

**CULTIVO DE ALFACE CRESPA EM
AMBIENTE PROTEGIDO SOB DIFERENTES
LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO**

RENATO CARVALHO VILAS BOAS

2006

RENATO CARVALHO VILAS BOAS

**CULTIVO DE ALFACE CRESPA EM AMBIENTE PROTEGIDO SOB
DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Irrigação e Drenagem, para obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Prof. Dr. Jacinto de Assunção Carvalho

**LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2006**

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

Vilas Boas, Renato Carvalho

Cultivo de alface crespa em ambiente protegido sob diferentes lâminas de irrigação / Renato Carvalho Vilas Boas. – Lavras : UFLA, 2006.

64 p. : il.

Orientador: Jacinto de Assunção Carvalho

Dissertação (Mestrado) – UFLA.

Bibliografia.

1. *Lactuca sativa* L. 2. Ambiente protegido. 3. Irrigação. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-635.5287

RENATO CARVALHO VILAS BOAS

**CULTIVO DE ALFACE CRESPA EM AMBIENTE PROTEGIDO SOB
DIFERENTES LÂMINAS DE IRRIGAÇÃO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, área de concentração em Irrigação e Drenagem, para obtenção do título de “Mestre”.

APROVADA em 23 de fevereiro de 2006

Prof. Dr. Luiz Antônio Augusto Gomes UFLA

Prof. Dr. Dênis César Cararo UFLA

Prof. Dr. Jacinto de Assunção Carvalho

UFLA

(Orientador)

**LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL**

A Deus,

pelo belíssimo dom da vida;

OFEREÇO

Aos meus pais Carlos e Izilda,

pelo amor, apoio e incentivo;

A minha irmã Racielle,

pela compreensão, apoio e carinho;

A minha namorada Vivian Khattar,

pelo companheirismo, amor e carinho;

Aos meus familiares e amigos,

pelo apoio e incentivo na realização deste trabalho.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela presença constante em minha vida.

À Universidade Federal de Lavras, em especial ao Departamento de Engenharia, pela oportunidade de realização do curso.

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

Ao prof. Jacinto de Assunção Carvalho pela oportunidade, orientação e amizade durante a realização do curso.

Ao prof. Luiz Antônio Augusto Gomes pela atenção prestada, co-orientação e apoio na realização deste estudo e também pelos ensinamentos.

A todos os professores do Setor de Hidráulica da UFLA, pelos ensinamentos repassados.

Aos funcionários Lindeberg (“Seu Berg”), Oswaldo (Nenê) e José Luiz, pelo auxílio e fornecimento de material.

Ao Sr. Milton e seu filho Leandro (Horta – UFLA) que foram responsáveis pelo destorroamento do terreno e também pelo levantamento dos canteiros.

Aos alunos de graduação em Engenharia Agrícola, Alexandre, Kleber e Reginaldo e ao aluno de pós-graduação em Engenharia Agrícola Márcio Koetz, pelo auxílio na condução do experimento.

A todos os amigos do curso de pós-graduação, pelo convívio e principalmente pela grande amizade.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho científico.

BIOGRAFIA

RENATO CARVALHO VILAS BOAS, filho de Carlos Meres Vilas Boas e Izilda Aparecida de Carvalho Vilas Boas, nasceu em Lavras – Minas Gerais, no dia 17 de maio de 1978.

Em 1988, concluiu o ensino fundamental na Escola Estadual Álvaro Botelho, em Lavras. O ensino médio foi concluído em 1995, na Escola Estadual Dr. João Batista Hermeto, em Lavras.

Cursou Engenharia Agrícola na Universidade Federal de Lavras – UFLA, de agosto de 1998 a julho de 2003. Foi bolsista de iniciação científica da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG, de 2001 a 2003, desenvolvendo trabalhos relacionados à fertilidade do solo, nutrição mineral de plantas e irrigação e drenagem.

