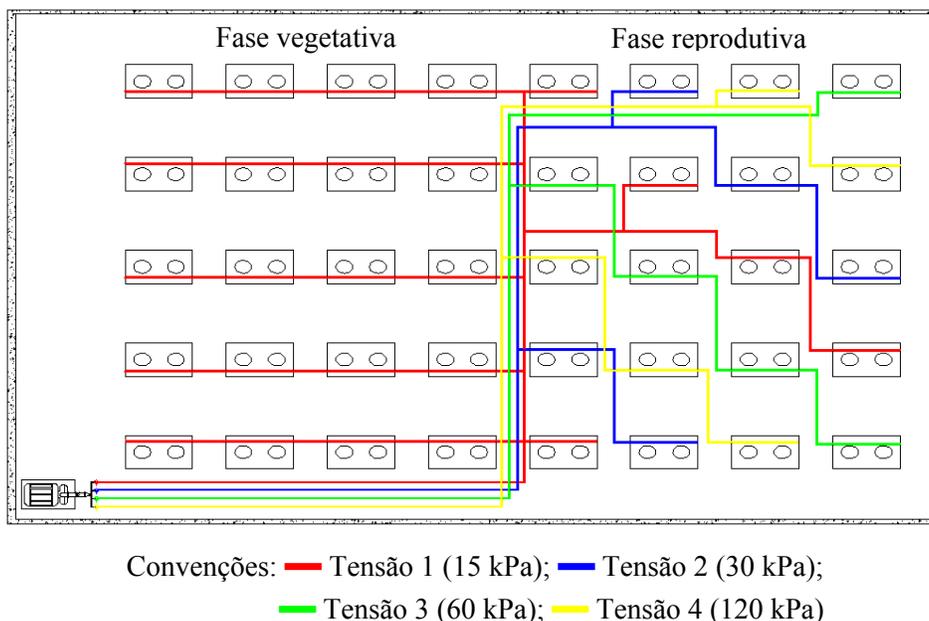


FIGURA 5 Esquema de montagem dos tratamentos no Experimento II (fase reprodutiva).

3.6.1.1 Sistema de irrigação e manejo

Nos experimentos foi utilizado um sistema de irrigação localizada, com gotejadores autocompensantes, atuando na faixa de pressão recomendada pelo fabricante, com vazão de $2,4 \text{ L h}^{-1}$, do tipo on-line inseridos sobre o tubo, com um gotejador por planta. Cada canteiro possuía uma linha de gotejador instaladas paralelamente às linhas de plantio. No cabeçal de controle foram instaladas válvulas referentes a cada tratamento, as quais eram acionadas individualmente e fechadas de acordo com o tempo de irrigação para cada tensão adotada.

Foi efetuado, para se conhecer a uniformidade de aplicação do sistema de irrigação, o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), proposto por Christiansen (1942), obtendo-se um valor de 95,85% de uniformidade.

O momento de irrigar foi dado pelas tensões de água no solo pré-determinadas para cada tratamento testado (15, 30, 60 e 120 kPa) dentro de cada uma das fases fenológicas analisadas nos dois experimentos (vegetativa e reprodutiva). As lâminas de irrigação foram calculadas tomando como base a curva de retenção de água do solo, utilizando-se o valor de 10 kPa para a capacidade de campo e considerando a profundidade efetiva do sistema radicular das plantas de 25 cm. O tempo de irrigação para cada tratamento foi dado pela vazão média dos gotejadores utilizados e pelo volume necessário para a reposição da água total necessária à capacidade de campo.

Foram instalados três tensiômetros em três unidades experimentais de cada tratamento (para monitorar as tensões de 15, 30 e 60 kPa) e três sensores de matriz granular para a tensão de 120 kPa, sendo todos eles instalados a uma profundidade de 12,5 cm. As leituras dos tensiômetros foram feitas com um tensímetro de punção digital e a leitura da tensão de 120 kPa foi obtida pelo medidor Watermark[®]. Duas vezes ao dia, às 10h00 e às 16h00 foram medidos os valores das tensões, irrigando-se quando pelo menos dois valores obtidos nos medidores acusavam a tensão indicada pelo tratamento testado.

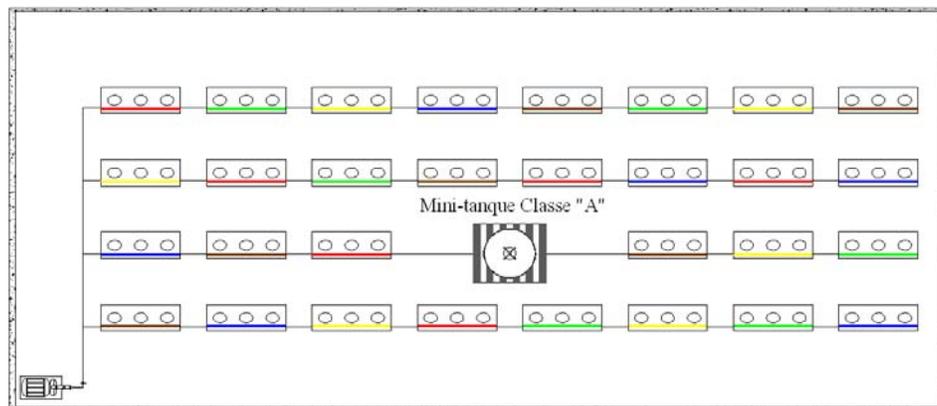
Os tratamentos de tensão durante a fase vegetativa (experimento I) permaneceram até os 50 DAT, em função da mudança de fase observada em 50% das plantas e, após este período, todas as plantas foram irrigadas quando valores de tensão atingissem 15 kPa, repondo-se a água do solo até a capacidade de campo (10 kPa), evitando, assim, o déficit hídrico durante a fase reprodutiva.

Já no experimento II (fase reprodutiva), as unidades experimentais também tiveram suas irrigações efetuadas quando valores de tensão atingissem 15 kPa até a capacidade de campo, de maneira a se evitar o déficit hídrico durante a fase vegetativa. Aos 50 DAT, foram iniciados os tratamentos com as tensões (15, 30, 60 e 120 kPa), configurando a fase reprodutiva da cultura até o final das colheitas.

Dessa forma, o estudo I contou com a execução dos tratamentos na fase vegetativa durante um período de 32 dias e, na fase reprodutiva, de 41 dias.

3.6.2 Estudo II

O experimento consistiu em um delineamento inteiramente casualizado (DIC), envolvendo, como tratamento, cinco percentuais de lâmina de reposição de água no solo (50%, 75%, 100%, 125% e 150%) e seis repetições. Cada unidade experimental consistiu de um canteiro contendo três plantas espaçadas de 1,1 x 0,4 m. O esquema de montagem do experimento, em função dos tratamentos efetuados no estudo II, está representado na Figura 6.



Convenções: — Lâmina 1 (50%); — Lâmina 2 (75%); — Lâmina 3 (100%);
— Lâmina 4 (125%); — Lâmina 5 (150%).

FIGURA 6 Esquema de montagem dos tratamentos no experimento.

3.6.2.1 Sistema de irrigação e manejo

Foi utilizado um sistema de irrigação localizada, com gotejadores autocompensantes, atuando na faixa de pressão recomendada pelo fabricante, com vazão de $2,4 \text{ L h}^{-1}$, do tipo on-line, inseridos no tubo, sendo instalados

números diferentes de gotejadores por canteiro nas linhas de irrigação de maneira a se obter as lâminas de 50%, 75%, 100%, 125% e 150% de reposição. Cada canteiro possuía uma linha de gotejador instalada paralelamente às linhas de plantio. No cabeçal de controle foi instalado um controlador com uma válvula para acionar o sistema de irrigação.

O controle sobre a irrigação teve como referência o tratamento de 100% de reposição de água, ou seja, quando este acusava uma tensão de 15 kPa, de maneira a se elevar a umidade na capacidade de campo (10 kPa), considerando a profundidade efetiva do sistema radicular de 25 cm. O tempo de irrigação para a lâmina referencial de 100% de reposição de água foi dado pela vazão média dos gotejadores utilizados e pelo volume de água de reposição previamente calculado, utilizando-se dados extraídos da curva de retenção de água no solo. A partir da vazão, volume e número de gotejadores foram obtidas as lâminas para os demais tratamentos, de acordo com o mesmo tempo de irrigação utilizado.

Foi efetuado, como forma de se conhecer a uniformidade de aplicação do sistema de irrigação, o procedimento para se medir o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC), proposto por Christiansen (1942), obtendo um valor de 96,25% de uniformidade.

O monitoramento da irrigação foi realizado por meio de três tensiômetros instalados em unidades experimentais do tratamento com reposição de 100% da água consumida, sendo eles instalados a uma profundidade de 12,5 cm. As leituras dos tensiômetros foram feitas com um tensímetro de punção digital. Duas vezes ao dia, às 10h00 e às 16h00, foram medidos os valores das tensões, irrigando-se quando pelo menos dois valores obtidos nos medidores acusaram a tensão padronizada de 15 kPa, indicada para a reposição de 100% da água.

Um minitanque evaporímetro foi instalado no interior da casa de vegetação (Figura 7) para medidas das lâminas evaporadas. Posteriormente, foi

calculado um coeficiente denominado “K”, por meio da razão entre a lâmina de irrigação para o tratamento de 100% de reposição e a lâmina obtida pela evaporação do minitanque evaporímetro diariamente. Este coeficiente teve o objetivo de representar o consumo de água pelas plantas, ao longo do ciclo da cultura.



FIGURA 7 Minitanque evaporímetro utilizado no experimento.

3.6.2.2 Função de produção

Para a obtenção da função de produção, foi utilizada a análise de regressão entre a variável dependente (produção comercial) e a variável independente (lâminas de reposição de água). O modelo empregado foi o polinomial do segundo grau, conforme Equação 3:

$$Y = f(w) = a + b \cdot w + c \cdot w^2 \quad (3)$$

em que

Y = produtividade (kg ha^{-1});
 w = lâmina total de água aplicada (mm);
 a, b e c = parâmetros da equação.

A lâmina de água a ser aplicada para a obtenção da máxima produtividade física foi dada pela Equação 4:

$$w(\text{max}) = \frac{b}{2c} \quad (4)$$

A rentabilidade econômica (receita líquida) foi obtida pela diferença entre a receita bruta e o custo total para a exploração da cultura em questão (pepino japonês). A lâmina de água de maior retorno econômico a ser aplicada deve corresponder a uma produtividade que traduza uma receita líquida máxima ou um lucro máximo, dados pela Equação 5:

$$L(w) = P_y \cdot Y - P_w \cdot w - C \quad (5)$$

em que

$L(w)$ = lucro (R\$);
 P_w = preço do fator água (R\$ mm^{-1});
 P_y = preço do produto (R\$ kg^{-1});
 C = custo dos fatores fixos (R\$ ha^{-1}).

O preço do produto (P_y) correspondeu ao preço médio obtido pelo produtor rural, no estado de Minas Gerais, no mês de março de 2009, o qual foi de R\$ 2,62 kg^{-1} (CeasaMinas Centrais de Abastecimento, 2009). Esse preço foi considerado para efeito de análise econômica no presente estudo.

O preço do fator água (P_w) foi obtido considerando os custos de energia,

mão-de-obra, manutenção e reparos de um sistema de bombeamento, fixando alguns parâmetros e condições típicas da agricultura regional:

- método de irrigação: localizada por gotejamento com acionamento automático;
- área: 10.000 m² ;
- número de plantas por hectare: 18.000;
- fonte de água: encontra-se próxima da área de cultivo, não havendo necessidade de recalque de manancial distante;
- altura manométrica total: 50 m;
- vazão da motobomba: 10,31 m³ h⁻¹;
- eficiência do conjunto motobomba: 50%;
- vida útil do sistema de irrigação: 10 anos;
- utilização: 3 ciclos de cultura por ano.

Nessas condições, o custo do sistema de irrigação foi de R\$ 6.420,00, incluídas todas as obras necessárias para o funcionamento adequado do sistema.

No cálculo da depreciação do sistema de irrigação, consideraram-se a taxa de juros anual de 12% e a vida útil do equipamento de 10 anos, chegando-se a um fator de recuperação de capital (FRC) de 0,1770 que, multiplicado ao custo do sistema de irrigação, gerou o custo de amortização dos fatores mantidos constantes de R\$ 1.136,34.

O custo de manutenção e operação do sistema de irrigação foi considerado sobre 2% do seu valor de aquisição (Zocoler, 2001), o que equivale a R\$ 128,40 ha⁻¹ ano⁻¹ ou R\$ 42,80 ha⁻¹ ciclo⁻¹ da cultura ao ano.

Para a obtenção do custo da energia elétrica de bombeamento da água, foram considerados os investimentos, as características do sistema de irrigação descritas acima e um ciclo de 90 dias de cultivo.

O valor do kWh fornecido pela concessionária de energia elétrica

(CEMIG) para o mês de março de 2009 foi de R\$ 0,29. O custo total de energia elétrica para o bombeamento foi estimado em R\$ 234,72.ha⁻¹ ciclo⁻¹.

Os fatores mantidos constantes no experimento (custos de produção) foram orçados em R\$ 21.511,84. Para se obter a máxima receita líquida (Lw), estes fatores foram somados aos custos operacionais efetivos (P_w·w), ou seja, o custo de manutenção do sistema de irrigação e o custo da energia consumida no bombeamento das lâminas de cada tratamento para o cálculo do preço do fator água e, posteriormente, foram subtraídos do valor obtido com a máxima receita bruta (P_y·Y).

Dessa forma, o custo operacional efetivo foi calculado somando-se o custo de manutenção e operação do sistema e o custo da energia consumida no bombeamento referente ao tratamento de 100% de reposição de água. Assim, chegou-se ao valor de R\$ 277,62 ha⁻¹ ciclo⁻¹ da cultura.

O custo da água aplicada foi calculado dividindo-se o custo operacional efetivo pela lâmina total aplicada ao tratamento de 100% de reposição de água, sendo este tomado como referencial para esta análise econômica.

Sob a hipótese de que L(w) tem um máximo e que a água é o único fator variável, tem-se a Equação 6:

$$\frac{\partial L(w)}{\partial w} = P_y \cdot \frac{\partial Y}{\partial w} - P_w = 0 \quad (6)$$

em que

$$\frac{\partial Y}{\partial w} \cdot P_y = \text{receita da máxima produtividade física do fator água (w);}$$

$$\frac{\partial Y}{\partial w} = \text{máxima produtividade física do fator água (w).}$$

A máxima produtividade física (MPF) do fator variável é o aumento no produto físico total decorrente do emprego de uma unidade adicional do fator

variável. Graficamente, a MPF representa a declividade da variação do produto total ou da função de produção em um determinado nível do fator variável e é o indicador das eficiências técnica e econômica do experimento.

Da Equação 6 obtém-se o indicador de eficiência econômica, conforme a Equação 7.

$$\frac{\partial Y}{\partial w} = \frac{P_w}{P_y} \quad (7)$$

A Equação 6 mostra que o lucro se maximiza (considerando a água como único fator variável) se a derivada primeira da produtividade em relação à lâmina total de água (máxima produtividade física da água) for igual à relação entre os preços do fator e do pepino japonês. Portanto, da Equação 3, obtém-se a Equação 8:

$$\frac{\partial Y}{\partial w} = b - 2 \cdot c \cdot w = \frac{P_w}{P_y} \quad (8)$$

Da Equação 8, obteve-se a lâmina de irrigação ótima econômica para as condições deste trabalho, considerando como fator variável o total de lâmina de água aplicada com os demais insumos utilizados no experimento, constantes.

3.7 Parâmetros avaliados nos estudos I e II

O diâmetro do caule de cada planta em cada unidade experimental foi medido utilizando-se um paquímetro digital, de precisão de 0,05 mm, a 1 cm de altura em relação ao solo. A altura das plantas foi medida com uma trena

considerando a distância entre a superfície do solo e o ponteiro da planta. A contagem de folhas por planta foi feita considerando-se folhas completamente desenvolvidas.

Esses procedimentos foram efetuados na data de início dos tratamentos, aos 18 DAT e, posteriormente, aos 32, 47 e 69 dias após o transplântio, visando à determinação de uma correlação para o desenvolvimento das plantas com o tempo para os diferentes tratamentos de irrigação aplicados.

Entretanto, a medição da altura das plantas na última data a ser coletada não foi efetuada pelo fato de as plantas terem alcançado a altura de poda apical, em torno de 2,0 m, referente ao último fio de arame de tutoria. Do mesmo modo, a contagem do número de folhas nesta data tornou-se injustificável, devido à grande quantidade de folhas encontradas nas plantas, o que poderia acarretar em danos físicos ao manejá-las para tal coleta e, conseqüentemente, prejudicar sua produção posteriormente, durante o restante do ciclo da cultura.

Os frutos foram contados, pesados e medidos, contabilizando, neste trabalho, apenas aqueles classificados comercialmente, tendo como características comprimento entre 20 e 24 cm, sem defeitos de conformação (ataque de pragas e doenças) e deformações, conforme recomendação da CEASA-MG (Figura 8).

A produtividade da cultura foi avaliada em função dos parâmetros de produção de frutos classificados comercialmente, tomando como referência o número de frutos e a massa de frutos produzida em cada tratamento.

As eficiências do uso da água para os estudos I e II foram determinadas por meio da relação entre os valores de produção (kg ha^{-1}) e as respectivas quantidades de água consumidas (m^3) em cada tratamento durante o cultivo, sendo os resultados expressos em $\text{kg m}^{-3} \text{ha}^{-1}$.



A



B

FIGURA 8 Frutos comerciais em ponto de colheita (A) e frutos comerciais colhidos e limpos para as devidas medidas (B).

3.8 Análises estatísticas

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância, a 1% e 5% de significância, por meio de regressão. As análises estatísticas foram realizadas utilizando-se o software Sisvar versão 5.0 (Ferreira, 2007).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Estudo I

4.1.1 Condições climáticas dentro da casa de vegetação

Os dados começaram a ser coletados a partir do início dos tratamentos, aos 18 DAT. As temperaturas máximas, mínimas e médias no interior da casa de vegetação, durante a condução dos experimentos I e II, são apresentadas na Figura 9.

Neste período, a temperatura média do ar no interior da casa de vegetação foi de 26,2°C; as mínimas ficaram entre 9,6°C e 21,6°C e as máximas, entre 22,1°C e 43,1°C.

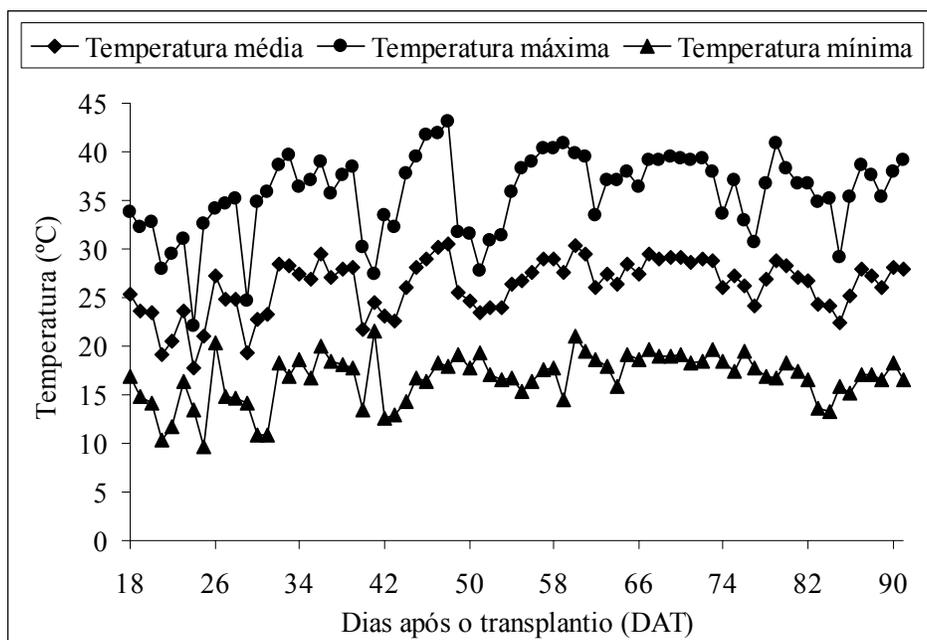


FIGURA 9 Temperatura máxima, mínima e média no interior da casa de vegetação, registradas durante a execução dos experimentos I e II.

Na Figura 10 são apresentados os valores máximos, mínimos e médios da umidade relativa do ar no interior da casa de vegetação, durante a condução dos experimentos I e II. Nota-se que a umidade relativa máxima do ar dentro da casa de vegetação oscilou entre 59% e 87% e a mínima, entre 16% e 68%, tendo como valor médio 58%.

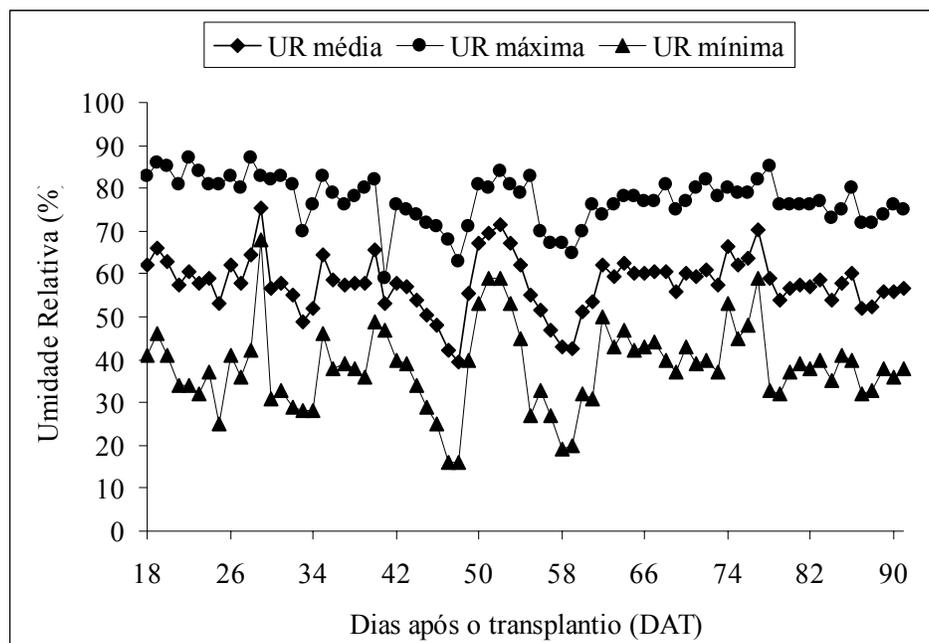


FIGURA 10 Umidade relativa máxima, mínima e média no interior da casa de vegetação, registradas durante a execução dos experimentos I e II.

Segundo Sganzerla (1995), a faixa ideal de umidade relativa do ar está entre 70% e 90% e as temperaturas ótimas para um bom desenvolvimento da cultura do pepino, entre 20° e 25°C, durante o dia e 18° e 22°C, durante a noite. Observa-se, então, que o valor médio da umidade relativa do ar encontrado nesse estudo (58%) está bem abaixo da faixa recomendada pelo autor. O mesmo ocorreu com os valores de temperatura, levando-se em conta que as temperaturas

mínimas ocorrem durante a noite e as máximas, durante o dia; a média das mínimas foi de 16,7°C e a média das máximas, de 35,7°C. Tais condições climáticas, fora da faixa ótima, podem ter afetado o crescimento, a floração e a frutificação das plantas, redundando em baixas produtividades.

4.1.2 Avaliação do desenvolvimento e produção da cultura – Experimento I (fase vegetativa)

4.1.2.1 Diâmetro do caule

De acordo com a análise de variância (Tabela 5) para as médias dos diâmetros do caule, houve diferenças significativas, a 1% de probabilidade, para as avaliações em função da tensão de água no solo (T) e do tempo (DAT).

TABELA 5 Análise de variância para as médias dos diâmetros do caule em função dos tratamentos, no experimento I (Fase Vegetativa).

Fonte de variação	GL	QM
		Diâmetro
Tensão (T)	3	7,0074 **
Tempo (DAT)	3	197,9151 **
Interação (T x DAT)	9	1,6682 ^{NS}
Resíduo	64	1,0809
Média geral		8,5180
CV		12,21%

** : Significativo, a 1% de probabilidade.

^{NS} : Não significativo, a 5% de probabilidade.

Na Figura 11, é mostrado o diâmetro do caule das plantas de acordo com os tratamentos aplicados, obtendo valores médios de 9,13; 8,80; 8,38 e 7,76 mm, para as tensões de 15, 30, 60 e 120 kPa, respectivamente, observando-se uma redução linear do diâmetro.

Assim, pode-se afirmar que o incremento da tensão de água no solo aplicada ao monitoramento da irrigação da cultura do pepino japonês, na fase

vegetativa, afetou o desenvolvimento do caule desta cultura, pois maiores tensões podem significar que as plantas têm maior dificuldade para retirar água do solo, resultando em um menor crescimento do diâmetro do caule. Já para menores tensões, maior a frequência de irrigação e acarretando em maior volume de água aplicada e um maior desenvolvimento vegetativo das plantas.

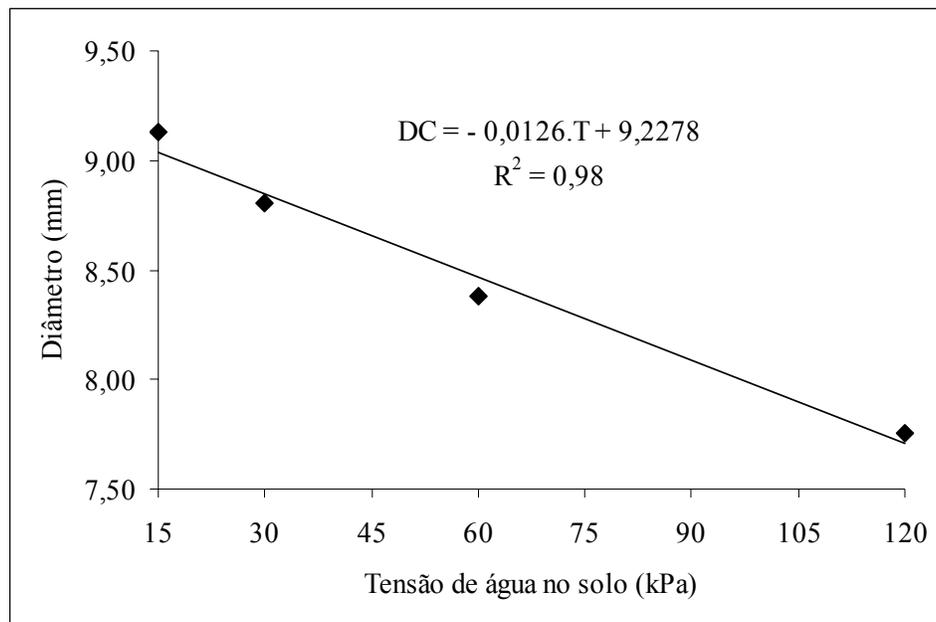


FIGURA 11 Diâmetro do caule das plantas em função da tensão, no experimento I (fase vegetativa).

De maneira contrária aos resultados obtidos neste trabalho, Santos (2002) não encontrou diferenças significativas nos valores do diâmetro do caule do pepineiro, cultivado em ambiente protegido e utilizando tensões de 10, 25, 45 e 60 kPa como monitoramento das irrigações.

Entretanto, corroborando com este experimento, Santana et al. (2004), irrigando com diferentes tensões de água no solo (10, 30, 50 e 60 kPa) a cultura do pimentão em ambiente protegido, obtiveram maiores médias para o diâmetro

de caule proporcionadas pela tensão de 10 kPa, porém, reduzindo de forma exponencial com o incremento da tensão.

Do mesmo modo, Carvalho et al. (2004), analisando o efeito de quatro níveis de déficit hídrico (100%, 80%, 60% e 40% da evapotranspiração) aplicados à fase vegetativa na cultura da berinjela, em ambiente protegido, afirmam que o diâmetro do caule apresentou menores valores de acordo com a redução percentual de reposição de água no solo.

Observa-se, na Figura 12, um crescimento polinomial quadrático ($R^2 = 96,84\%$) do diâmetro do caule (DC) das plantas do pepino japonês ao longo do tempo (DAT). Um crescimento significativo do diâmetro do caule do pepineiro em função do tempo também foi encontrado por Santos (2002), porém, o autor concluiu que este crescimento se deu de forma linear.

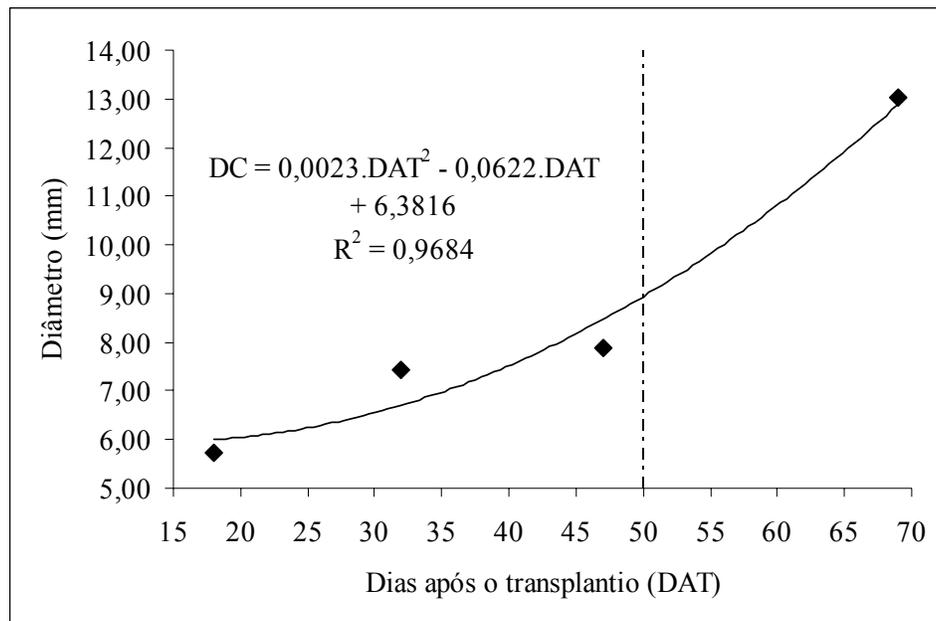


FIGURA 12 Diâmetro do caule das plantas em função do tempo, no experimento I (fase vegetativa).

Os diâmetros médios do caule das plantas, aos 18, 32, 47 e 69 dias após o transplântio, foram de, respectivamente, 5,73; 7,43; 7,89 e 13,02 mm. O valor médio do diâmetro do caule de 13,02 mm, observado aos 69 DAT, indicou um crescimento percentual de 65% em relação ao diâmetro médio de 7,89 mm, aos 47 DAT. Isto pode ser justificado em função dos tratamentos de tensão (déficit hídrico) que deixaram de ser aplicados na fase reprodutiva da cultura, uma vez que a mudança de fase ocorreu aos 50 DAT (Figura 12). Este fato configurou, posteriormente, em maiores frequências de aplicação de água, irrigando sempre quando o potencial matricial do solo atingisse 15 kPa, o que ocasionou plantas mais desenvolvidas aos 69 DAT.

4.1.2.2 Altura das plantas

Na Tabela 6 são mostrados os resultados das análises estatísticas para as médias das alturas das plantas.

TABELA 6 Análise de variância para as médias das alturas das plantas em função dos tratamentos, no experimento I (fase vegetativa).

Fonte de variação	GL	QM
		Altura
Tensão (T)	3	51,0571 ^{NS}
Tempo (DAT)	2	59.070,6923 ^{**}
Interação (T x DAT)	6	26,9738 ^{NS}
Resíduo	48	254,7689
Média geral		49,5433
CV		32,22%

** : Significativo, a 1% de probabilidade.

^{NS} : Não significativo, a 5% de probabilidade.

Fisiologicamente, o crescimento da planta é medido em termos de matéria seca acumulada ao longo do tempo, representando a fotossíntese líquida. Entretanto, devido à existência de correlação entre altura e o peso da planta, é

comum avaliar o crescimento de uma planta pela sua altura (Medeiros, 1998).

No estudo em questão, a altura das plantas do pepino japonês não foi influenciada significativamente pelas diferentes tensões de água no solo aplicadas durante a fase vegetativa, mostrando que as plantas tiveram crescimento homogêneo dentre as tensões.

Em contrapartida, diferenças significativas foram encontradas por Santos (2002), que encontrou menores valores para as médias das alturas das plantas de pepino cultivado em casa de vegetação, de acordo com o aumento das tensões analisadas por ele, mesmo obtendo baixa correlação linear.

Entretanto, com a mesma conformação de resultados obtidos neste trabalho, Marouelli et al. (2003), em estudo realizado para a cultura do tomateiro irrigado por gotejamento submetido a tensões médias de 15 a 70 kPa, verificaram que essas plantas não tiveram seu crescimento reduzido de forma significativa, quando submetidas à deficiência hídrica. Estes resultados corroboram com Sá (2004), que não encontrou diferenças estatísticas entre as tensões utilizadas para irrigação (15, 30, 50, 70, 120 e 170 kPa) sobre a altura das plantas do tomateiro cultivado em ambiente protegido.

Pela Figura 13, pode-se visualizar o crescimento médio da altura das plantas (AP), as quais foram influenciadas significativamente, a 1% de probabilidade (Tabela 6), ao longo do tempo analisado. Percebe-se, nitidamente, que o tempo de cultivo analisado na fase vegetativa implicou em um aumento da altura das plantas do pepino japonês, com valores médios de 9,92; 27,20 e 111,50 cm, aos 18, 32 e 47 DAT, respectivamente, notando uma maior diferença aos 47 DAT.

Ainda se observa que 100% das variações ocorridas na altura das plantas são explicadas pelo modelo (regressão polinomial quadrática), podendo concluir que a umidade do solo não interferiu no crescimento em altura, indicando que o pepino japonês expressa a ocorrência de déficit hídrico por meio de outros

parâmetros.

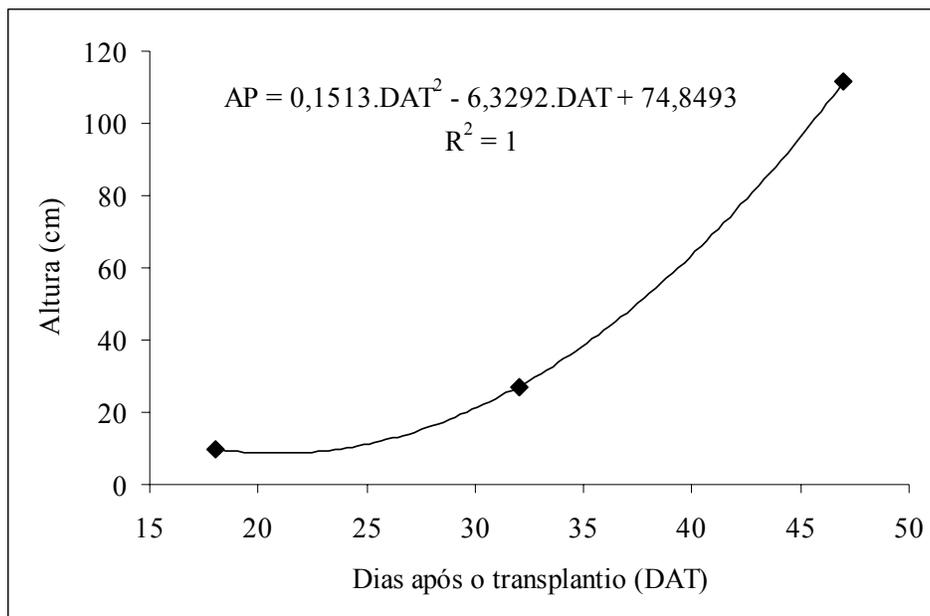


FIGURA 13 Altura das plantas em função do tempo, no experimento I (fase vegetativa).

4.1.2.3 Número de folhas

Conforme observado na análise de variância (Tabela 7), diferenças estatísticas foram observadas para o número de folhas durante as coletas desses dados para as diferentes tensões, tempo e a interação entre as duas variáveis na fase vegetativa.

TABELA 7 Análise de variância para as médias do número de folhas em função dos tratamentos, no experimento I (Fase Vegetativa).

Fonte de variação	GL	QM
		Folhas
Tensão (T)	3	32,4611 **
Tempo (DAT)	2	2.800,0167 **
Interação (T x DAT)	6	19,5944 ***
Resíduo	48	6,8167
Média geral		12,3833
CV		21,08%

** : Significativo, a 1% de probabilidade.

*** : Significativo, a 5% de probabilidade.

A partir da interação (T x DAT) visualizada na análise de variância (Tabela 7), as tensões utilizadas como tratamento foram desdobradas dentro do tempo. Por meio da análise estatística, foi observado que, apenas aos 47 DAT, houve diferença significativa, a 1% de probabilidade, para o número de folhas das plantas de acordo com as diferentes tensões utilizadas para o monitoramento da irrigação. Desse modo, devido a pouca umidade do solo ocasionada pelas irrigações menos frequentes de acordo com o acréscimo da tensão, o desenvolvimento de folhas nas plantas do pepino japonês foi afetado com o déficit hídrico ao longo do tempo na fase vegetativa, mostrando tendência de redução linear, o que pode ser mais bem visualizado na Figura 14.

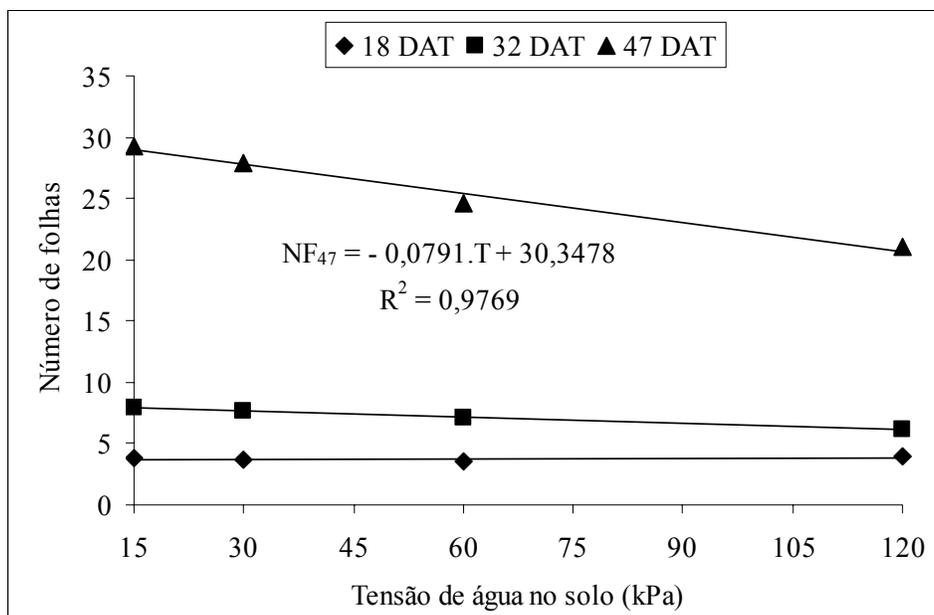


FIGURA 14 Número de folhas em função da tensão ao longo do tempo, no experimento I (fase vegetativa).

De igual forma, por meio da interação (T x DAT), efetuou-se o desdobramento do tempo (DAT) dentro de cada tensão (T) utilizada como tratamento. Diferenças significativas, a 1% de probabilidade, foram encontradas para o número de folhas das plantas em todas as tensões na fase vegetativa da cultura. Isso mostra que as plantas, apesar de se desenvolverem ao longo do tempo, seguiram a tendência de variação negativa quanto ao número de folhas de acordo com o incremento da tensão de água no solo.

Um maior número de folhas, responsáveis pela absorção da luminosidade, aumenta a eficiência fotossintética da planta, sendo fundamental para a produção de frutos de qualidade na cultura do pepino (Ramirez et al., 1988). Este fato é explicado, pois existe um equilíbrio entre crescimento vegetativo (folhas fotossinteticamente ativas) e reprodutivo (flores, frutos e brotações novas), caracterizado pela relação fonte:dreno (Marcelis, 1991).

Pelo gráfico da Figura 15, visualiza-se mais claramente um comportamento semelhante para o número de folhas entre tratamentos até os 32 DAT, quando, então, se iniciou a diferenciação entre eles, acentuando-se com a aproximação da fase reprodutiva, aos 47 DAT. A tendência do desenvolvimento de folhas nas plantas para cada uma das tensões analisadas em função do tempo pode ser descrita por meio de equações de regressão polinomial quadrática (Figura 15), obtendo-se, para todas elas, um excelente coeficiente de ajuste (R^2) igual a 100%.

Segundo Gardner (1979), na medida em que a planta se desenvolve, aumenta também a proporção de folhas desenvolvidas em relação às folhas em crescimento. Resende et al. (1981) relataram que plantas submetidas a maiores tensões hídricas reduzem a turgescência e, conseqüentemente, a expansão celular, o que promove redução no alongamento do caule e da folha. Desse modo, analisando-se os comportamentos por meio dos dados, nota-se pouca diferença no número de folhas para as tensões de 15 e 30 kPa, verificando-se efeitos mais acentuados para a tensão de 60 kPa e a tensão de 120 kPa, ocorridos a partir da pré-floração. Fica evidente que a rápida retomada do crescimento das folhas das plantas na pré-floração (irrigação com tensão de 15 kPa) deve ter sido facilitada pelo fato de ser relativamente maior a quantidade de folhas jovens em crescimento no dossel, redundando em uma maior exigência das plantas em água com a proximidade da fase reprodutiva, denotando-se que a cultura do pepino japonês é mais tolerante ao déficit hídrico na fase vegetativa, até valores próximos a 30 kPa.