Ingressou no curso de Mestrado em Engenharia Agrícola, área de concentração em Irrigação e Drenagem, em agosto de 2004.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
1 INTRODUÇÃO.....	01
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	03
2.1 Aspectos da cultura da alface.....	03
2.2 Cultivo em ambiente protegido.....	06
2.3 Manejo da irrigação.....	08
2.4 Função de produção e análise econômica de experimentos.....	11
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	15
3.1 Localização e época do experimento.....	15
3.1.1 Clima.....	16
3.2 Solo.....	16
3.2.1 Análises físicas.....	16
3.2.2 Análises químicas.....	18
3.2.3 Preparo do solo e canteiros.....	19
3.3 Delineamento experimental e tratamentos.....	20
3.4 Equipamentos e manejo da irrigação.....	22
3.5 Cultivares empregadas e produção das mudas.....	25
3.6 Instalação e condução do experimento.....	26
3.7 Práticas culturais.....	26
3.7.1 Adubação.....	26
3.7.2 Controle de plantas daninhas.....	27
3.7.3 Controle fitossanitário.....	27
3.8 Variáveis meteorológicas.....	28

3.9 Características avaliadas.....	28
3.9.1 Massa fresca total.....	28
3.9.2 Massa fresca comercial.....	28
3.9.3 Número e massa fresca de folhas da cabeça comercial.....	29
3.9.4 Comprimento do caule.....	29
3.9.5 Teor de matéria seca de folhas da cabeça comercial.....	29
3.9.6 Produtividade total e comercial.....	30
3.9.7 Eficiência no uso da água (EUA).....	30
3.10 Análises estatísticas.....	30
3.11 Função de produção e análise econômica.....	30
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
4.1 Caracterização das condições climáticas na casa de vegetação.....	36
4.2 Avaliação do sistema de irrigação.....	38
4.3 Lâminas de irrigação acumuladas.....	38
4.4 Avaliação da massa fresca total e comercial.....	39
4.5 Comprimento do caule, número e massa fresca de folhas da cabeça comercial.....	43
4.6 Teor de matéria seca de folhas da cabeça comercial.....	47
4.7 Produtividade total e comercial.....	49
4.8 Eficiência no uso da água.....	51
4.9 Análise econômica da lâmina de água.....	54
5 CONCLUSÕES.....	57
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	58

RESUMO

VILAS BOAS, Renato Carvalho. **Cultivo de alface crespa em ambiente protegido sob diferentes lâminas de irrigação.** 2006. 64 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola/Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.*

No mercado brasileiro, a alface é a principal folhosa, tanto em termos de produção quanto consumo. Os estados de São Paulo e Minas Gerais são os principais produtores. Destacam-se, como dificuldades no cultivo da alface em ambiente protegido, a falta de informações específicas sobre o momento oportuno de irrigar e a quantidade de água a ser aplicada, aliada a uma análise econômica do processo. Objetivou-se neste trabalho a avaliação técnica e econômica do efeito de diferentes lâminas de irrigação sobre a produção de duas cultivares de alface tipo crespa, cultivadas sob ambiente protegido na região de Lavras (MG). O experimento foi instalado em casa de vegetação na Universidade Federal de Lavras, no período de setembro a novembro de 2005. Foi empregado o delineamento em blocos casualizados, em esquema fatorial 2 x 4, com quatro repetições. Os tratamentos constituíram-se de duas cultivares de alface, Verônica e Hortência, e quatro lâminas de irrigação, 75, 100, 125 e 150% de reposição de água. Os resultados permitiram concluir que as duas cultivares apresentaram a mesma tendência com relação ao consumo de água durante o ciclo de produção; maiores produtividades (total e comercial), plantas com maior número de folhas e maior massa fresca de folhas foram obtidas com a aplicação da lâmina de irrigação de 240 mm (121,2% de reposição de água); o comprimento do caule aumentou, enquanto o teor de matéria seca de folhas reduziu-se linearmente em função das lâminas de água aplicadas; a maior eficiência no uso da água ($171,8 \text{ Kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$) ocorreu com a aplicação da lâmina de 198 mm, correspondente a 100% de reposição de água; a máxima produtividade comercial, $33.225 \text{ Kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, foi estimada com a aplicação da lâmina de 244,9 mm (123,7% de reposição de água); a lâmina economicamente ótima foi estimada em 244,2 mm, resultando em uma produtividade comercial praticamente igual à máxima física.