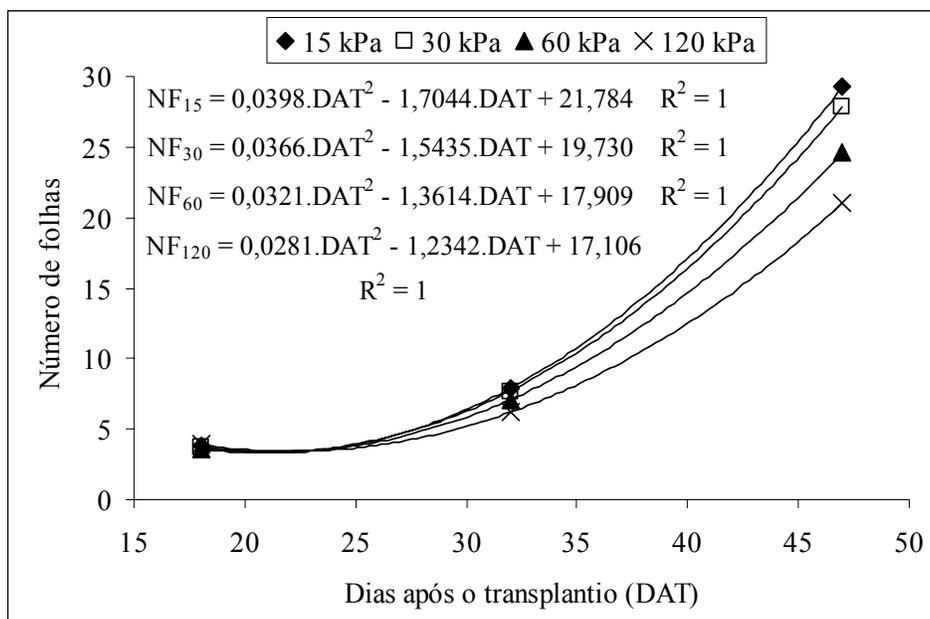


FIGURA 15 Número de folhas, em função do tempo, para diferentes tensões, no experimento I (fase vegetativa).

Estes resultados são concordantes com os de Leite et al. (1999), que relataram que os efeitos de déficits hídricos ocorridos na fase vegetativa do feijão caupi provocaram menores reduções nos componentes de crescimento das plantas, porém, na fase reprodutiva e no enchimento de grãos, seus efeitos foram mais acentuados. Os autores ainda explicam que as folhas são os centros de produção da fotossíntese e que o resto da planta depende da exportação de material assimilado da folha para outros órgãos das plantas. Nesse contexto, o estresse hídrico aplicado nesta cultura compromete tal exportação, contribuindo para reduções de seu crescimento e produção.

Um aumento no número de folhas com a redução do déficit hídrico na fase vegetativa da berinjela cultivada em ambiente protegido foi observado por Carvalho et al. (2004), que utilizaram, como tratamentos, quatro níveis de reposição de água no solo (100%, 80%, 60% e 40% da evapotranspiração). Da

mesma conformação, Távora & Melo (1991), estudando a cultura do amendoim submetido a ciclos de deficiência hídrica, constataram também reduções significativas do número de folhas por planta.

4.1.2.4 Produtividade do pepino japonês

De acordo com o exposto na análise de variância (Tabela 8), houve diferenças estatísticas para a quantidade de frutos e massa dos frutos para as diferentes tensões de água no solo aplicadas ao monitoramento das irrigações na fase vegetativa da cultura.

TABELA 8 Análise de variância para as médias do número de frutos e massa dos frutos (kg), em função dos tratamentos, no experimento I (fase vegetativa).

Fonte de variação	GL	QM	
		Frutos	Massa
Tensão	3	110,4500 **	1,4073 **
Resíduo	16	32,5250	0,3717
Média geral		18,2500	2,0086
CV		31,25 %	30,35%

** : Significativo, a 5% de probabilidade.

Nos gráficos das Figuras 16 e 17 observa-se que houve queda polinomial quadrática no número de frutos e massa dos frutos por planta, em função do incremento do déficit hídrico aplicado pelos tratamentos na fase vegetativa. Os dados foram ajustados por uma regressão polinomial quadrática com R^2 de 100%, a 5% de probabilidade.

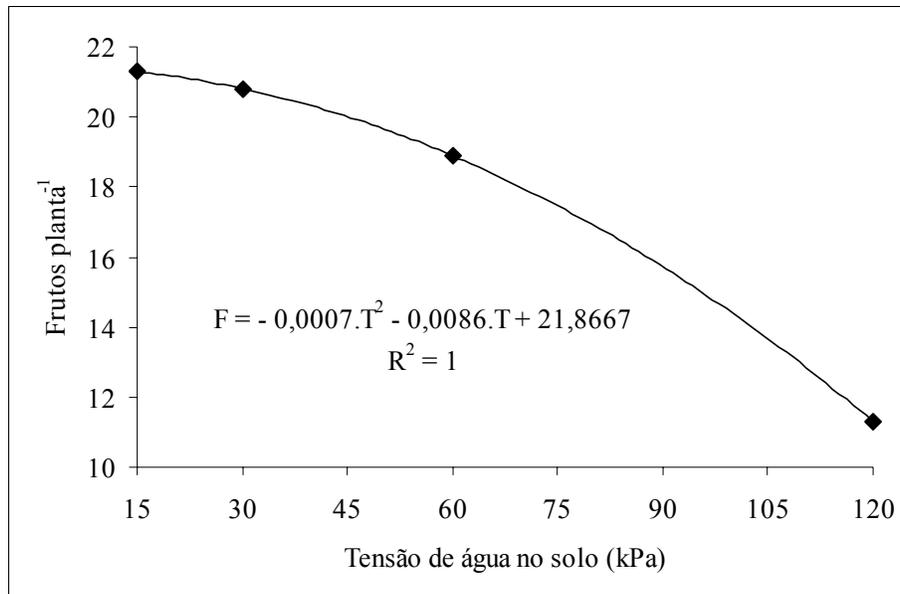


FIGURA 16 Número de frutos, em função das tensões de água no solo, no experimento I (fase vegetativa).

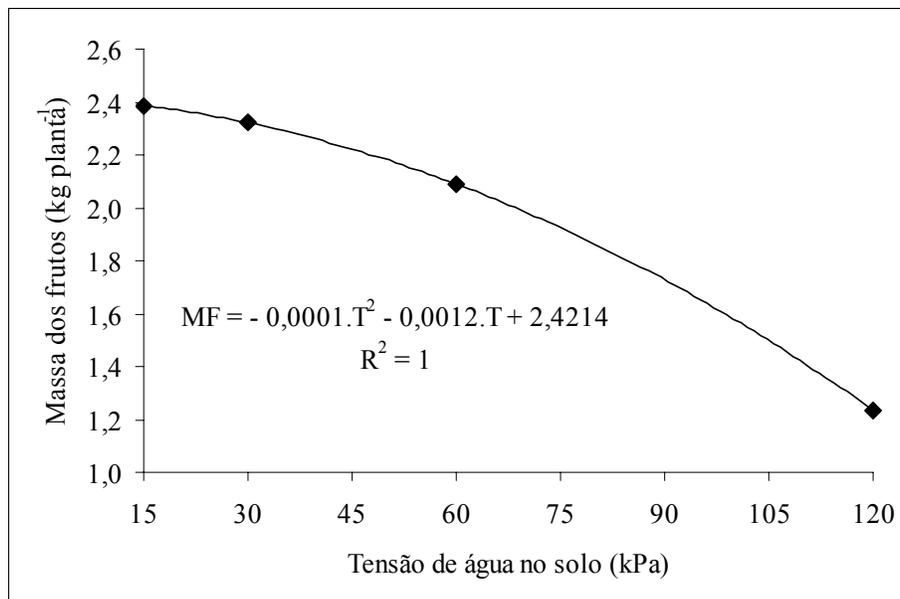


FIGURA 17 Massa dos frutos em função das tensões de água no solo, no experimento I (fase vegetativa).

É imperioso destacar que a produtividade das culturas, de maneira geral, pode ser relacionada ao desenvolvimento vegetativo das plantas, o que, dentre outros fatores, é influenciado pela adição de nutrientes aplicados e disponibilizados às plantas por meio da presença de água no solo.

Ao contrário dos resultados obtidos, Santos (2002) não encontrou diferenças significativas na produção do pepino, utilizando, como tratamento, tensões de água no solo de 10, 25, 45 e 60 kPa na fase vegetativa, uma vez que o mesmo obteve valores médios de produção muito próximos para todas as tensões aplicadas nesta fase. Resultados parecidos foram encontrados por Marouelli et al. (2003), que afirmaram que tensões entre 15 e 70 kPa, aplicadas no estágio vegetativo da cultura do tomateiro, não afetaram a produtividade e o número de frutos comerciais por planta.

As maiores produtividades deste experimento foram obtidas com irrigações sob tensões de 15 e 30 kPa. Tais resultados corroboram os de Silva & Marouelli (1998), ao afirmarem que as hortaliças, de modo geral, apresentam melhores produções quando submetidas a tensões da ordem de 10 a 40 kPa.

Do mesmo modo, Figuerêdo (1998), estudando o momento de se proceder a irrigação com base na tensão de água no solo, concluiu que menores valores de tensões (valores próximos ao teor de água na capacidade de campo) proporcionaram maiores rendimentos no feijoeiro.

A produtividade comercial e a massa média de bulbos de alho apresentaram, similarmente, correlações lineares negativas com as tensões de água no solo (20, 40, 80 e 160 kPa) aplicadas no estágio vegetativo da cultura, obtendo a maior produtividade de bulbos associada à tensão máxima de água no solo de 20 kPa (Marouelli et al., 2002b).

De maneira geral, observou-se, para o tratamento de 15 kPa, a maior produtividade média de 2,39 kg planta⁻¹, contra 1,24 kg planta⁻¹, para a tensão de 120 kPa. De acordo com dados técnicos para esta cultura, a média de produção

obtida neste experimento foi relativamente baixa, o que leva a crer que esta redução pode ser devido ao fato de terem sido contabilizados apenas frutos comerciais, bem como foi utilizada a cultivar de pepino japonês Master Green, da qual não se têm referências de produção.

Do mesmo modo, a produtividade pode ter sido afetada pelas temperaturas e umidades relativas ocorridas fora das faixas recomendadas para o cultivo do pepino em casa de vegetação (Sganzerla, 1995). A mesma conclusão foi tirada por Santos (2002), que também observou produção reduzida para esta cultura em ambiente protegido.

Utilizando irrigação por gotejamento para a cultura do pepino em ambiente protegido, Chartzoulakis & Michelakis (1990) obtiveram produtividade média de 4,3 kg planta⁻¹, o que pode confirmar a baixa produtividade relativa obtida neste experimento.

Considerando a tensão de 15 kPa como referencial, ou seja, a tensão aplicada que produziu o maior número de frutos e quantidade de massa de frutos por planta, foi atribuído o percentual de redução das duas variáveis analisadas. Na Tabela 9, verifica-se que a redução no número e massa dos frutos aumentou com o incremento da tensão de água no solo na fase vegetativa (experimento I).

TABELA 9 Valores percentuais de queda na produtividade de frutos e massa para cada tratamento aplicado, no experimento I (fase vegetativa).

Tratamento	Fase vegetativa	
	Redução no número de frutos planta⁻¹ (%)	Redução na massa dos frutos planta⁻¹ (%)
15	0	0
30	2,35	2,58
60	11,27	12,47
120	46,95	48,19

4.1.2.5 Eficiência do uso da água (EUA)

Na Tabela 10, verifica-se, para um hectare, a massa de frutos alcançada, o consumo de água no experimento I (fase vegetativa), o volume total de água consumido durante todo o ciclo e a eficiência do uso da água para cada tratamento.

TABELA 10 Massa dos frutos, consumo de água no experimento I (fase vegetativa), volume aplicado no ciclo total da cultura e eficiência do uso da água para a cultura do pepino japonês.

Tensão (kPa)	Massa dos frutos (kg ha ⁻¹)	Consumo de água (m ³)		EUA (kg m ⁻³ ha ⁻¹)
		Fase vegetativa	Ciclo total	
15	54.215,91	992,80	2.796,98	19,38
30	52.818,18	939,50	2.743,68	19,25
60	47.454,55	772,60	2.576,78	18,42
120	28.090,91	244,39	2.048,57	13,71

Torna-se importante utilizar um manejo adequado da cultura e da irrigação por fatores econômicos relacionados ao custo da água no processo produtivo, o que permite ao produtor um incremento na produção e um maior retorno financeiro (Santos, 2002). Nesta conformação, as relações entre as lâminas de água aplicada e as eficiências de uso de água obtidas permitem o conhecimento da forma de como a planta está utilizando a água no processo de transformação em produto comercializável (Oliveira, 1993).

Pelos dados da Tabela 10 se verifica que as melhores eficiências foram obtidas para os tratamentos irrigados com tensões de 15 e 30 kPa, sendo estes diferenciados por uma pequena proporção de incremento em relação ao valor obtido pela tensão de 60 kPa. Já a pior eficiência do uso da água foi notada para o tratamento de 120 kPa. A partir disso, pode-se concluir que a EUA diminuiu com o acréscimo das tensões aplicadas na fase vegetativa do experimento.

Corroborando os resultados do presente estudo, Stansell & Smitlle

(1980) concluíram que eficiência do uso da água pela cultura do feijoeiro foi proporcional aos níveis de tensão a que o solo foi submetido nas suas diferentes fases de desenvolvimento, tendo o valor da EUA decrescido com o aumento da tensão aplicada, utilizando 25, 50 e 75 kPa para o controle das irrigações.

Diferente disso, um crescimento linear da EUA na cultura do tomateiro irrigado sob tensões de 15 a 70 kPa na fase vegetativa foi obtido por Marouelli et al. (2003). No mesmo sentido, Chieppe Júnior et al. (2008), analisando o efeito de diferentes métodos de controle da irrigação para a cultura do feijoeiro, observaram uma tendência à elevação da EUA nos tratamentos que utilizaram as tensões de 60 kPa na fase vegetativa, acarretando em uma economia de água nesta fase.

A maior EUA foi promovida pela tensão de irrigação de 15 kPa que, neste caso, obteve a maior produtividade de maneira geral em relação às diferentes tensões utilizadas na fase vegetativa da cultura (experimento I). Talvez isso esteja ligado ao fato de que o pepineiro é mais exigente em água em sua fase reprodutiva, pois a cultura foi irrigada nesta fase, de maneira a se evitar o déficit hídrico no solo, com irrigações mais frequentes.

4.1.3 Avaliação do desenvolvimento e produção da cultura - Experimento II (fase reprodutiva)

4.1.3.1 Diâmetro do caule

Na Tabela 11 são mostrados os resultados das análises estatísticas para as médias dos diâmetros do caule. Segundo a análise de variância, houve diferenças significativas, a 1% de probabilidade, apenas para as avaliações em função do tempo (DAT).

TABELA 11 Análise de variância para as médias dos diâmetros do caule em função dos tratamentos, no experimento II (fase reprodutiva).

Fonte de variação	GL	QM
		Diâmetro
Tensão (T)	3	0,9058 ^{NS}
Tempo (DAT)	3	225,2459 **
Interação (T x DAT)	9	0,5630 ^{NS}
Resíduo	64	1,2324
Média geral		8,9529
CV		12,40%

** : Significativo, a 1% de probabilidade.

^{NS} : Não significativo, a 5% de probabilidade.

Verifica-se, pelos dados da Tabela 11, que o tempo afetou de forma significativa o diâmetro do caule das plantas, possivelmente, devido ao maior intervalo entre as medidas dos diâmetros. Observa-se, nitidamente, que o tempo de cultivo analisado implicou em um crescimento do diâmetro do caule das plantas do pepino japonês aos 18, 32, 47 e 69 DAT, os quais foram obtidos valores médios de 5,66; 7,94; 8,58 e 13,62 mm, respectivamente, notando uma maior variação no crescimento do caule na última data em que os dados foram coletados.

Durante a fase vegetativa da cultura, as plantas foram irrigadas com maiores frequências, repondo a umidade até a capacidade de campo, sempre quando o potencial matricial do solo atingisse 15 kPa. Dessa maneira, evitou-se a ocorrência do estresse das plantas por déficit hídrico na fase vegetativa, sendo esta a fase fenológica de maior importância no desenvolvimento vegetativo das plantas. Este fato pode justificar a não diferenciação estatística no diâmetro do caule, em função da tensão de água no solo.

Pode-se verificar, pelo gráfico da Figura 18, esta justificativa, considerando que os tratamentos se iniciaram na fase reprodutiva aos 50 DAT (início da floração de 50% das plantas). A diferença no diâmetro do caule em

relação ao tempo é visível quando se comparam os 47 DAT com os 69 DAT. Contudo, apesar de se notar pequena diferença no diâmetro entre os tratamentos aos 69 DAT, não se obteve diferença estatística, ou seja, a umidade do solo não interferiu no crescimento do diâmetro do caule até esta data, após os tratamentos serem iniciados. Isso pode indicar que o pepineiro expressa a ocorrência de déficit hídrico por meio de outros parâmetros na fase reprodutiva, possivelmente pela queda na produção.

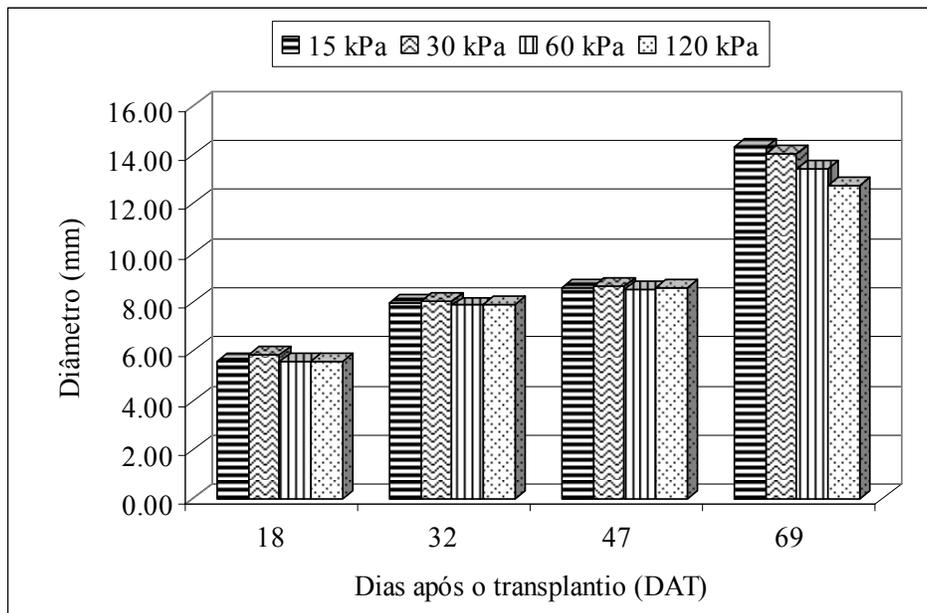


FIGURA 18 Diâmetro do caule das plantas em função do tempo, para diferentes tensões de água no solo, no experimento II (fase reprodutiva).

No gráfico da Figura 19 pode-se visualizar a variação do diâmetro do caule (DC) das plantas do pepino japonês ao longo do tempo (DAT). A equação de regressão da forma quadrática com coeficiente (R^2) de 96,82% está bem ajustada para se explicar o modelo.

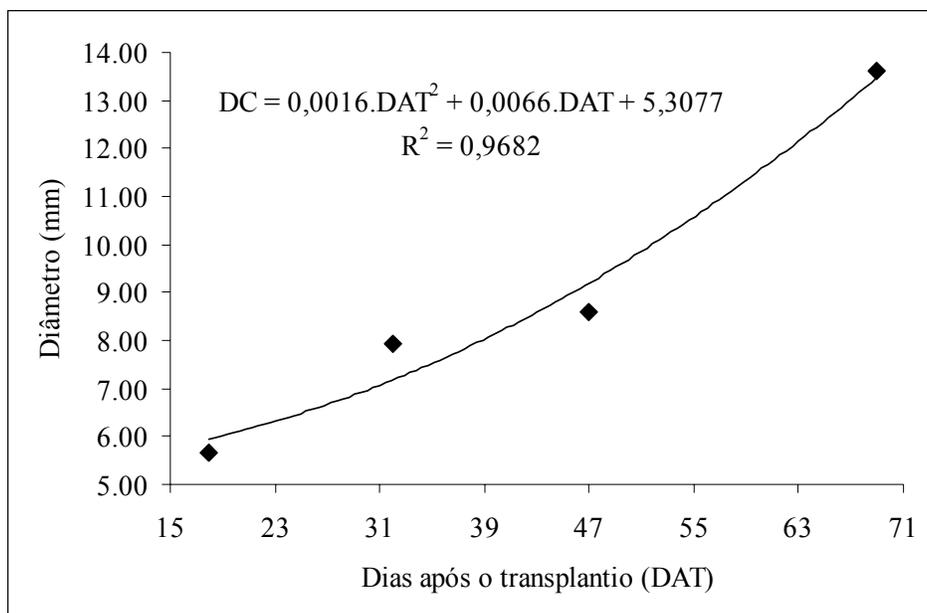


FIGURA 19 Diâmetro do caule das plantas, em função do tempo, no experimento II (fase reprodutiva).

4.1.3.2 Altura das plantas

Com médias de altura de 9,7; 29,2 e 115,7 cm, aos 18, 32 e 47 DAT, respectivamente, não se justificou efetuar uma análise estatística para este parâmetro, devido ao crescimento homogêneo das plantas, as quais não foram estressadas com déficit hídrico na fase vegetativa (irrigou-se sempre quando a tensão atingia 15 kPa).

Dessa maneira, mesmo com o início dos tratamentos na fase reprodutiva (50 DAT), a próxima medição de altura, aos 69 DAT, não foi realizada, pois, bem antes dessa data, as plantas alcançaram a altura da poda apical. Para um melhor esclarecimento, na Figura 20 pode-se visualizar a altura das plantas aos 45 DAT (A) e aos 60 DAT (B).



FIGURA 20 Altura das plantas aos 45 DAT (A) e aos 60 DAT (B).

4.1.3.3 Número de folhas

As médias do número de folhas aos 18, 32 e 47 DAT foram de 4, 7 e 28 folhas, respectivamente. Desse modo, esses dados não foram analisados estatisticamente, devido à implantação dos tratamentos relacionados ao estresse hídrico na fase reprodutiva somente aos 50 DAT, o que acarretou em uma homogeneidade desse parâmetro nas plantas enquanto na fase vegetativa.

4.1.3.4 Produtividade do pepino japonês

Observam-se, pela análise de variância (Tabela 12), diferenças estatísticas para a quantidade de frutos e massa dos frutos, para as diferentes tensões de água no solo, na fase reprodutiva da cultura.

TABELA 12 Análise de variância para as médias do número de frutos e massa dos frutos (kg), em função dos tratamentos, no experimento II (fase reprodutiva).

Fonte de variação	GL	QM	
		Frutos	Massa
Tensão	3	89,7833 **	1,2517 **
Resíduo	16	18,2250	0,2591
Média geral		16,4500	1,7705
CV		25,95 %	28,75%

** : Significativo, a 5% de probabilidade

Nos gráficos das Figuras 21 e 22, é mostrada uma redução linear no número de frutos e da massa dos frutos em função do incremento do déficit hídrico aplicado pelos tratamentos na fase reprodutiva (experimento II), obtendo coeficientes de correlação linear (R^2) de 97,96% e 98,62%, respectivamente.

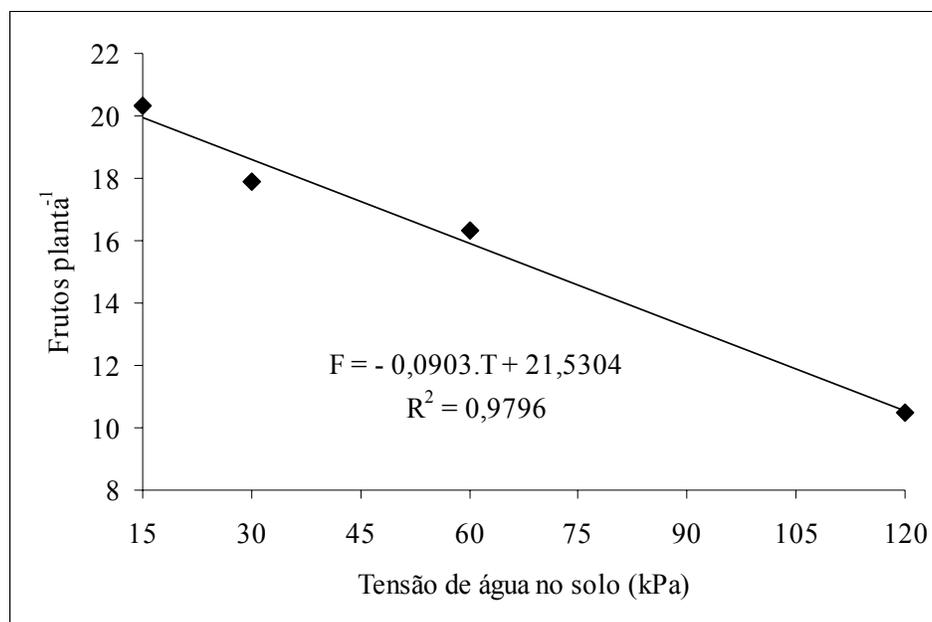


FIGURA 21 Número de frutos em função das tensões de água no solo, no

experimento II (fase reprodutiva).

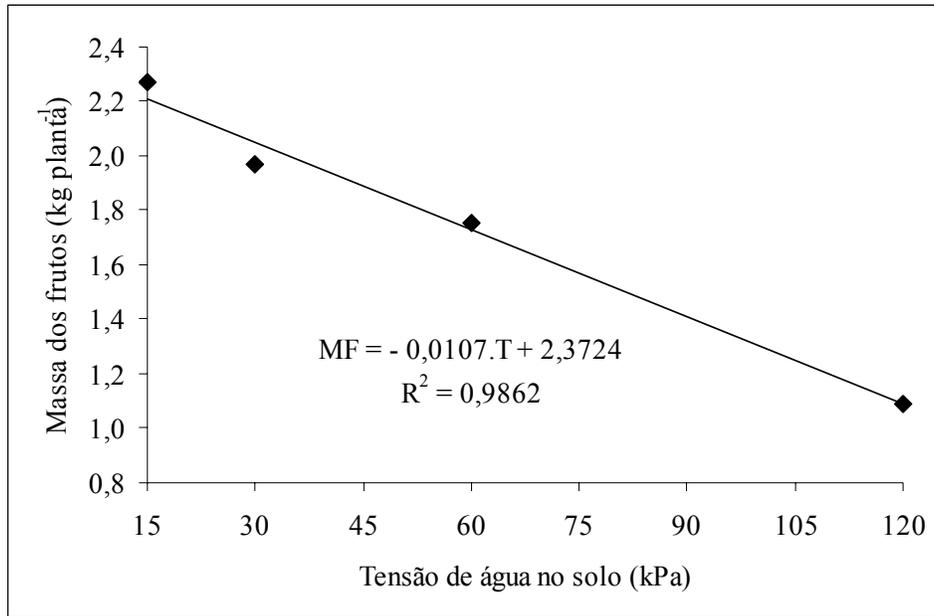


FIGURA 22 Massa dos frutos em função das tensões, no experimento II (fase reprodutiva).

O mesmo foi observado por Santos (2002), que também encontrou diferenças significativas na produção total do pepino cultivado em ambiente protegido, utilizando, como tratamento, tensões de água no solo de 10, 25, 45 e 60 kPa na fase reprodutiva, obtendo correlação linear negativa de 94,36%.

Semelhantemente, Marouelli et al. (1991) concluíram que o estágio de frutificação do tomateiro é o mais sensível à deficiência de água no solo. Correlação linear negativa de acordo com as tensões utilizadas entre 15 e 70 kPa para a produtividade e o número de frutos comerciais por planta, no estágio de frutificação da mesma cultura também foi obtida por Marouelli et al. (2003).

Estes resultados estão de acordo com os de Doorenbos & Pruit (1977) e Withers & Vipond (1977), pois o aumento da tensão matricial provoca déficit hídrico na cultura e, quando aplicado na fase do florescimento até a colheita,

período crítico da cultura, possivelmente provoca redução da produtividade.

A produtividade comercial e a massa média de bulbos de alho apresentaram correlações lineares negativas com as tensões de água no solo (20, 40, 80 e 160 kPa) aplicadas no estágio de bulbificação da cultura, obtendo a maior produtividade de bulbos associada à tensão máxima de água no solo de 20 kPa (Marouelli et al., 2002b).

Assim como no experimento I, as maiores produtividades neste experimento (II) também foram obtidas com irrigações sob as tensões de 15 e 30 kPa. Tais resultados concordam com Silva & Marouelli (1998), ao afirmarem que as hortaliças, de modo geral, apresentam melhores produções quando submetidas a tensões da ordem de 10 a 40 kPa.

De maneira geral, observou-se, para o tratamento de 15 kPa, a maior produtividade média, de 2,27 kg planta⁻¹, contra 1,09 kg planta⁻¹ para a tensão de 120 kPa. Assim como citado na fase vegetativa, de acordo com dados técnicos e de outros autores (Chartzoulakis & Michelakis, 1990; Alfonso Osorio et al., 1984; Robles, 1985; Martins et al., 1995) para esta cultura, a média de produção obtida neste experimento foi relativamente baixa.

Talvez isso possa ser explicado pelas condições climáticas a que a cultura foi submetida, podendo ter sido afetada pelas temperaturas e umidades relativas ocorridas fora das faixas recomendadas para o cultivo do pepino em casa de vegetação (Sganzerla, 1995). A mesma situação foi observada por Santos (2002), que também obteve uma produção reduzida para esta cultura em ambiente protegido.

Ainda, esta redução pode ser devido ao fato de que foram contabilizados apenas frutos comerciais, bem como foi utilizada a cultivar pepino japonês Master Green, da qual não se tem referências de produção.

Considerando a tensão de 15 kPa como referencial, ou seja, a tensão aplicada que produziu o maior número de frutos e de massa de frutos por planta,

foi atribuído o percentual de redução na produtividade das duas variáveis analisadas. Pela Tabela 13, nota-se um menor percentual de diminuição dessas variáveis entre as tensões de 15, 30 e 60 kPa. Já a tensão de 120 kPa se mostrou a mais prejudicial em redução de produção na fase reprodutiva (experimento II).

TABELA 13 Valores percentuais de queda na produtividade de frutos e massa para cada tratamento aplicado, no experimento II (fase reprodutiva).

Tratamento Tensão (kPa)	Fase Reprodutiva	
	Redução no número de frutos planta ⁻¹ (%)	Redução na massa dos frutos planta ⁻¹ (%)
15	0	0
30	11,82	13,16
60	19,70	22,66
120	48,28	51,96

4.1.3.5 Eficiência do uso da água (EUA)

Na Tabela 14 são apresentados, para um hectare, a massa de frutos alcançada, o consumo de água no experimento II (fase reprodutiva), o volume total de água consumido durante todo o ciclo e a eficiência do uso da água para cada tratamento.

TABELA 14 Massa dos frutos, consumo de água no experimento II (fase reprodutiva), volume aplicado no ciclo total da cultura e eficiência do uso da água para a cultura do pepino japonês.

Tensão (kPa)	Massa dos frutos (kg ha ⁻¹)	Consumo de água (m ³)		EUA (kg m ⁻³ ha ⁻¹)
		Fase reprodutiva	Ciclo total	
15	51.545,45	1.804,18	2.796,98	18,43
30	44.761,36	1.595,55	2.588,35	17,29
60	39.863,64	989,72	1.982,52	20,11
120	24.761,36	852,83	1.845,63	13,42

Pelos dados da Tabela 14, verifica-se que a melhor eficiência foi obtida para o tratamento irrigado com tensão de 60 kPa e, apesar disso, este valor se mostrou somente um pouco superior àqueles obtidos com as tensões de 15 e 30 kPa. Assim, pode-se concluir que estas tensões também podem ser analisadas economicamente, pois houve pouca redução dos valores das mesmas quando comparadas à tensão de 60 kPa. Já a pior eficiência do uso da água foi gerada pelo tratamento de 120 kPa.

De forma contraditória aos resultados obtidos neste experimento, Chieppe Júnior et al. (2008), analisando o efeito de diferentes métodos de controle da irrigação para a cultura do feijoeiro, observaram uma tendência à elevação da EUA nos tratamentos que utilizaram as tensões de 30 kPa na fase reprodutiva e 60 kPa na fase vegetativa, acarretando em uma economia de água durante todo o ciclo da cultura, já que menor quantidade de água foi aplicada na fase vegetativa, sem afetar a produtividade da cultura.

A eficiência do uso de água para a cultura do alho variou de 0,86 a 1,99 kg m⁻³, sendo reduzida linearmente, em até 57%, com o aumento das tensões aplicadas (20, 40, 80 e 160 kPa), tanto no estágio vegetativo quanto no de bulbificação, indicando estar diretamente correlacionada com a lâmina de água aplicada às plantas (Marouelli et al., 2002a).

A maior eficiência do uso da água foi promovida pela tensão de irrigação de 60 kPa que, neste caso, não foi aquela que obteve a maior produtividade em relação às diferentes tensões utilizadas na fase reprodutiva da cultura (experimento II). Portanto, é aconselhável realizar uma análise econômica criteriosa, a partir da quantidade de água aplicada para a tensão de 60 kPa, com a finalidade de se verificar a compensação sobre a obtenção de uma maior produtividade com a utilização de menores tensões de água no solo, redundando em níveis de aplicações de água mais elevados.

4.2 Estudo II

4.2.1 Condições climáticas dentro da casa de vegetação

A coleta dos dados teve início aos 18 DAT, data em que se iniciaram os tratamentos. As temperaturas máximas, mínimas e médias no interior da casa de vegetação durante a condução do experimento são apresentadas na Figura 23.

Neste período, a temperatura média do ar no interior da casa de vegetação foi de 25,8°C, as mínimas atingidas ficaram entre 9,1°C e 22,7°C e as máximas, entre 21,8°C e 42,7°C.

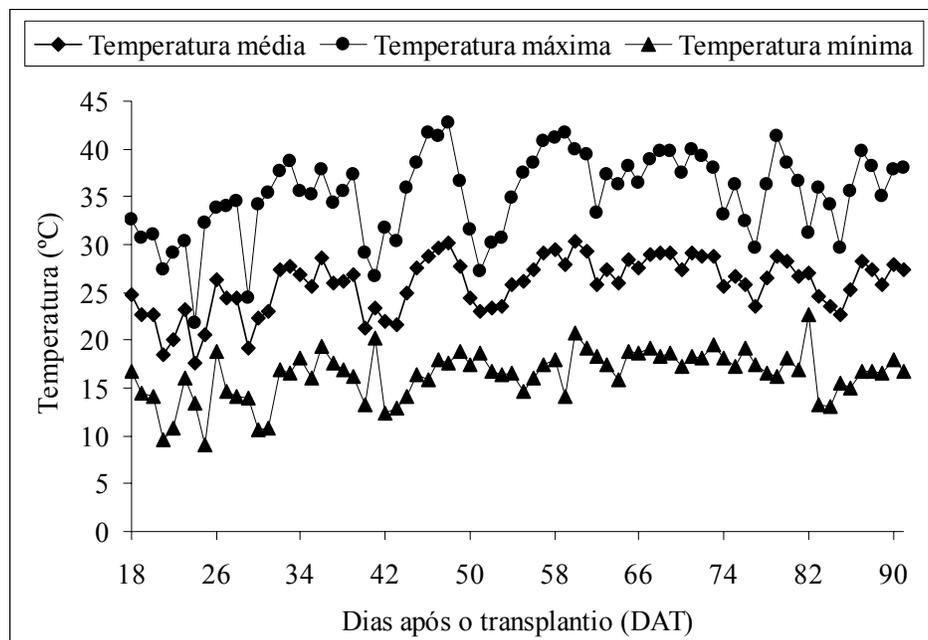


FIGURA 23 Temperatura máxima, mínima e média no interior da casa de vegetação, registradas durante a execução do experimento.

No gráfico da Figura 24 são apresentados os valores máximos, mínimos

e médios da umidade relativa do ar no interior da casa de vegetação durante a condução do experimento. Verifica-se que a umidade relativa máxima variou de 56% e 87%, a mínima entre 16% e 65% e a média geral foi de 56%.

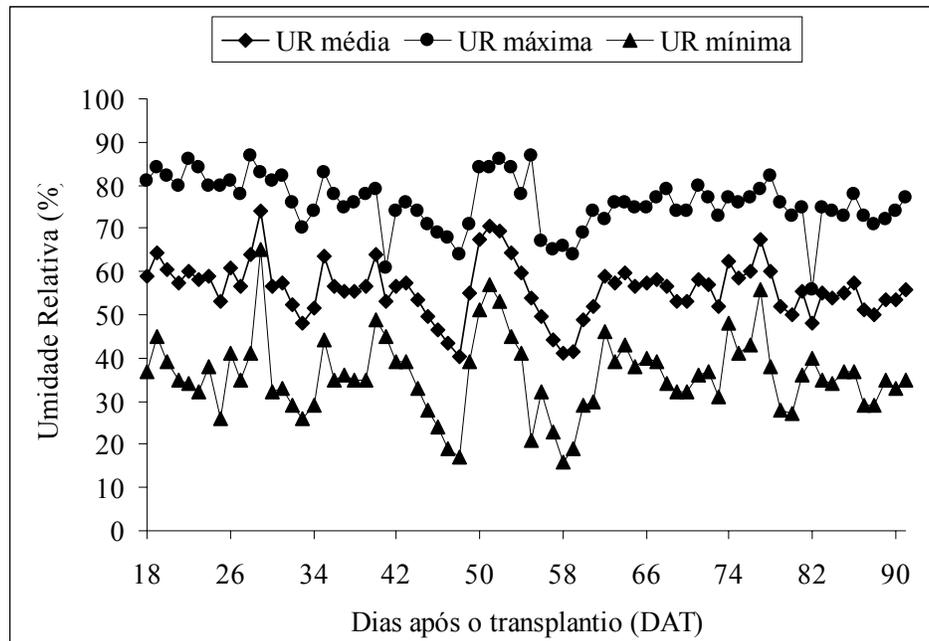


FIGURA 24 Umidade relativa máxima, mínima e média no interior da casa de vegetação, registradas durante a execução do experimento.

Segundo Sganzerla (1995), a faixa ideal de umidade relativa do ar está entre 70% e 90% e as temperaturas ótimas para um bom desenvolvimento da cultura do pepino são entre 20° e 25°C, durante o dia e 18° e 22°C, durante a noite. Observa-se, então, que o valor médio da umidade relativa do ar encontrado neste trabalho (56%) está bem abaixo da faixa recomendada pelo autor. O mesmo ocorreu com os valores de temperatura, levando-se em conta que as temperaturas mínimas ocorrem durante a noite e as máximas durante o dia, a média das mínimas foi de 16,4°C e a média das máximas, 35,2°C. Tais

condições climáticas fora da faixa ótima podem afetar o crescimento, a floração e a frutificação das plantas, redundando em baixas produtividades.

4.2.2 Evaporação do minitanque e lâminas de irrigação

A evaporação do minitanque, coletada diariamente, às 17 horas, durante o período de condução do experimento e aplicação dos tratamentos, está representada no gráfico da Figura 25. A evaporação máxima diária foi de 6,8 mm, a mínima de 1,0 mm e a média resultou em 3,3 mm. O valor total da evaporação observada a partir do início dos tratamentos (18 DAT) e durante o restante do ciclo da cultura foi de 243,8 mm.

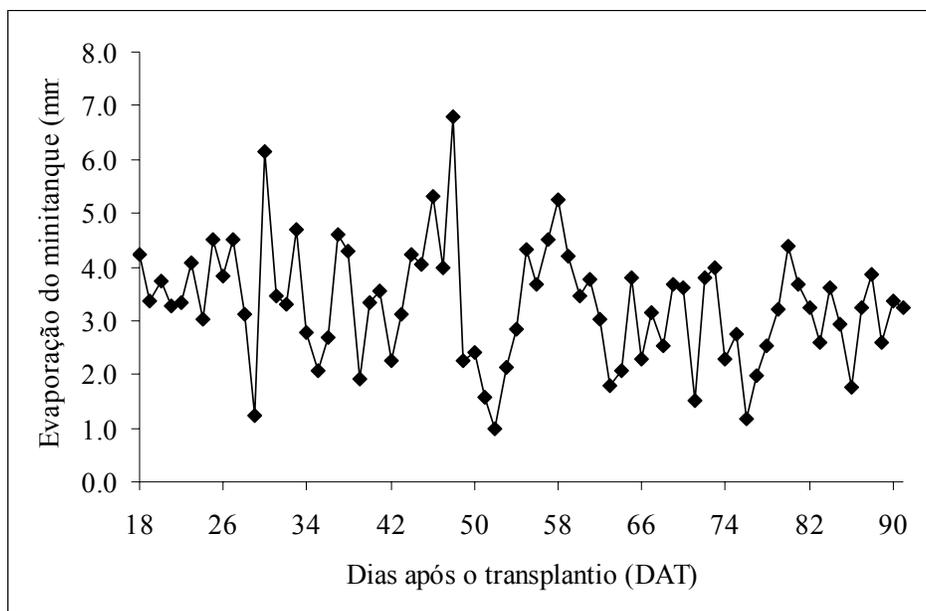


FIGURA 25 Evaporação diária do minitanque, ocorrida no interior da casa de vegetação, após o início dos tratamentos.

Observam-se, no gráfico da Figura 26, os valores das lâminas de irrigação acumuladas nos tratamentos obtidos a partir dos percentuais de

reposição de água no solo.