Palavras-chave: *Lactuca sativa* L., ambiente protegido, irrigação

*Comitê Orientador: Jacinto de Assunção Carvalho – UFLA (Orientador), Luiz Antônio Augusto Gomes – UFLA.

ABSTRACT

VILAS BOAS, Renato Carvalho. **Cultivation of crisped lettuce in a protected environment under different irrigation depths.** 2006. 64 p. Dissertation (Master in Agricultural Engineering/Irrigation and Drainage) – “Universidade Federal de Lavras”, Lavras, MG.*

In the Brazilian market, lettuce is the main leafy vegetable, both in terms of yield and consumption. The states of São Paulo and Minas Gerais are the chief producers. The difficulties found in adopting lettuce cultivation in a protected environment are: the lack of specific informations about the timely moment to irrigate and the amount of water to be applied linked to an economic analysis of the process. The present work was intended technic and economic valuation of the effect of different irrigation depths upon the yield of two lettuce cultivars type crisped, cultivated in a protected environment in the region of Lavras (MG). The experiment was set up in greenhouse at the “Universidade Federal de Lavras” in the period of September to November of 2005. The randomized block design in 2 x 4 factorial scheme, with four replicates, was employed. The treatments consisted of two lettuce cultivars, Verônica and Hortência, and four irrigation depths, 75, 100, 125 and 150% of water replacement. The results enabled to conclude the two cultivars of lettuce presented the same trend as regards water consumption throughout production cycle; higher yields (total and commercial), plants with higher number of leaves and higher fresh mass of leaves were obtained with the application of the irrigation depth of 240 mm (121.2% of water replacement); the stem length increased whereas the dry matter content of leaves reduced linearly as related with the water depths applied; the higher in water use efficiency ($171.8 \text{ Kg.ha}^{-1}.\text{mm}^{-1}$) took place with the application of depth 198 mm, corresponding 100% of water replacement; the maximum commercial yield, $33.225 \text{ Kg.ha}^{-1}$, was estimated from the application of the depth of 244.9 mm (123.7% of water replacement); the economically optimum depth was estimated in 244.2 mm, resulting into a commercial yield practically equal to the physical maximum one.

Keywords: *Lactuca sativa* L., protected environment, irrigation

*Guidance Committee: Jacinto de Assunção Carvalho – UFLA (Major Professor), Luiz Antônio Augusto Gomes – UFLA.

1 INTRODUÇÃO

O cultivo comercial de hortaliças em estufas plásticas é uma atividade consolidada e crescente, principalmente nas proximidades das grandes concentrações urbanas, onde a capacidade de produção intensiva em pequenas áreas atende à grande demanda que esses locais apresentam, tanto em quantidade como em qualidade de produtos hortifrutigranjeiros.

Dentre as hortaliças mais cultivadas em ambiente protegido no Brasil, destacam-se o pimentão, a alface, o tomate e o pepino. Entretanto, a alface (*Lactuca sativa* L.) é, atualmente, a mais difundida das hortaliças folhosas, sendo cultivada em quase todas as regiões do globo terrestre. No mercado brasileiro, em particular, a alface é a principal folhosa, tanto em termos de produção quanto consumo. A região sudeste é responsável por 65% da produção, destacando-se os estados de São Paulo e Minas Gerais (IBGE, 1996). Dentre os diferentes tipos de alface comercializados na CEAGESP/SP em 2004, 48,6%, ou seja, 12.364 toneladas foram de alface do tipo crespa (Agrianual, 2006). Além do valor econômico e alimentar, o cultivo de alface também tem grande importância social, na geração de empregos diretos e indiretos, pois demanda grande quantidade de mão-de-obra, desde o cultivo até a comercialização.

No Brasil, onde há vastas regiões com deficiência hídrica e irregularidade na distribuição de chuvas, é fácil perceber a importância da irrigação na atividade olerícola em geral. Para a região Sudeste, é recomendável o uso da irrigação nos cultivos da alface, em razão da necessidade de se ter sob controle o fornecimento de água à cultura; também é preciso dar-se às plantas uma proteção contra os efeitos danosos das elevadas precipitações que ocorrem

com muita frequência na estação chuvosa, o que tem sido feito com o cultivo em ambiente protegido.