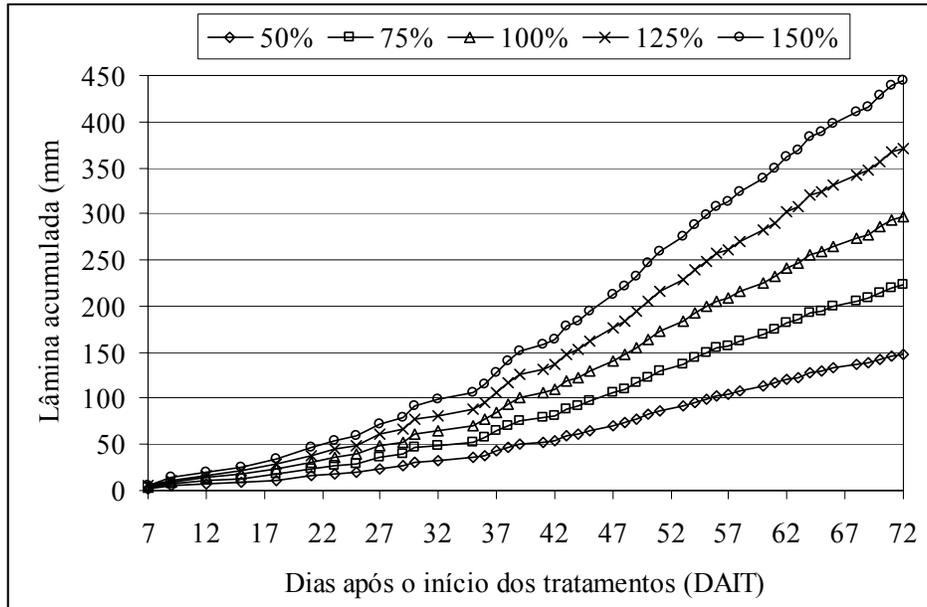


FIGURA 26 Lâminas de água acumuladas após o início dos tratamentos de irrigação.

No início da aplicação dos tratamentos, observa-se uma pequena diferenciação entre as lâminas de irrigação. Entretanto, essa diferença foi acentuando-se ao longo do experimento. No final do ciclo, as lâminas totais aplicadas foram de 148,5; 222,7; 296,9; 371,1 e 445,4 mm para os tratamentos de 50%, 75%, 100%, 125% e 150% de reposição de água, respectivamente.

4.2.3 Coeficiente “K” da cultura

Para o manejo de irrigação, no que se refere à aplicação da quantidade adequada de água para o bom desenvolvimento de uma cultura, o volume de água aplicado pode ser estimado relacionando-se a lâmina de irrigação e a evaporação no tanque classe “A” (ETCA) por meio de percentuais ou

coeficientes, definidos para cada condição de cultivo (Carrizo et al., 1983; Coelho et al., 1994; Hamada & Testezlaf, 1995; Andrade Júnior & Klar, 2003).

Estes coeficientes, denominados “K”, representam o consumo de água pelas plantas nas suas diferentes fases, podendo informar a quantidade de água necessária a se aplicar durante o ciclo da cultura, com a finalidade de fornecer uma lâmina adequada às plantas. Com esta informação, podem-se promover irrigações na quantidade e no momento pertinentes ao consumo das plantas para uma maior produção, tornando o processo mais eficiente. Da mesma forma, o conhecimento do coeficiente K pode gerar economia sobre os custos com aplicações de água e, ainda, reduzir os impactos ambientais na sua utilização.

Na Figura 27 é mostrado o consumo de água pela cultura do pepino japonês, dado pelo coeficiente “K”, em relação à evaporação do minitanque, a partir da data da primeira irrigação, aplicando-se a lâmina de 100% de reposição. Observam-se menores valores de “K” no início da fase vegetativa das plantas, notando-se um aumento desses valores a partir dos 40 DAT. Logo, verifica-se que o consumo de água aumentou devido ao maior desenvolvimento vegetativo das plantas, se aproximando do início da floração e, posteriormente, da mudança para a fase reprodutiva.

Entre os 60 e os 81 DAT, verificam-se os maiores consumos de água, já que a cultura se encontrava em plena fase reprodutiva. Isto é explicado pela maior quantidade de água necessária para a produção de flores e frutos, uma vez que o fruto do pepino japonês contém um grande teor de água na polpa.

A partir dos 81 DAT, o consumo de água começou a decrescer, configurando uma menor produção de frutos de acordo com o tempo, até o fim do ciclo analisado para o pepineiro japonês.

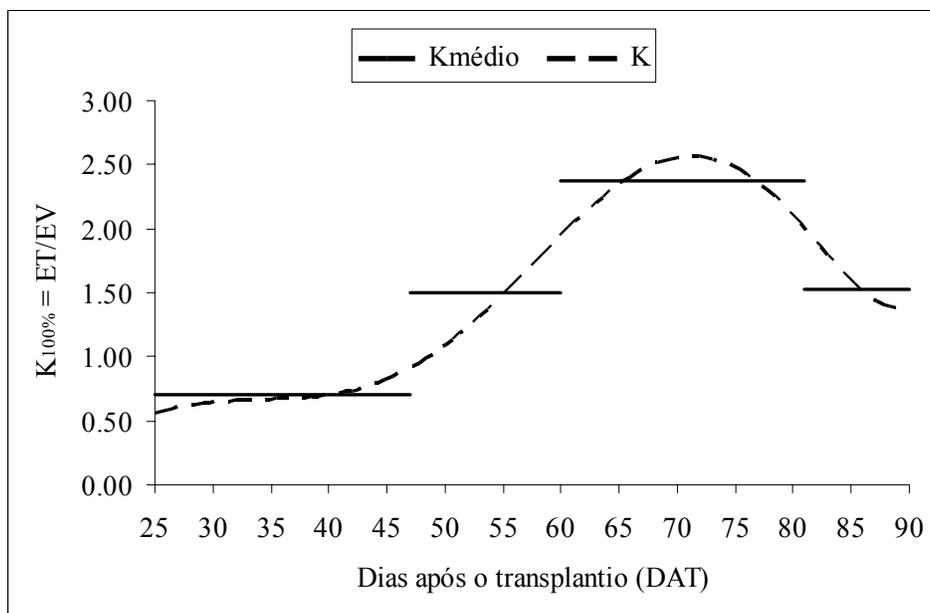


FIGURA 27 Valores do coeficiente $K_{m\u00e9dio}$ e K , obtidos por meio do tratamento de 100% de reposi\u00e7\u00e3o.

Os valores de “ K ” em fun\u00e7\u00e3o do tempo/peri\u00f3do para a lâmina de 100% de reposi\u00e7\u00e3o s\u00e3o apresentados na Tabela 15.

TABELA 15 Valores de “ K ” durante o ciclo da cultura, para o tratamento de 100% de reposi\u00e7\u00e3o.

Coeficiente “ K ” para o tratamento de 100%	Per\u00edodo (DAT)			
	25-47	47-60	60-81	81-90
	0,71	1,50	2,38	1,53

O consumo m\u00e9dio de \u00e1gua pelas plantas na fase vegetativa foi de 6,20 mm e, na fase reprodutiva, de 7,09 mm, o que proporcionou um aumento de 14,43% nesta \u00faltima fase. O coeficiente “ K ” m\u00e9dio na fase vegetativa obteve valor de 1,37; j\u00e1 na fase reprodutiva, o valor foi de 2,18, resultando em um aumento de 59,56% nesta \u00faltima fase, confirmando que a cultura \u00e9 mais exigente

em água em sua fase reprodutiva.

4.2.4 Avaliação do desenvolvimento e produção das plantas

4.2.4.1 Diâmetro do caule

Por meio da análise de variância, pode-se observar, pelos dados da Tabela 16, que tanto a lâmina de reposição de água quanto o tempo analisado e a interação entre as duas variáveis mostraram diferenças significativas, a 1% de probabilidade, para o diâmetro do caule das plantas ao longo do experimento.

TABELA 16 Análise de variância para as médias dos diâmetros do caule em função dos tratamentos de irrigação.

Fonte de variação	GL	QM
		Diâmetro
Lâmina (L)	4	12,7982 **
Tempo (DAT)	3	220,3201 **
Interação (L x DAT)	12	6,2240 **
Resíduo	100	2,7454
Média geral		8,4325
CV		19,65 %

** : Significativo, a 1% de probabilidade.

A partir da interação (L x DAT) visualizada na análise de variância (Tabela 16), as lâminas utilizadas como tratamento foram desdobradas dentro do tempo (Figura 28). Verifica-se que apenas aos 69 DAT houve diferença significativa, a 1% de probabilidade, para o diâmetro do caule das plantas, de acordo com as diferentes lâminas de reposição utilizadas como tratamentos, mostrando-se com um ótimo ajuste por meio de uma regressão polinomial quadrática.

Este resultado pode ser explicado pelo menor consumo de água pelas plantas mais jovens, porém, as mesmas seguem se desenvolvendo, seguindo a

tendência de variação do tempo. Desse modo, devido ao maior intervalo entre a coleta desses dados e, estando as plantas em fase reprodutiva, observou-se maior variação no crescimento do caule em função da lâmina na última data coletada.

Aos 69 DAT, o maior valor obtido para o diâmetro do caule foi de 14,80 mm, referente à reposição integral de água (100%). Em comparação com este diâmetro obtido, foram observados valores percentuais de queda de 16,96%, com um diâmetro de 12,29 mm, para a lâmina de 75% e queda de 8,54%, com diâmetro de 13,54 mm, referente à lâmina de 125%. Porém, as maiores quedas relativas se deram com as lâminas de 50% e 150%, obtendo-se, com as mesmas, diâmetros de caule de 9,57 e 10,02 mm, resultando em uma redução percentual de 35,37 e 32,33%, respectivamente.

É importante destacar que o déficit hídrico gerado pelas lâminas de 50% e 75% foram mais prejudiciais ao crescimento do caule ao longo do tempo do que o excesso hídrico ocasionado pelas lâminas de 125% e 150% de reposição. De acordo com estes resultados, o excesso de água pode não ter acarretado em um efeito tão prejudicial, devido à boa drenagem do solo.

Outra justificativa seria devido ao fato de que, aos 69 DAT, as plantas possuem um sistema radicular maior e, estando em plena fase reprodutiva, a necessidade hídrica aumenta, sendo necessário um manejo adequado das irrigações, de forma a se aplicar a quantidade de água necessária para um bom desenvolvimento da cultura (Oliveira & Tagliaferre, 2005). Dessa forma, o efeito do déficit hídrico acumulado para o sistema radicular faz com que o mesmo fique menos abrangente no solo, o que também pode causar deficiência na absorção de nutrientes.

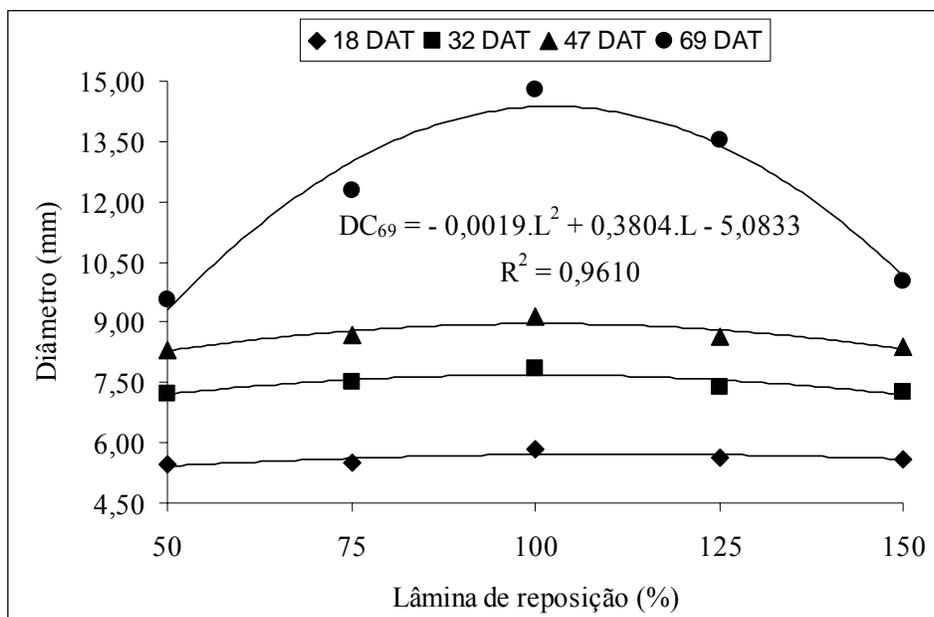


FIGURA 28 Diâmetro do caule do pepino japonês, em função dos tratamentos de irrigação, ao longo do tempo.

De maneira análoga, por meio da interação (L x DAT), efetuou-se o desdobramento do tempo (DAT) dentro de cada lâmina (L) utilizada como tratamento. Diferenças significativas, a 1% de probabilidade, foram encontradas para o diâmetro do caule das plantas em todas as lâminas de reposição adotadas neste trabalho. Isso mostra que as plantas seguiram a tendência de variação linear positiva para os diâmetros do caule, de acordo com as lâminas percentuais de reposição em função do tempo, obtendo excelentes coeficientes de ajuste (R^2), conforme mostrado no gráfico da Figura 29.

Ainda pelo mesmo gráfico, nota-se que, no início da aplicação dos tratamentos, houve uma pequena diferença entre os diâmetros, devido ao fato de as plantas terem sido irrigadas de forma homogênea no período de pegamento. Não obstante, esta diferença foi acentuando-se ao longo do experimento e, já aos 32 DAT, a lâmina de 100% de reposição se mostrou superior quanto ao

crescimento do caule por todo o período, seguida, em ordem, pelas lâminas de 75%, 125%, 150% e 50%, o que perdurou até os 47 DAT. Na última data de coleta (69 DAT), os resultados relativos às lâminas de déficit e excesso hídrico se mostraram diferentes dos valores de diâmetros obtidos até então, resultando em valores decrescentes no diâmetro pela seguinte ordem: 100%, 125%, 75%, 150% e 50% de reposição de água.

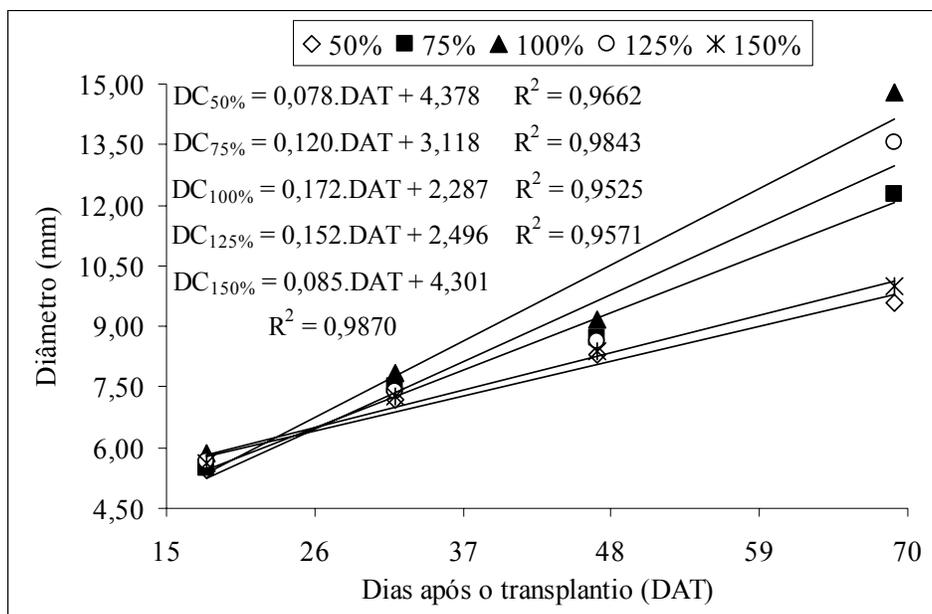


FIGURA 29 Diâmetro do caule, em função do tempo, para diferentes tratamentos de irrigação.

Estes resultados demonstram que o déficit e o excesso hídrico no solo foram sempre prejudiciais ao crescimento do diâmetro do caule. Dessa maneira, a maior diferença entre os diâmetros pode ser observada aos 69 DAT. Nesta data, as lâminas de 50% e 150% aparecem com os menores valores, obtendo maior efeito redutivo ao diâmetro do caule. Isso significa que o estresse hídrico acumulado pode causar problemas fisiológicos às plantas, afetando o

crescimento do caule e, sob condições severas, o déficit pode provocar a murcha permanente do vegetal. Da mesma forma, o excesso hídrico acumulado pode ocasionar em baixa absorção pelas plantas, dos nutrientes contidos no solo, devido a lixiviação dos mesmos pelo excesso de água aplicada, redundando prejuízos aos vegetais no que tange ao seu desenvolvimento, bem como em maiores custos para a aplicação de maior volume de água, tornando o sistema de cultivo irrigado ineficiente.

4.2.4.2 Altura das plantas

Pelos dados da Tabela 17, nota-se que tanto a lâmina de reposição de água quanto o tempo analisado e a interação entre as duas variáveis mostraram diferenças significativas, a 1% de probabilidade, para a altura das plantas ao longo do experimento. De igual forma, Loureiro et al. (1990) também observaram significância sobre a altura das plantas do feijoeiro, quando avaliaram o efeito de oito lâminas de irrigação.

TABELA 17 Análise de variância para as médias da altura das plantas em função dos tratamentos de irrigação.

Fonte de variação	GL	QM
		Altura
Lâmina (L)	4	203,0908 **
Tempo (DAT)	2	92.120,4811 **
Interação (L x DAT)	8	79,3212 ***
Resíduo	75	38,0519
Média geral		50,5768
CV		12,20%

** : Significativo, a 1% de probabilidade.

*** : Significativo, a 5% de probabilidade.

A partir da interação (L x DAT) visualizada na análise de variância (Tabela 17), a lâmina foi desdobrada dentro do tempo e mostrou que, apenas aos

47 DAT, houve diferença estatística, a 1% de probabilidade, para a altura das plantas, de acordo com os diferentes tratamentos utilizados para reposição de água no solo, mostrando-se com um excelente ajuste por meio de uma regressão polinomial quadrática, visualizada na Figura 30.

No início da aplicação dos tratamentos, praticamente não houve diferença entre a altura das plantas, concluindo-se que isso ocorreu devido às irrigações homogêneas no período de pegamento. Contudo, essa diferença foi acentuando-se ao longo do experimento e, a partir dos 32 DAT, percebe-se que a altura das plantas proporcionadas pelo tratamento de 100% de reposição se mostrou superior à dos demais tratamentos, por todo o período, até a capação da gema apical. Este fato pode ser claramente visualizado na Figura 30, que aponta a maior diferença entre os tratamentos, aos 47 dias após o transplantio.

Nesta data, o maior valor obtido para a altura das plantas foi de 122,50 cm, referente à lâmina de 100% de reposição de água. Em comparação com esta maior altura, foram observados valores percentuais de redução de 5,26%, com altura de 116,06 cm, para a lâmina de 75% e redução de 3,54%, com altura de 118,17 cm, referente à lâmina de 125%. Porém, as maiores quedas relativas ocorreram com as lâminas de 50% e 150%, ocasionando alturas de planta de 105,44 e 107,44 cm, ocorrendo queda percentual de 13,92% e 12,29%, respectivamente.

A partir desses resultados, pode-se afirmar que o estresse por déficit e o excesso hídrico gerado pelas lâminas de 75% e 125% de reposição foram pouco prejudiciais à altura das plantas. Confirma-se também que o pepineiro japonês talvez demonstre os efeitos dos tratamentos por meio de outros parâmetros, já que, mesmo com maiores déficits e excessos hídricos ocasionados pelas lâminas de 50% e 150% de reposição de água, respectivamente, não houve grandes diferenças na altura das plantas, apesar de ocorrer significância estatística entre os diferentes tratamentos para os 47 DAT.

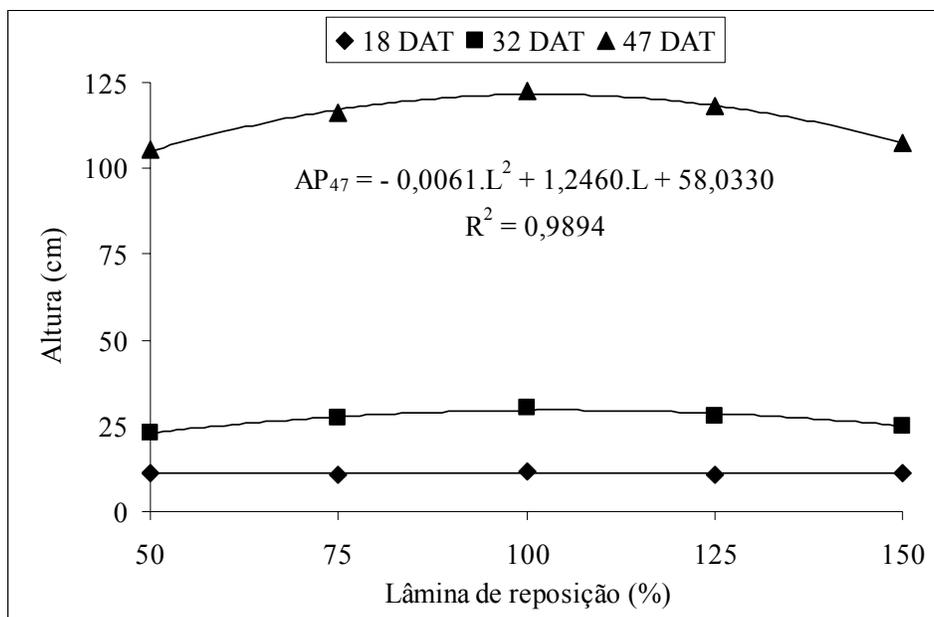


FIGURA 30 Altura das plantas, em função dos tratamentos de irrigação, ao longo do tempo.

Similarmente, diferenças significativas, a 1% de probabilidade, foram verificadas para todas as lâminas adotadas ao longo do período para o desdobramento do tempo (DAT) dentro dos tratamentos (L).

As tendências de crescimento sobre a altura das plantas (AP) para cada uma das lâminas analisadas em função do tempo podem ser descritas por meio de equações de regressão polinomial quadrática (Figura 31), obtendo-se, para todas elas, um excelente coeficiente de ajuste (R^2) igual a 100%.

Ainda se pode observar, no gráfico da Figura 31, uma variação negativa da altura das plantas quando instaurado o déficit, gerado pelas lâminas de 50% e 75% e o excesso, promovido pelas lâminas de 125% e 150% de reposição de água no solo. Desse modo, a diferença na altura das plantas entre os tratamentos foi se acentuando ao longo do experimento, verificando-se, com mais clareza, aos 47 DAT, que as lâminas de 75%, 100% e 125% obtiveram valores

aproximados, contudo, a lâmina de 100% sempre mostrou valores de maior magnitude.

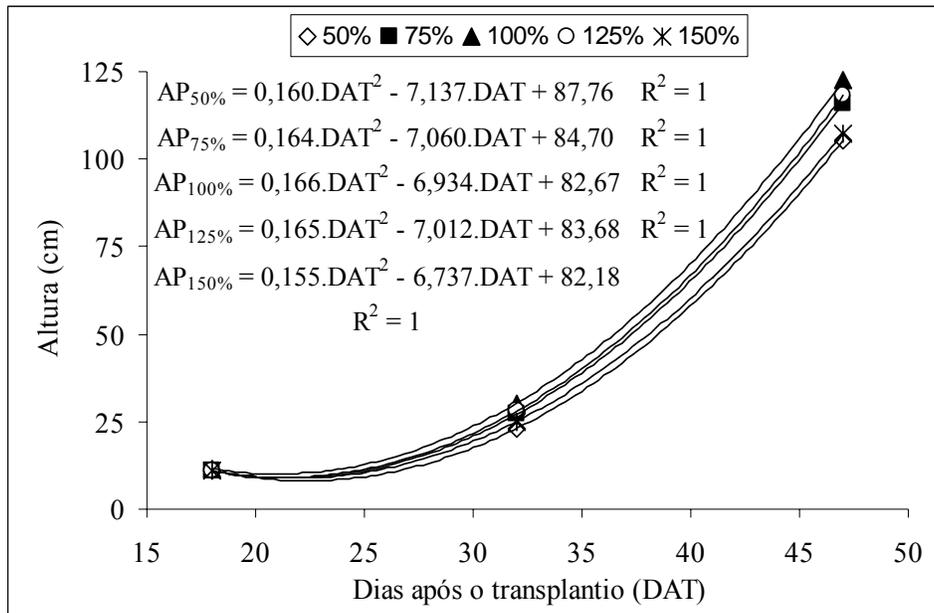


FIGURA 31 Altura das plantas em função do tempo, para diferentes tratamentos de irrigação.

De alguma maneira, o déficit e o excesso hídrico no solo, gerados pelos tratamentos de 75% e 125%, respectivamente, foram pouco prejudiciais ao crescimento das plantas. Entretanto, o efeito redutivo causado pelas lâminas de 50% e 150% à altura das plantas foi um pouco maior, mostrando que os efeitos de aplicações excessivas ou deficitárias podem variar de acordo com a intensidade e o tempo de duração do procedimento imposto.

Uma visão geral do experimento aos 47 dias após o transplantio pode é proporcionada na Figura 32, na qual se percebem poucas variações na altura das plantas entre as unidades experimentais casualizadas pelos diferentes tratamentos.



FIGURA 32 Variações na altura das plantas aos 47 DAT entre as unidades experimentais casualizadas pelos diferentes tratamentos.

A aplicação excessiva de água provoca a lixiviação de nutrientes do solo, além de permitir o desenvolvimento de um ambiente excessivamente úmido às raízes, cuja consequência é a redução nas taxas de respiração e extração de água do solo, colaborando, de maneira negativa, no crescimento das plantas. Em contrapartida, a aplicação deficitária de água provoca a redução do crescimento em função da diminuição nas taxas referentes aos processos de extração de água e evapotranspiração da planta.

Nascimento et al. (2004) encontraram diferenças estatísticas, a 1% de probabilidade, para a altura das plantas do feijão-caupi, aos 43 dias após a emergência, observando um efeito reductivo, quando comparado à testemunha (100% de água disponível no solo), de 10% e 26%, para níveis de 80% e 60% de

água disponível no solo (AD), respectivamente. Os mesmos autores notaram, ainda, que o nível de 40% de AD se mostrou mais acentuado, com uma magnitude de 48% de valores reduzidos sobre a altura das plantas.

Carvalho et al. (2004) concluíram que a altura das plantas da berinjela foi afetada com o aumento do déficit hídrico na fase vegetativa, utilizando, como tratamentos, quatro níveis de reposição de água no solo (100%, 80%, 60% e 40% da evapotranspiração).

4.2.4.3 Avaliação do número de folhas

Conforme observado na análise de variância (Tabela 18), diferenças estatísticas foram verificadas no número de folhas para as diferentes lâminas, tempo e a interação entre as duas variáveis. Essas diferenças podem estar relacionadas com o estresse hídrico sofrido pelas plantas e, conseqüentemente, acarretar em baixa produção de frutos.

TABELA 18 Análise de variância para as médias do número de folhas em função dos tratamentos.

Fonte de variação	GL	QM
		Folhas
Lâmina (L)	4	30,3167 **
Tempo (DAT)	2	3.906,1333 **
Interação (L x DAT)	8	11,3417 ***
Resíduo	75	4,5511
Média geral		11,6000
CV		18,39%

** : Significativo, a 1% de probabilidade.

*** : Significativo, a 5% de probabilidade.

Pela interação (L x DAT), visualizada na análise de variância (Tabela 18), constata-se que as lâminas foram desdobradas dentro do tempo e que apenas aos 47 DAT houve diferença significativa, a 1% de probabilidade, para o

número de folhas das plantas, de acordo com as diferentes lâminas utilizadas como tratamento, mostrando-se com um ótimo ajuste por meio da regressão polinomial quadrática apresentada na Figura 33.

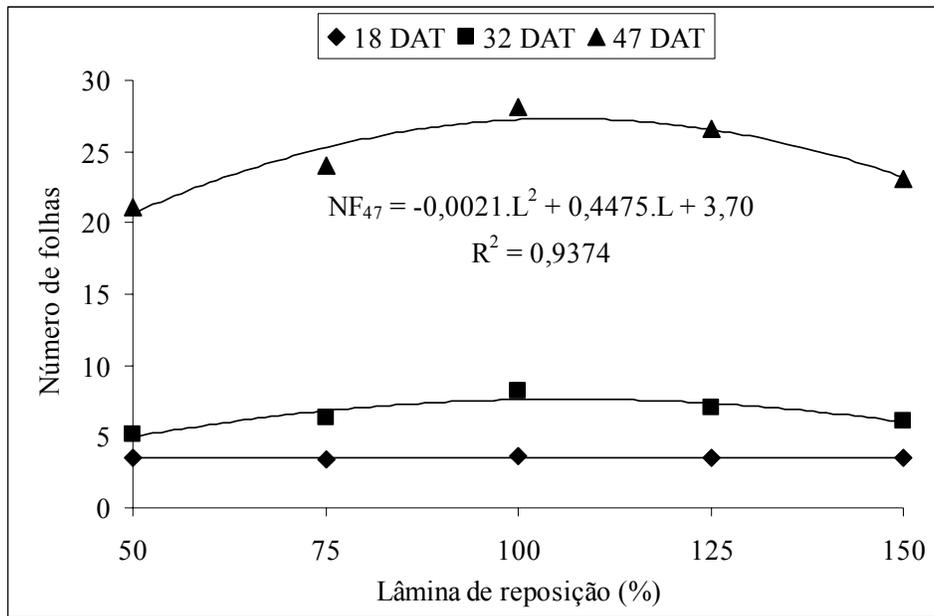


FIGURA 33 Número de folhas, em função dos tratamentos de irrigação, ao longo do tempo.

Da mesma forma, por meio da interação (L x DAT), efetuou-se o desdobramento do tempo (DAT) dentro de cada lâmina (L). Diferenças significativas, a 1% de probabilidade, foram encontradas para o número de folhas em todos os tratamentos ao longo do ciclo da cultura, observando-se tendências de crescimento do número de folhas das plantas na forma polinomial quadrática, ajustadas com coeficiente de correlação (R^2) de 100%, conforme apresentado na Figura 34.

No início da aplicação dos tratamentos (18 DAT), praticamente não houve diferenças entre as variáveis, devido às irrigações homogêneas no período

de pegamento. Porém, essa diferença foi acentuando-se ao longo do experimento e, aos 32 DAT, percebe-se que o número médio de folhas observado no tratamento de 100% de reposição se mostrou superior aos demais tratamentos, por todo o período.

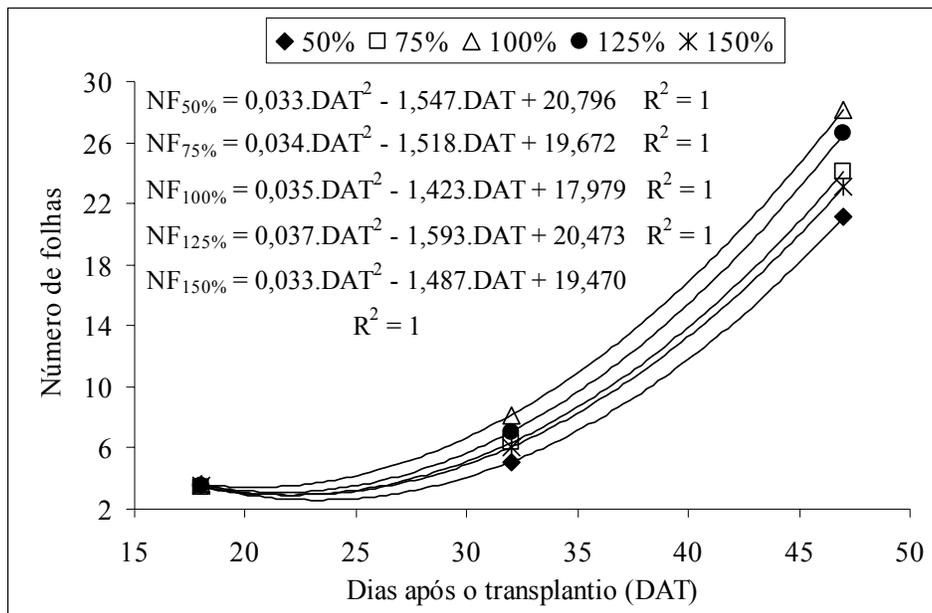


FIGURA 34 Número de folhas, em função do tempo, para diferentes tratamentos de irrigação.

A maior diferença entre os tratamentos pode ser apontada aos 47 dias após o transplante. Nesta data, a maior média foi de 28 folhas por planta, referente à lâmina de 100% de reposição de água. Em comparação com este número de folhas, foi observado um valor percentual de redução de apenas 5,72%, com 27 folhas, para a lâmina de 125%. Maiores valores percentuais de redução foram obtidos para as lâminas de 75% e 150%, acarretando em quedas de 14,60% e 18,15%, para número médio de 24 e 23 folhas, respectivamente. Entretanto, a maior baixa relativa ocorreu com a lâmina de 50%, obtendo, com a

mesma, um percentual de 25,05%, com somente 21 folhas.

Esses resultados permitem concluir que o excesso hídrico aplicado pela lâmina de 125% foi pouco significativo para a média do número de folhas em relação à reposição de água de 100%. Porém, o excesso e o déficit de umidade acumulados no solo pelos tratamentos, com destaque para o déficit provocado pela lâmina de 50% de reposição, impediram as plantas de desenvolverem sua área foliar. Isso pode ser um agravante na produção de frutos do pepino japonês, já que o número de folhas pode indicar as condições de rendimento da cultura quanto ao aproveitamento da taxa de fotoassimilados e de gás carbônico (Malézieux, 1993).

De maneira indubitável, dentre os processos fisiológicos que são afetados por déficit hídrico de média a alta intensidade, pode-se destacar a fotossíntese e a respiração (Santos & Carlesso, 1998), com consequente decréscimo da produção de biomassa associado a uma alta resistência estomática (Muchow et al., 1986).

Távora & Melo (1991), estudando a cultura do amendoim submetido a ciclos de deficiência hídrica, constataram também reduções significativas do número de folhas por planta. Comportamento semelhante foi observado por Bonanno & Mack (1983) que, ao analisarem o efeito de diferentes níveis de irrigação no desenvolvimento da cultura do feijoeiro comum, verificaram que o número de folhas por planta diminuiu com o aumento do déficit de água do solo.

Belaygue et al. (1996) relatam que, em trevo branco (*Trifolium repens* L.), verifica-se, para curtos períodos de déficit hídrico, redução da área foliar e do número de estolões. Entretanto, nenhum efeito foi observado sobre o número de folhas. Para a mesma cultura, Lyptay et al. (1998) observaram aumento significativo do número de estolões e redução da área foliar com o incremento do déficit hídrico. Estes autores destacam que a intensidade e o tipo de resposta das plantas ao déficit variam de acordo com a espécie e a cultivar.

4.2.4.4 Avaliação da produtividade do pepino japonês

Por meio da análise de variância (Tabela 19), diferenças estatísticas foram verificadas para a quantidade total de frutos e massa dos frutos, para as diferentes lâminas de reposição de água no solo.

TABELA 19 Análise de variância para as médias da produção do número de frutos e massa dos frutos (kg), em função dos tratamentos.

Fonte de Variação	GL	QM	
		Frutos	Massa
Lâmina	4	75,6406 **	1,0957 **
Resíduo	25	26,0878	0,3796
Média geral		17,4887	2,0944
CV		29,21%	29,42%

** : Significativo, a 5% de probabilidade.

Verificam-se, pela Figura 35, variações quanto ao número de frutos produzidos. Maior número de frutos por planta foi obtido com a aplicação de lâmina correspondente a 296,9 mm (reposição de 100%). Em comparação, a referida lâmina (100%) produziu 75% acima do que foi obtida com aplicação de apenas 148,5 mm (50% de reposição), tendo esta a pior produção. As diferenças no número de frutos foram 11%, 5% e 31% menores para os tratamentos de 75%, 125% e 150% de reposição, ou seja, 222,7; 371,1 e 445,4 mm, respectivamente. Pela Figura 37, nota-se que não houve variação expressiva na produção de frutos entre as lâminas de 75% a 125% de reposição de água, porém, de maneira geral, o déficit e o excesso hídrico afetaram a quantidade de frutos produzidos por planta do pepineiro japonês.

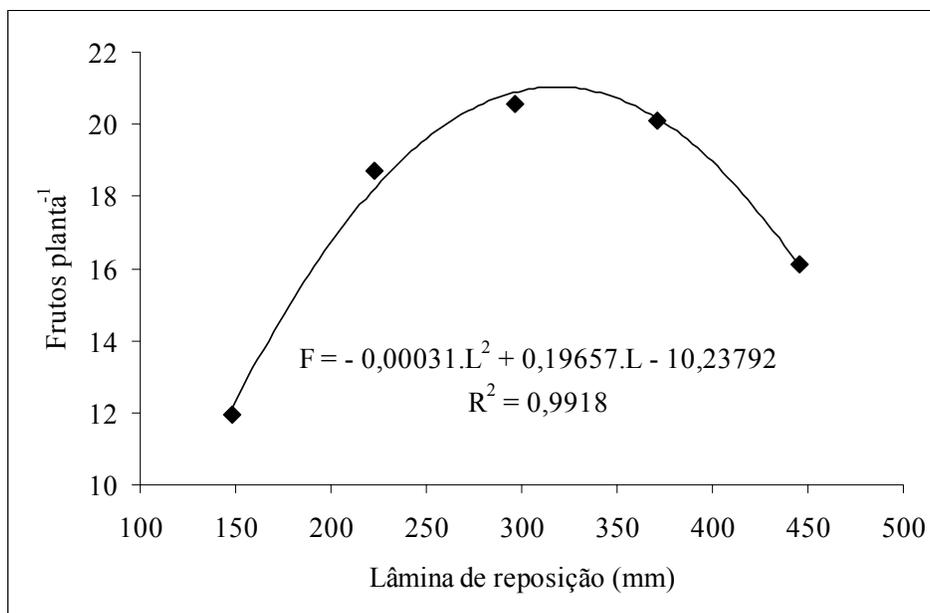


FIGURA 35 Número de frutos em função de diferentes lâminas de reposição de água no solo.

O excesso hídrico leva ao preenchimento da fase gasosa (macroporos) do solo, pela água, em substituição ao oxigênio, provocando os fenômenos de hipoxia ou anoxia. Do ponto de vista fisiológico, a falta de oxigênio para a planta causa a diminuição da energia total disponível ao metabolismo, além da produção de substâncias tóxicas o que, conseqüentemente, culmina em menores produtividades. De igual forma, pelo excesso hídrico, ocorre a produção de etileno sintetizado na parte aérea, cujo efeito na planta causa o fenômeno de senescência, levando à redução da produtividade (Kramer & Boyer, 1995; Taiz & Zeiger, 1998).

Loureiro et al. (1990) observaram significância estatística sobre a produção de grãos e número de vagens por planta, quando avaliaram o efeito de oito lâminas de irrigação sobre a produtividade do feijoeiro comum, tendo a maior lâmina (184,1 mm) produzido maior número de vagens por planta.

Em contrapartida, Fernandes et al. (2002) e Lima et al. (2002), avaliando o efeito de diferentes lâminas de irrigação (70%, 100% e 130% da evaporação do tanque classe “A”) sobre a cultura do pimentão, não constataram efeito significativo para o número de frutos por planta. Da mesma forma, as lâminas de reposição (120%, 100%, 80%, 60% e 40% da ETCA) não proporcionaram diferenças significativas no número de frutos por planta na cultura da pimenteira. Contudo, o maior valor absoluto foi observado com aplicação da lâmina de 120% da ETCA (Azevedo et al., 2005).

Em relação à massa dos frutos por planta (Figura 36), assim como ocorreu no número de frutos, houve diferenciação entre os tratamentos. A maior quantidade de massa dos frutos produzida por planta se deu com a aplicação de lâmina correspondente a 296,9 mm (reposição de 100%), obtendo-se pouca diferença em relação à massa produzida pelos tratamentos com reposição de 75% e 125% de água, ocorrendo redução de apenas 8% e 3%, respectivamente. Variação mais expressiva, quando comparada à lâmina de 100%, foi notada para as lâminas de 50% e 150% de reposição, que produziram, respectivamente, 73% e 28% menos massa.

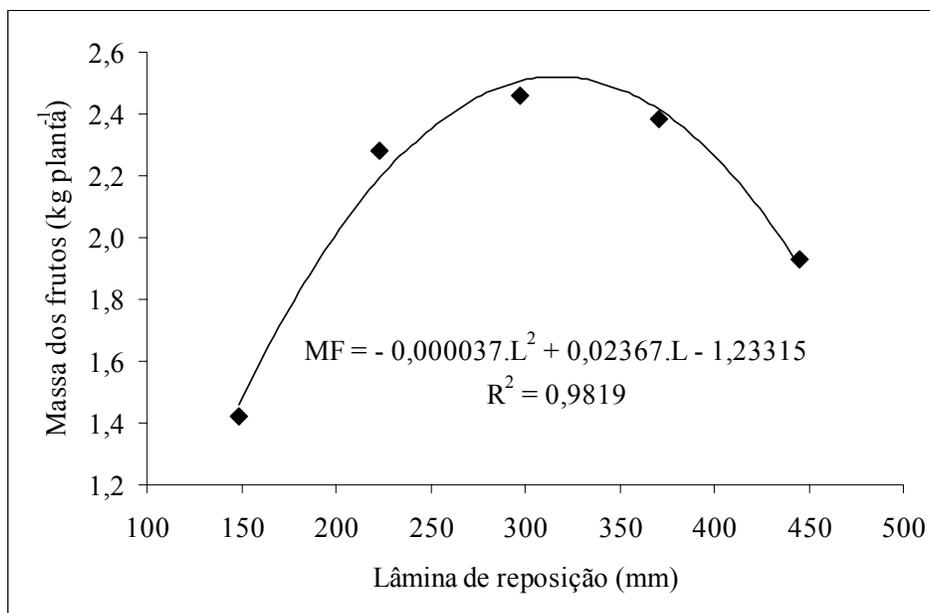


FIGURA 36 Massa dos frutos, em função de diferentes lâminas de reposição de água no solo.

De maneira geral, pode-se concluir que o déficit e o excesso hídrico afetaram a produtividade desta cultura, porém, o déficit hídrico acumulado ocasionou a murcha permanente de algumas plantas, prejudicando sua fisiologia e, conseqüentemente, a produção de frutos, o que culminou em maior queda de produtividade.