Devido à importância do cultivo em ambiente protegido para a cultura da alface no Brasil, é de grande importância o desenvolvimento de pesquisas que subsidiem o aproveitamento do potencial dessa tecnologia nas diferentes regiões climáticas do país, notadamente aqueles necessários ao adequado manejo da irrigação e economicidade do processo produtivo. Assim, há necessidade de serem quantificados, dentre outros, os efeitos dos fatores climáticos sobre a evapotranspiração da cultura e a lâmina de água adequada para o cultivo, capazes de promover uma produtividade ótima econômica, sendo essas informações imprescindíveis para o correto controle da irrigação pelos operadores e técnicos de projetos de irrigação.

Desta forma, destacam-se, como dificuldades no cultivo da alface em ambiente protegido, a falta de informações específicas sobre o momento oportuno de irrigar e a quantidade de água a ser aplicada, aliada a uma análise econômica do processo, sendo indispensável para isso o conhecimento de parâmetros relacionados às plantas, ao solo e ao clima e também aos custos de produção.

O presente trabalho teve como objetivo a avaliação técnica e econômica do efeito de diferentes lâminas de irrigação sobre a produção de duas cultivares de alface do tipo crespa, Verônica e Hortência, cultivadas sob ambiente protegido na região de Lavras (MG).

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Aspectos da cultura da alface

A alface (*Lactuca sativa* L.) é uma planta herbácea, pertencente à família Asteraceae, com caule diminuto, não ramificado, ao qual se prendem as folhas. Estas folhas são grandes, lisas ou crespas, fechando-se ou não na forma de uma “cabeça”. Sua coloração varia de verde -amarelado ao verde-escuro, sendo que algumas cultivares apresentam as margens arroxeadas. As raízes são do tipo pivotante, podendo atingir 0,60 m de profundidade quando em sementeira direta, porém, apresentam ramificações delicadas, finas e curtas, explorando apenas os primeiros 0,25 m de solo (Filgueira, 2000).

Na prática, é considerada uma planta de raízes densas e superficiais, estando seu sistema radicular a uma profundidade efetiva entre 0,15 a 0,30 m no seu máximo desenvolvimento (Marouelli et al., 1996). Assim, quando as características de solo e do sistema radicular são levadas em consideração, o manejo da irrigação pode ser ajustado às condições momentâneas da cultura.

Segundo Sganzerla (1995), a umidade relativa do ar ótima varia de 60 a 80% e as temperaturas críticas de interferência no desenvolvimento da cultura são abaixo de 10-12°C e acima de 30°C, necessitando de variações de amplitude térmica entre dia e noite, para formação de cabeça, sendo que, em local onde a temperatura no verão ultrapassa os 32°C, recomenda-se a instalação de sistema de nebulização na parte mais alta da estufa, a fim de refrigerar o ambiente e evitar a desidratação das folhas.

Segundo Filgueira (2000), durante a primavera-verão, esta cultura, quando em estufa, muito se beneficia do chamado efeito “guarda-chuva”, de

- ‖ alface de folhas crespas: as folhas são crespas, soltas, consistentes, não formando uma cabeça repolhuda mas, uma roseta de folhas. Exemplos: *Grand Rapids*, Verônica, Vanessa, Brisa e Marisa AG-216;
- ‖ repolhuda lisa ou repolhuda manteiga: apresenta cabeças com folhas tenras, lisas, de cor verde clara e com aspecto oleoso. Exemplos: *White Boston*, Brasil 48, Brasil 303, Elisa, Aurélia, Floresta, Glória e Vivi;
- ‖ repolhuda crespa ou alface americana: apresenta cabeça crespa, folhas com nervuras salientes e imbricadas, semelhantes ao repolho. Exemplos: *Great Lakes*, Mesa 659, Iara, *Lucy Brown*, *Lorca*, *Legacy* e *Raider*.

A alface é uma excelente fonte de vitamina A, possuindo ainda as vitaminas B₁, B₂ e C, além de cálcio e ferro (Camargo, 1992). Graças às suas propriedades nutritivas, que são conservadas pelo fato de ser consumida crua, é um importante alimento para a população brasileira.