Corroborando com os presentes resultados, Santana (2007), analisando o efeito de cinco níveis de reposição de água de irrigação (40%, 70%, 100%, 130% e 160%) para o feijoeiro comum, verificou efeito significativo entre as lâminas de reposição na produtividade da cultura. O autor observou um aumento na produção em função da reposição de água, atingindo o máximo com reposição correspondente a 100% de água consumida, havendo queda de produtividade após esse valor.

Stone & Moreira (2000), trabalhando com diferentes lâminas de

irrigação, também observaram maior produção na cultura do feijoeiro com lâminas que elevaram o solo próximo ao teor de água na capacidade de campo e queda da produtividade com aumento da lâmina de irrigação. Similarmente, a redução do rendimento do feijoeiro com reposições excessivas de água no solo também foram verificadas por Garrido (1998); Azevedo (1984); Frizzone (1986) e Carvalho (1992).

Koetz et al. (2006), analisando quatro lâminas de irrigação definidas em relação à evaporação do tanque Classe “A” (0,5; 0,75; 1,0 e 1,25 ETCA), não observaram efeito estatístico na produtividade da cultura do meloeiro, porém, esta aumentou com o incremento das lâminas aplicadas. Coelho et al. (1978), aplicando lâminas de irrigação por gotejamento na cultura do melão, obtiveram maior produção com lâminas equivalentes a 75% e 100% da evaporação do tanque Classe “A”, com intervalos de irrigação de dois dias.

Lima et al. (2002), avaliando o efeito de diferentes lâminas de irrigação (70%, 100% e 130% da ETCA) sobre a cultura do pimentão, constataram efeito significativo para a massa de frutos, com as lâminas apresentando efeito linear crescente.

Azevedo et al. (2005), com o objetivo de avaliar o efeito de diferentes reposições de água no solo (120%, 100%, 80%, 60% e 40% da ETCA), verificaram diferença estatística entre as lâminas no rendimento da pimenteira, constatando que a produtividade aumentou em função do aumento da lâmina de água de forma linear, obtendo produtividade máxima com a aplicação da lâmina de irrigação equivalente a 120% da evaporação do tanque Classe “A”.

De forma contrária, Medeiros (1998) não constatou efeito da lâmina de irrigação (100%, 115% e 130% da ETCA) na produtividade da cultura do pimentão em ambiente protegido. Para a mesma cultura, a lâmina de 100% da ETCA apresentou maior média para o número de frutos e produtividade, apesar de não ter diferido estatisticamente das demais (Rodrigues, 2001).

Por meio da função de produção expressa no gráfico da Figura 35 (coeficiente de regressão de 99,18%), a máxima produção estimada foi de 21 frutos planta⁻¹ para lâmina de 317 mm. Já para a simulação da massa máxima produzida de acordo com a função de produção observada na Figura 36 (coeficiente de regressão de 98,19%), foram encontrados 2,55 kg planta⁻¹, referentes à lâmina de 320 mm.

De maneira geral, o tratamento com reposição de 100% da lâmina aplicada apresentou os maiores valores dos componentes de produção (número de frutos e massa dos frutos por planta), enquanto os menores valores dos componentes de produção foram obtidos pelo tratamento de 50%. O tratamento de 100% obteve a maior produtividade média, sendo ela de 5,59 kg m⁻². Produtividades de 3,23; 5,18; 5,41 e 4,39 kg m⁻² foram obtidas com os tratamentos de 50%, 75%, 125% e 150% de reposição de água no solo, respectivamente.

De acordo com dados técnicos para esta cultura, esta média de produção foi relativamente baixa, podendo ter sido afetada pelas temperaturas e umidades relativas ocorridas fora das faixas recomendadas para o cultivo do pepino em casa de vegetação (Sganzerla, 1995). Esta redução também pode ser devido ao fato de terem sido contabilizados apenas frutos comerciais, bem como foi utilizada a cultivar pepino japonês Master Green, da qual não se têm referências de produção.

Considerando que o déficit hídrico acarretou em menores produtividades, uma explicação plausível para esses resultados seria de que a disponibilidade restrita de água, em função das menores lâminas, pode ter ativado os mecanismos de defesa das plantas, ocorrendo fechamento dos estômatos e, conseqüentemente, a diminuição na turgescência da planta. Tais fatos reforçam a ideia de que a água é essencial para o rendimento da cultura do pepino japonês e que ela responde positivamente às lâminas de irrigação com

100% de reposição da umidade do solo, principalmente em seu período reprodutivo.

4.2.4.5 Eficiência do uso da água (EUA)

Os dados da Tabela 20 demonstram, para um hectare, a massa dos frutos e o consumo de água durante todo o ciclo da cultura e a eficiência do uso da água para cada tratamento.

TABELA 20 Massa dos frutos, consumo de água e eficiência do uso da água para a cultura do pepino japonês.

Lâmina (%)	Massa dos frutos (kg ha ⁻¹)	Consumo de água (m ³)	EUA (kg m ⁻³ ha ⁻¹)
50	32.304,29	1.484,59	21,76
75	51.792,93	2.226,89	23,26
100	55.902,78	2.969,19	18,83
125	54.141,41	3.711,48	14,59
150	43.851,01	4.453,78	9,85

Apesar da reconhecida importância da irrigação no processo produtivo de hortaliças em ambiente protegido, a baixa eficiência na condução de água, na distribuição pelos sistemas e na aplicação aos cultivos, motiva um esforço na otimização do uso da água, em que o enfoque da eficiência produtiva deve ser priorizado.

Esses indicadores de eficiência na resposta das culturas constituem fontes valiosas de informações a serem utilizadas nos modelos de tomada de decisão, permitindo a otimização do uso dos fatores envolvidos na produção.

Pelos dados da Tabela 20 verifica-se que a melhor eficiência foi obtida com o tratamento irrigado com lâmina de 75% de reposição de água que, neste estudo, não foi aquela que obteve a maior produtividade em relação às demais lâminas. A eficiência com lâmina de 75% de reposição ficou próxima daquela

obtida com o tratamento de 50%. A partir do maior valor obtido pela lâmina de 75%, houve uma redução da EUA, de acordo com o incremento das lâminas aplicadas, notando-se que o tratamento de 150% obteve o pior desempenho em magnitude.

Corroborando com os resultados obtidos no presente estudo, Chagas et al. (1994), analisando os resultados de produtividade para o feijoeiro em relação às lâminas de água aplicadas, verificaram que as maiores eficiências de água aplicada foram obtidas nos tratamentos que receberam menores lâminas totais de irrigação. Do mesmo modo, Barreto et al. (1994) e Pereira (1995) obtiveram resultados em que a maior eficiência do uso da água se deu no nível mais baixo de água disponível no solo, em estudo com o algodão.

Ainda de acordo com o presente estudo, Andrade Júnior (1994) obteve uma resposta decrescente entre níveis de água aplicados com base em tanque Classe A e a EUA, em uma cultivar de alface americana, mostrando que os tratamentos com maior lâmina aplicada tenderam a apresentar menor EUA. De maneira semelhante, Coelho et al. (1994) observaram que a eficiência do uso da água apresentou valores decrescentes com o aumento da lâmina de água aplicada para a cultura do tomateiro.

As maiores eficiências obtidas neste experimento ficaram abaixo daquela obtida por Chartzoulakis & Michelakis (1990), que encontraram eficiência do uso de água de $27,7 \text{ kg m}^{-3}$, utilizando irrigação por gotejamento para a cultura do pepino em ambiente protegido, aplicando uma lâmina de água total de 292 mm, durante um ciclo de 105 dias.

Azevedo et al. (2005) observaram produtividade máxima com a aplicação da lâmina de irrigação equivalente a 120% da ETCA para a pimenteira. Porém, ao contrário dos resultados obtidos neste trabalho, obtiveram o maior valor absoluto para a EUA com a lâmina de 60% da ETCA.

De igual forma, Silva & Beltrão (2000) constataram, para a cultura do

amendoim, que a EUA consumida por essa cultura foi maior quando as plantas foram conduzidas no nível mais alto de disponibilidade de água no solo.

O melhor resultado obtido neste trabalho leva à constatação de que a máxima eficiência do uso da água nem sempre é ótima, do ponto de vista econômico. Segundo Begg & Turner (1976), citados por Frizzone (1986), a cultura deve ser conduzida de forma a se conseguir uma máxima eficiência do uso da água. Entretanto, este índice pode ter pouco significado como indicador econômico. Em termos econômicos, propõe-se uma eficiência do uso da água como sendo a relação entre o rendimento ótimo econômico e a lâmina total de água ótima econômica, ambos obtidos da função de resposta da cultura à água.

Portanto, a partir dos dados obtidos com este estudo, é aconselhável realizar uma análise econômica criteriosa, a partir da quantidade de água aplicada para a lâmina de 100% de reposição, com a finalidade de se verificar a compensação sobre a obtenção de uma maior produtividade com a utilização de menores lâminas de água no solo, redundando em níveis de aplicações de água de maneira adequada economicamente.

4.2.5 Análise econômica da lâmina de água

Considerando a hipótese de que $L(w)$ possui um valor máximo de acordo com a Equação 5 e que a água é o único fator variável, foram obtidas as máximas produtividades físicas para o cultivo do pepino japonês.

A função de produção estimada observada na Figura 36, para a produtividade comercial por planta (Equação 9), foi multiplicada pelo número de plantas por hectare (18.000 plantas) para se obter a produtividade total (Equação 10). Posteriormente, a equação foi derivada e igualada a zero (Equação 11), obtendo-se, assim, a máxima produtividade física do fator água (MPFA). Em seguida, igualou-se este indicador econômico à relação de preços

entre fator lâmina de água e pepino japonês, como descrito na Equação 12.

$$Y = PC = -0,000037 \cdot w^2 + 0,02367 \cdot w - 1,23315 \quad (9)$$

$$Y = PC = -0,666 \cdot w^2 + 426,06 \cdot w - 22.196,7 \quad (10)$$

$$\frac{\partial Y}{\partial w} = -1,332 \cdot w + 426,06 = 0 \quad (11)$$

$$\frac{\partial Y}{\partial w} = -1,332 \cdot w + 426,06 = \frac{P_w}{P_y} \quad (12)$$

Observa-se, pelos dados da Tabela 21, que a máxima produtividade física do fator água, também chamada produto físico marginal do fator água (PFMa), tem valor inicialmente positivo e decresce à medida que se aumenta a lâmina total de irrigação aplicada ao solo.

TABELA 21 Produto físico marginal do fator água (PFMa) para as diferentes lâminas de irrigação aplicadas.

Lâminas de irrigação (mm)	Produto físico marginal do fator água (kg ha ⁻¹)
148,5	228,3
222,7	129,4
296,9	30,6
371,1	- 68,2
445,4	- 167,2

Quando o PFMa atinge o valor zero, significa que a lâmina de irrigação aplicada proporcionou a máxima produtividade física, representando 45.944 kg ha⁻¹, aplicando uma lâmina de irrigação de 320 mm, o que equivale a 107,8% de

reposição de água no solo. A partir do ponto em que o PFMa apresentou valor nulo (320 mm), a aplicação de maior lâmina de irrigação conduziu a valores negativos, indicando ser não econômico o uso dessa quantidade de água (utilização excessiva de água).

A lâmina ótima de irrigação para a obtenção da máxima eficiência econômica, que foi calculada igualando-se a expressão da MPFA (PFMa) à relação de preços do fator variável (P_w) e do produto (P_y), como expresso na Equação (12), obteve valor de 319,5 mm (107,6% de reposição de água no solo), gerando produtividade de 45.944 kg ha⁻¹.

Fazendo-se uma análise comparativa entre a lâmina ótima econômica e a lâmina que gera a máxima produtividade física, observam-se valores aproximadamente iguais. Logo, ao aplicar a lâmina de água que proporcione a máxima produção física, esta poderá ser suficiente para alcançar uma produção economicamente viável.

Corroborando esta comparação, Lima Júnior (2008), fazendo uma avaliação econômica do efeito de diferentes lâminas de irrigação sobre a produção da alface tipo americana em ambiente protegido, também observou valores bem próximos para a lâmina de 204,3 mm (101,6% de reposição de água), que obteve a maior produtividade física e a lâmina de 203,9 mm (101,4%), com que se obteve o maior retorno econômico.

Vilas Boas (2006) avaliou o efeito de diferentes lâminas de irrigação sobre a produção de duas cultivares de alface tipo crespa em ambiente protegido, concluindo que a lâmina com que se obteve maior retorno econômico ou lucro foi de 244,2 mm, referente a 123,3% de reposição de água no solo.

Conforme a Equação 5, a receita bruta (RB) foi obtida por meio dos valores de cada produtividade (Y) multiplicada pelo preço do pepino japonês (P_y) tomado para o mês de março de 2009. Já a receita líquida (RL) foi gerada da subtração da receita bruta pelos custos totais (CT), envolvendo os custos dos

fatores fixos e os custos com a variação das lâminas de irrigação aplicadas. As funções de produção para a RB, RL e CT são verificadas pelas Equações 13, 14 e 15, respectivamente.

$$RB = - 1,7447 \cdot w^2 + 1.116,038 \cdot w - 58.105,053 \quad (R^2 = 100\%) \quad (13)$$

em que

RB = receita bruta (R\$);

w = lâmina de irrigação (mm).

$$RL = - 1,7447 \cdot w^2 + 1.115,103 \cdot w - 87.686,7313 \quad (R^2 = 100\%) \quad (14)$$

em que

RL = receita líquida (R\$).

$$CT = w + 29.581,67 \quad (R^2 = 100\%) \quad (15)$$

em que

CT = custos totais (R\$).

Na Figura 37 são explicitados os valores da RB e da RL geradas pelas funções de produção, juntamente com os custos totais (CT). A receita líquida obtida por simulação para o máximo retorno econômico neste estudo foi de R\$ 90.488,95, equivalente a uma lâmina de 320 mm (107,8% de reposição de água no solo), acarretando em uma produtividade de 45.944 kg ha⁻¹. Este alto valor obtido no retorno econômico pode ser justificado, uma vez que foi considerado o preço de venda do produto diretamente na propriedade, não sendo levados em conta os custos com logística, perdas físicas no transporte, na recepção e armazenamento do produto na central de abastecimento, dentre outras perdas decorrentes por outros fatores.

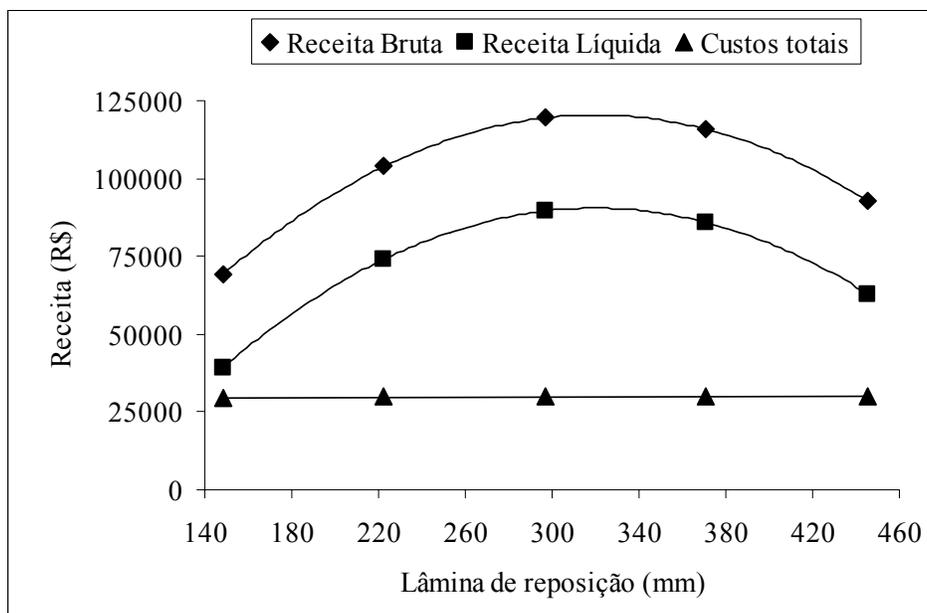


FIGURA 37 Receita bruta, líquida e custos totais da produção, em função das lâminas de irrigação.

Ao contrário do maior retorno obtido com a lâmina ótima econômica encontrada, Calheiros et al. (1996), buscando estabelecer estratégias ótimas de irrigação para a cultura do feijão em relação à renda líquida, concluíram que, nas condições em que a água é limitante, a irrigação com déficit pode ser uma excelente estratégia no planejamento da irrigação do feijoeiro.

Pelo gráfico da Figura 38, gerada pela Equação 11, observa-se que quando a relação P_w/P_y atinge o valor zero, significa que a lâmina de irrigação aplicada (lâmina ótima econômica) proporcionou, da mesma forma, a máxima produtividade física, concordando com o valor obtido para a máxima receita líquida, referente à lâmina de 319,5 mm.

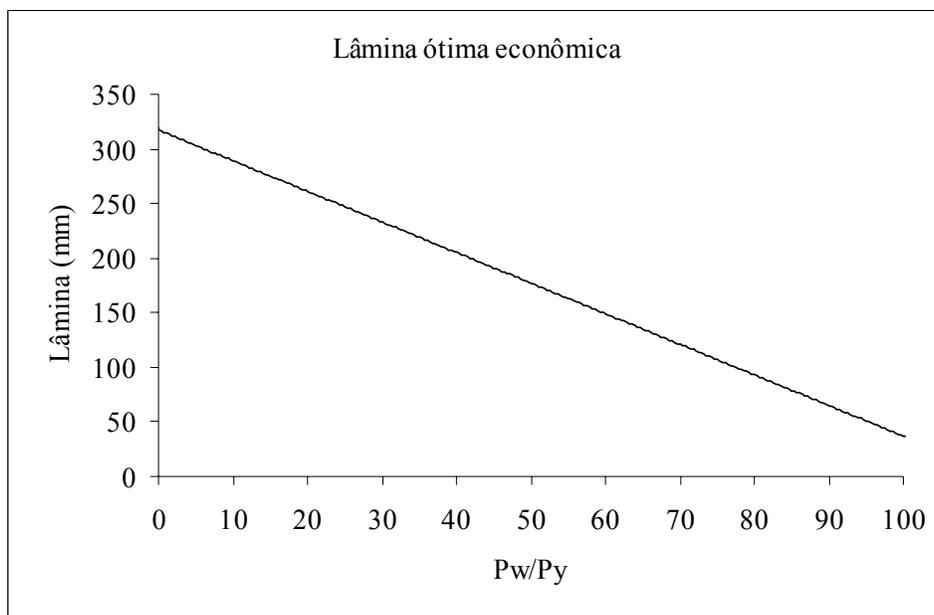


FIGURA 38 Lâmina ótima econômica, em função da relação entre o preço da água (P_w) e o preço do pepino japonês (P_y), para a produtividade comercial.

Verifica-se que a lâmina ótima decresce à medida que aumenta a relação entre preços (P_w/P_y). Assim, considerando essa tendência, variando o preço da água e mantendo fixo o preço do pepino japonês, a lâmina econômica total de irrigação a aplicar deve ser menor, para que o produtor obtenha o lucro máximo na atividade.

5 CONCLUSÕES

ESTUDO I:

- A produtividade da cultura decresceu de forma quadrática com as tensões aplicadas durante a fase vegetativa, observando-se menor valor para a tensão de 120 kPa.
- Variações da tensão durante a fase reprodutiva promoveram comportamento decrescente de forma linear da produtividade, obtendo valores inferiores àqueles obtidos para a fase vegetativa, sob mesmo valor de tensão, evidenciando a fase reprodutiva como a mais sensível ao déficit hídrico.
- A tensão de 15 kPa aplicada para se promover as irrigações se mostrou a mais adequada para as fases vegetativa e reprodutiva da cultura do pepino japonês cultivado em ambiente protegido.

ESTUDO II:

- O maior consumo de água pelas plantas se deu na fase reprodutiva.
- A produtividade da cultura obteve redução polinomial quadrática pelo déficit e excesso hídrico de maneira geral, obtendo os maiores valores com a reposição de 100% de água no solo.
- A lâmina de 320 mm proporcionou a maior produtividade física, resultando em uma produtividade praticamente idêntica àquela obtida com a lâmina de maior rentabilidade econômica de 319,5 mm.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALFONSO OSORIO, U.; ELICIO MORAGA, O.; RECAREDO ORELLANA, C. Efectos de siembra sobre el comportamiento productivo de tres cultivares de pepino en salada (*Cucumis sativus*, L.) bajo condiciones de invernadero y riego por goteo. **IDESIA**, Arica, v. 8, p. 55-62, jun. 1984.

ALVAREZ, V. H.; NOVAIS, R. F. de; BARROS, N. F. de; CANTARUTTI, R. B.; LOPES, A. S. Interpretação dos resultados das análises de solos. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG: UFV, 1999. p. 25-32.

ANDRADE JÚNIOR, A. S. de. **Manejo da irrigação na cultura da alface (*Lactuca sativa* L.) através do tanque classe A**. 1994. 104 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu.

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**, Campinas, v. 14, n. 1, p. 27-31, maio 2003.

AZEVEDO, B. M. de; CHAVES, S. W. P.; MEDEIROS, J. F. de; AQUINO, B. F. de; BEZERRA, F. M. L.; VIANA, T. V. de A. Rendimento da pimenteira em função de lâminas de irrigação. **Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 36, n. 3, p. 268-273, mar. 2005.

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

BARRETO, A. N.; BELTRÃO, N. E. de M.; BEZERRA, J. R. C.; LUZ, M. J. da S. Efeito da configuração de plantio na cultura do algodoeiro herbáceo, cultivar CNPA 6H, irrigado por sulco. In: RELATÓRIO técnico anual do centro nacional de pesquisa de algodão – 1992/1993. Campina Grande: EMBRAPA/CNPA, 1994. p. 155-157.

BELAYGUE, C.; WERY, J.; COWAN, A. A.; TARDIEU, F. Contribution of leaf expansion, rate of leaf appearance and stolon branching to growth of plant leaf area under water deficit in white clover. **Crop Science**, Madison, v. 36, n. 5, p. 1240-1246, Sept. 1996.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 6. ed. Viçosa, MG: UFV, 1996. 657 p.

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C. **Manual de irrigação**. 7. ed. Viçosa, MG: UFV, 2005. 611 p.

BLANCO, M. C. S. G.; GROppo, G. A.; TESSAROLI NETO, J. Pepino. In: MANUAL técnico das culturas: olerícolas, medicinais e ornamentais. 2. ed. rev. atual. Campinas: Coordenadoria de Assistência Técnica Integral, 1997. v. 2, p. 91-95.

BONANNO, A. R.; MACK, H. J. Water relations and growth of snap beans as influenced by differential irrigation. **Journal of the American Society of Horticultural Science**, Alexandria, v. 108, n. 5, p. 837-844, 1983.

BRANDÃO FILHO, J. U. T.; CALLEGARI, O. Cultivo de hortaliças de frutos de solos em solo em ambiente protegido. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 20, n. 200/201, p. 64-68, set./dez. 1999.

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Normas climatológicas 1965-1990**. Brasília, 1992. 84 p.

CALHEIROS, C. B. M.; QUEIROZ, J. E.; FRIZZONE, J. A.; PESSOA, P. C. S. Estratégias ótimas de irrigação do feijoeiro: água como fator limitante da produção. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 31, n. 7, p. 509-515, jul. 1996.

CARRIJO, O. A.; MAROUELLI, W. A. Manejo da irrigação na produção de hortaliças em cultivo protegido. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 42., 2002, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: Sociedade de Olericultura do Brasil, 2002. 1 CD-ROM.

CARRIJO, O. A.; MAROUELLI, W. A.; SILVA, H. R. da. Manejo da água na produção de hortaliças em cultivo protegido. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 20, n. 200/201, p. 45-51, set./dez. 1999.

CARRIJO, O. A.; OLIVEIRA, C. A. S.; OLITTA, A. F. L.; FONTES, R. R. de; REIS, N. B. B. dos; VECCHIA, P. T. D. Comparação entre os sistemas de irrigação por gotejamento e sulcos de infiltração e fertilização com N e K no tomateiro (*Lycopersicon esculentum* MILL.). **Horticultura Brasileira**, Campinas, v. 1, n. 1, p. 41-44, maio 1983.

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

CARVALHO, J. de A. **Coefficientes de cultura, avaliação econômica da produção e análise do crescimento da cenoura (*Daucus carota* L.) irrigada.** 1995. 78 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

CARVALHO, J. de A.; SANTANA, M. J. de; PEREIRA, G. M.; PEREIRA, J. R. D.; QUEIROZ, T. M. de. Níveis de déficit hídrico em diferentes estádios fenológicos da cultura da berinjela (*Solanum melongena* L.). **Engenharia Agrícola**, Botucatu, v. 24, n. 2, p. 320-327, maio/ago. 2004.

CARVALHO, L. G. de; SAMPAIO, S. C.; SILVA, A. M. da. Determinação da umidade na capacidade de campo *in situ* de um latossolo roxo distrófico. **Engenharia Rural**, Piracicaba, v. 7, n. 1, p. 1-97, dez. 1996.

CEASAMINAS CENTRAIS DE ABASTECIMENTO. **Boletim diário de preços**. Disponível em: <http://minas.ceasa.mg.gov.br/detec/boletim/boletim_produto/boletim_produto.php>. Acesso em: 31 mar. 2009.

CHAGAS, J. M.; GOMES, J. M.; VIEIRA, C.; ARAÚJO, G. A. de A. Efeitos de quantidades de água sobre a cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), em quatro sistemas de manejo de solo. **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 41, n. 238, p. 641-650, nov. 1994.

CHARTZOULAKIS, K.; MICHELAKIS, N. Effects of different irrigation systems on root growth and yield greenhouse cucumber. **Acta Horticulturae**, Amsterdam, n. 278, p. 237-243, 1990.

CHIEPPE JÚNIOR, J. B.; PEREIRA, A. L.; STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A.; KLAR, A. E. Efeito de métodos de determinação de parâmetros para o controle da irrigação na eficiência do uso da água no feijoeiro, sob três diferentes lâminas de água no solo. **Irriga**, Botucatu, v. 13, n. 4, p. 507-516, out./dez. 2008.

CHRISTIANSEN, J. E. **Irrigation by sprinkler**. Berkeley: California Agricultural Station, 1942. 212 p. (Bulletin 670).

COELHO, E. F.; SOUZA, V. A. B. de; CONCEIÇÃO, M. A. F.; DUARTE, J. de O. Comportamento da cultura do tomateiro sob quatro regimes de irrigação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 12, p. 1959-1968, dez. 1994.

COELHO, M. B.; OLITA, A. F. L.; ARAÚJO, J. P. Influência dos métodos de irrigação por sulco e gotejo na cultura do melão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM, 4., 1978, Salvador. **Anais...** Salvador: Associação Brasileira de Irrigação e Drenagem, 1978. p. 48.

DANTAS, A. A. A.; CARVALHO, L. G.; FERREIRA, E. Classificação e tendência climática em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1862-1866, nov./dez. 2007.

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Guidelines for predicting crop water requirements**. 2. ed. Rome: FAO, 1977. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 24).

DOURADO NETO, D.; NIELSEN, D. R.; HOPANS, J. W.; PARLANGE, M. B. **Programa SWRC**: soil-water retention curve (version 1.00). Piracicaba: ESALQ, 1995. Software.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro, 1999. 412 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Diagnóstico e prioridades de pesquisa em agricultura em agricultura irrigada**: região sudeste – Brasília. Brasília: EMBRAPA/DEP, 1988. 174 p.

EPAGRI. A cultura do pepino. In: CURSO profissionalizante de olericultura. Florianópolis: CETRE, 1993. p. 11.

FERNANDES, D. L.; LIMA, L. M. L.; SOUZA, M. W. R.; MELO, P. C.; TEODORO, R. E. F.; LUZ, J. M. Q.; CARVALHO, J. O. M. Utilização de substratos orgânicos na produção de pimentão, sob diferentes lâminas de irrigação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 42., 2002, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: Sociedade de Olericultura do Brasil, 2002. 1 CD-ROM.

FERREIRA, D. F. **SISVAR** - sistema de análise de variância: versão 5.0. Lavras: UFLA, 2007.

FIGUERÊDO, S. F. **Estabelecimento do momento de irrigação com base na tensão de água no solo para a cultura do feijoeiro**. 1998. 94 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura**: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. Viçosa, MG: UFV, 2000. 402 p.

FONTES, P. C. R.; PUIATTI, M. Cultura do pepino. In: **OLERICULTURA: teoria e prática**. Viçosa, MG: UFV, 2005. p. 439-455.

FRIZZONE, J. A. **Funções de resposta do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) ao uso de nitrogênio e lâmina de irrigação**. 1986. 133 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura de Luiz de Queiroz, Piracicaba.

GARDNER, T. R.; VIETOR, D. M.; CRAKER, L. E. Growth habit and row width effects on leaf area development and light interception on field beans. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v. 59, p. 191-199, 1979.

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

GENUCHTEN, M. T. van. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 44, n. 5, p. 892-898, Sept. 1980.

GOMES, H. P. **Engenharia de irrigação**: hidráulica dos sistemas pressurizados, aspersão e gotejamento. 2. ed. Campina Grande. EDUEPB, 1997. 390 p.

GOMES, L. A. A.; SILVA, E. C. da; FAQUIN, V. Recomendações de adubação para cultivos em ambiente protegido. In: RIBEIRO, A. C.; GUIMARÃES, P. T. G.; ALVAREZ, V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais**: 5ª aproximação. Viçosa, MG: UFV, 1999. p. 99-110.

GOMES, N. M.; LIMA, A. L.; CUSTÓDIO, A. de P. Crescimento vegetativo e produtividade do cafeeiro irrigado no sul do Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 6, p. 564-570, nov./dez. 2007.

HAMADA, E.; TESTEZLAF, R. Desenvolvimento e produtividade da alfaca submetida a diferentes lâminas de água através da irrigação por gotejamento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 9, p. 1201-1209, set. 1995.

HOFFMAN, G. J.; HOWELL, T. A.; SOLOMON, K. H. **Farm irrigation systems**. Saint Joseph: ASAE, 1992. 1040 p.

KOETZ, M.; COELHO, G.; CARVALHO, J. de 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, out./dez. 2006.

KRAMER, P. J.; BOYER, J. S. Evolution and agriculture. In: KRAMER, P. J.; BOYER, J. S. **Water relations of plants and soils**. San Diego: Academic, 1995. p. 377-404.

KUMAGAIA, P. Plasticultura na cooperativa agrícola de Cotia – cooperativa central. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE PLASTICULTURA, 1., 1989, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: FUNEP, 1991. p. 53-55.

LEITE, M. L.; RODRIGUES, J. D.; MISCHAN, M. M.; VIRGENS FILHO, J. S. Efeitos do déficit hídrico sobre a cultura do caupi [*Vigna unguiculata* (L.) Walp], cv. EMAPA-821. II: análise de crescimento. **Revista de Agricultura**, Piracicaba, v. 74, n. 3, p. 351-370, dez. 1999.

LIMA JÚNIOR, J. A. de. **Análise técnica e econômica da produção de alface americana irrigada por gotejamento**. 2008. 74 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola/Engenharia de Água e Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

LIMA, L. M. L.; FERNANDES, D. L.; SOUZA, M. W. R.; MELO, P. C.; MENDONÇA, F. C.; TEODORO, R. E. F.; LUZ, J. M. Q.; CARVALHO, H. P. Utilização de diferentes lâminas de irrigação e substratos orgânicos na produção de pimentão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 42., 2002, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: Sociedade de Olericultura do Brasil, 2002. 1 CD-ROM.

LIPTAY, A.; SIKKEMA, P.; FONTENO, W. Transplant growth control through water deficit stress – a review. **Hort Technology**, Alexandria, v. 8, n. 4, p. 540-543, Oct./Dec. 1998.

LOUREIRO, B. T.; MACHADO, P. B.; DENÍCULI, W.; FERREIRA, P. A. Efeito de diferentes lâminas de água sobre a produtividade do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.). **Revista Ceres**, Viçosa, MG, v. 37, n. 211, p. 215-226, maio 1990.

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 em ambiente protegido. **Irriga**, Botucatu, v. 11, n. 3, p. 415-427, jul./set. 2006.

MALÉZIEUX, E. Dry matter accumulation and yield elaboration of pineapple in Cote d'Ivoire. **Acta Horticulture**, Wageningen, n. 334, p. 149-158, 1993.

MARCELIS, L. F. M. Effects of sink demand on photosynthesis in cucumber. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 42, n. 11, p.1387-1392, Nov. 1991.

MAROUELLI, W. A.; CALBO, A. G.; CARRIJO, O. A. Avaliação de sensores do tipo irrigas para o controle da irrigação em hortaliças cultivadas em substratos. **Irriga**, Botucatu, v. 10, n. 1, p. 88-95, jan./abr. 2005.

MAROUELLI, W. A.; SILVA, H. R.; OLIVEIRA, C. A. S. Produção de tomate industrial sob diferentes regimes de umidade no solo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 26, n. 9, p. 1531-1537, set. 1991.

MAROUELLI, W. A.; SILVA, H. R.; SILVA, W. L. C. **Manejo da irrigação em hortaliças**. Brasília: EMBRAPA/CNPH, 1986. 12 p. (Circular técnica, 2).

MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C.; CARRIJO, O. A.; SILVA, H. R. Produção de alho sob diferentes tensões de água no solo e doses de nitrogênio. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 2, p. 191-194, abr. 2002a.

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, set. 2002b.

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, abr. 2003.

MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C.; SILVA, H. R. da. **Manejo da irrigação em hortaliças**. 5. ed. Brasília: EMBRAPA/SPI, 1996. 72 p.

MARTINS, S. R.; FERNANDES, H. S.; POSTINGHER, D.; SCHWENGBER, J. E.; QUINTANILLA, L. F. Avaliação da cultura do pepino (*Cucumis sativus*, L.) cultivado em estufa plástica, sob diferentes tipos de poda e arranjo de plantas. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 1, n. 1, p. 30-33, jan./abr. 1995.

MEDEIROS, C. A.; ZIEMER, A. H.; DANIELS, J.; PEREIRA, A. S. Produção de sementes pré-básicas de batata em sistemas hidropônicos. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 1, p. 110-114, mar. 2002.

MEDEIROS, J. F. de. **Manejo de água de irrigação salina em estufa cultivado com pimentão**. 1998. 152 f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

MONTEIRO, R. O. C. **Função de resposta da cultura do meloeiro aos níveis de água e adubação nitrogenada no vale do Curu, CE**. 2004. 87 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

MUCHOW, R. C.; SINCLAIR, T. R.; BENNETT, J. M.; HAMMOND, L. C. Response of leaf growth, leaf nitrogen and stomatal conductance to water deficits during vegetative growth of field-grown soybean. **Crop Science**, Madison, v. 26, n. 6, p. 1190-1195, Nov. 1986.

NAPOLEÃO, B. A. Pragas em cultivos protegidos e o controle biológico. In: CULTIVO protegido e o controle biológico de pragas: qualidade na produção. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 26, n. 225, p. 3, abr. 2005.

NASCIMENTO, J. T.; PEDROSA, M. B.; TAVARES SOBRINHO, J. Efeito da variação de níveis de água disponível no solo sobre o crescimento e produção de feijão caupi, vagens e grãos verdes. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 2, p. 174-177, abr./jun. 2004.

OLIVEIRA, A. C. B.; ARAUJO, M. L.; LEAL, N. R. Avaliação do comportamento de três cultivares de pepino submetidos ao cultivo sob estrutura de proteção e a céu aberto na região Norte Fluminense – RJ. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 13, n. 1, p. 99, maio 1995.

OLIVEIRA, R. A. de; TAGLIAFERRE, C. Manejo da irrigação. In: FONTES, P. C. R. **Olericultura: teoria e prática**. Viçosa, MG: UFV, 2005. p. 143-158.

OLIVEIRA, S. L. de. **Funções de resposta do milho doce ao uso de irrigação e nitrogênio**. 1993. 91 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

PÁDUA, T. de S. **Espaçamento econômico na cultura do cafeeiro (*Coffea arabica* L.)**: um estudo no Sul de Minas Gerais. 1998. 62 p. Dissertação (Mestrado em Economia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

PAIVA, L. C. **Periodicidade de crescimento do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) em diferentes tensões de irrigação e duas densidades de plantio**. 2006. 90 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

PEREIRA, J. R. D. **Viabilidade técnica e econômica das aplicações de água e nitrogênio no cultivo de gladiolo (*Gladiolus x grandiflorus* L.)**. 2005. 80 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

PEREIRA, M. N. B. **Comportamento de duas cultivares de algodoeiro herbáceo (*Gossypium hirsutum*, L. r. *Latifolium Hutch* L.) em baixos níveis de água disponível do solo**. 1995. 109 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

PURQUERIO, L. F. V.; TIVELLI, S. W. **Manejo do ambiente em cultivo protegido**: estudo desenvolvido pelo IAC. 2006. Disponível em: <http://www.iac.sp.gov.br/Tecnologias/MANEJO_Cultivo_protegido.htm>. Acesso em: 23 dez. 2007.

RAMIREZ, D. R.; WEHNER, T. C.; MILLER, C. H. Source limitation by defoliation and its effect on dry matter production and yield of cucumber. **HortScience**, Alexandria, v. 23, n. 4, p. 704-706, Aug. 1988.

REIS, N. V. B.; HORINO, Y.; OLIVEIRA, C. A. S.; BOITEUX, L. S. Influência da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) sobre os componentes de produção de nove genótipos de pepino plantados a céu aberto e sob estufas plásticas. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 9, n. 1, p. 55, maio 1991.

REIS, N. V. B.; HORINO, Y.; OLIVEIRA, C. A. S.; BOITEUX, L. S.; LOPOES, J. F. Influência da temperatura graus-dias sobre a produção de pepino sob cultivo protegido e a céu aberto. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 10, n. 1, p. 65, maio 1992.

RESENDE, M.; HENDERSON, D. W.; FERERES, E. Frequência de irrigação e produção de feijão Kidney. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 16, n. 3, p. 363-370, maio 1981.

ROBLES, J. **Como se cultiva en invernadero**. Barcelona: Vecchi, 1985. 191 p.

RODRIGUES, D. S. **Lâminas de água e diferentes tipos de cobertura de solo na cultura do pimentão amarelo sob cultivo protegido**. 2001. 106 p. Tese (Doutorado em Horticultura) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu.

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.

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

SANTANA, M. J.; CARVALHO, J. A.; FAQUIM, V.; QUEIROZ, T. M. 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, nov. 2004.

SANTOS, D. S. **Efeitos da tensão de água no solo, na cultura do pepino (*Cucumis sativus* L.), utilizando sistema de irrigação automatizado**. 2002. 60 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

SANTOS, R. F.; CARLESSO, R. Déficit hídrico e os processos morfológico e fisiológico das plantas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 2, n. 3, p. 287-294, set. 1998.

SCALCO, M. S. **Características agronômicas e de qualidade industrial do trigo sob irrigação e adubação nitrogenada**. 2000. 112 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

SGANZERLA, E. **Nova agricultura**: a fascinante arte de cultivar com os plásticos. 5. ed. Guaíba: Agropecuária, 1995. 342 p.

SILVA, A. C. F. da; AGOSTINI, I.; MÜLLER, J. J. V.; VIZZOTTO, V. J. Efeito de densidades populacionais sobre a produtividade de pepino para conserva. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 10, n. 1, p. 28-29, maio 1992.

SILVA, L. C da; BELTRÃO, N. E. de M. Incremento de fitomassa e produtividade do amendoimzeiro em função de lâmina e intervalos de irrigação. **Revista de Oleaginosas e Fibrosas**, Campina Grande, v. 4, n. 2, p. 111-121, maio/ago. 2000.

SILVA, W. L. C.; MAROUELLI, W. A. Manejo da irrigação em hortaliças no campo e em ambientes protegidos. In: FARIA, M. A.; SILVA, E. L.; VILELA, L. A. A.; SILVA, A. M. (Ed.). **Manejo de irrigação**. Poços de Caldas: UFLA/SBEA, 1998. p. 311-348.

STANLEY, C. D.; MAYNARD, D. N. Vegetables. In: STEWART, D. R.; NIELSEN, D. R. (Ed.). **Irrigation of agricultural crops**. Madison: ASA/CAAA/SSSA, 1990. p. 921-950.

STANSELL, J. R.; SMITTLE, D. A. Effects of irrigation regimes on yield and water use of snap bean (*Phaseolus vulgaris* L.). **Journal on the American Society of Horticultural Science**, Alexandria, v. 105, n. 6, p. 869-873, 1980.

STONE, L. F.; MOREIRA, J. A. A. Efeitos de sistemas de preparo do solo no uso da água e na produtividade do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 4, p. 835-841, abr. 2000.

TAIZ, L.; ZIEGER, E. **Plant Physiology**. 3. ed. Sunderland: Sinauer Associates, 1998. 792 p.

TÁVORA, F. J. A. F.; MELO, F. I. O. Respostas de cultivares de amendoim a ciclos de deficiência hídrica: crescimento vegetativo, reprodutivo e relações hídricas. **Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v. 22, n. 1/2, p. 47-60, jun. 1991.

TESSARIOLI NETO, J.; LIMA, M. S.; IWATA, A. Y.; VERDIAL, M. F.; MINAMI, K.; DIAS, C. T. S. Avaliação de diferentes variedades de tomate cultivadas sob estufa, em dois sistemas de condução. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 37., 1997, Manaus. **Resumos**, 1997. v. 1. p. 25-25.

TIBAU, A. O. **Técnicas modernas de irrigação**: aspersão, derramamento e gotejamento. 5. ed. São Paulo: Nobel, 1984. 223 p.

VILAS BOAS, R. C. **Cultivo de alface crespa em ambiente protegido sob diferentes lâminas de irrigação**. 2006. 64 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras.

WITHERS, B.; VIPOND, S. **Irrigação**: projeto e prática. São Paulo: EPU, 1977. 339 p.

ZOCOLER, J. L. Análise econômica de sistemas de irrigação. In: MIRANDA, J. H.; PIRES, R. C. M. **Irrigação**. Piracicaba: FUNEP, 2001. v. 1, p. 121-194.