É a hortaliça folhosa mais difundida atualmente, sendo cultivada em quase todos os países. Segundo a FAO (2002), foram produzidos no mundo 17,28 milhões de toneladas de alface, em uma área de 791.144 ha em 2000. No Brasil, o IBGE (1996) informa que no ano de 1996 houve uma produção de 311.887 toneladas de alface, no valor de 152.347 milhões de reais.

Considerando o mercado brasileiro, a alface é a principal folhosa, tanto em termos de produção quanto consumo. A região sudeste é responsável por 65% da produção, destacando-se os estados de São Paulo e Minas Gerais (IBGE, 1996). Dentre os diferentes tipos de alface comercializados na CEAGESP/SP em 2004, 48,6%, ou seja, 12.364 toneladas foram de alface do tipo crespa (Agrianual, 2006).

2.2 Cultivo em ambiente protegido

A descoberta do polímero de polietileno, no final da década de 30, e sua posterior introdução na agricultura, no início da década de 50, revolucionaram a produção comercial de algumas hortaliças em diversas regiões do mundo (Lamont Junior, 1996). No Brasil, a introdução desta tecnologia ocorreu na década de 70, através do Instituto Adventista Agroindustrial de Manaus, no Amazonas (Martins, 1996), e dos produtores cooperados da extinta Cooperativa Agrícola de Cotia – Cooperativa Central (CAC-CC), na região do cinturão verde da cidade de São Paulo (Kumagaia, 1991).

Os primeiros experimentos da Embrapa com hortaliças em cultivo protegido foram feitos em 1980 (Cultivo..., 2002). Ao longo dos anos, tem aumentado o número de instituições de pesquisa que desenvolvem trabalhos nesses locais. Apesar desse aumento, ainda representa muito pouco frente ao potencial de crescimento dessa atividade, tanto em termos de regiões exploradas no país quanto a culturas envolvidas, bem como a fatores de produção. Relacionados aos fatores de produção, nota-se que ainda são poucos os trabalhos ligados à irrigação nesse tipo de ambiente.

O cultivo de hortaliças em condições protegidas, utilizando o próprio solo como substrato, é a forma mais utilizada no mundo, principalmente em países em desenvolvimento (Silva & Marouelli, 1998). Dentre as hortaliças mais cultivadas em ambiente protegido no Brasil, destacam-se o pimentão, a alface, o tomate e o pepino (Vecchia & Koch, 1999).

No cultivo protegido, as principais finalidades, quando sob estrutura de proteção, são de anular os efeitos negativos das baixas temperaturas, geada, vento, granizo, excesso de chuva, bem como de encurtar o ciclo de produção, e ainda de aumentar a produtividade e de obter-se produtos de melhor

qualidade (Sganzerla, 1995). Esse mesmo autor afirma ainda que se podem conseguir mais safras que no ambiente externo.

Segovia et al. (1997), comparando três cultivares de alface, no inverno, em Santa Maria (RS), dentro e fora de casa de vegetação com cobertura de polietileno, observaram maiores valores de área foliar, número de folhas por planta, massa fresca da parte aérea, matéria seca de folhas, matéria seca do sistema radicular, matéria seca do caule e matéria seca total nas plantas cultivadas no interior da casa de vegetação. Os autores afirmam que é possível obter-se uma produção mais precoce e de melhor qualidade em ambiente protegido do que aquela obtida com o cultivo tradicional.

O uso dessa tecnologia, no entanto, apresenta algumas limitações. Uma delas é a exigência de irrigação, já que é a única forma de repor a água consumida pela cultura.

Cultivos realizados em ambiente protegido distinguem-se dos sistemas de produção a céu aberto, principalmente pelo uso intensivo do solo e controle parcial de fatores ambientais. Assim, o manejo adequado do sistema água-solo-planta-ambiente é de fundamental importância para o sucesso de empreendimentos neste sistema de produção (Carrijo et al., 1999).

Na irrigação destes cultivos, deve-se levar em consideração aspectos de solo, água, planta, microclima e equipamentos utilizados, para se obter o máximo rendimento das culturas, tais como: retenção de água no solo, qualidade da água, métodos de irrigação, volume de água a ser aplicado e frequência de irrigação (Carrijo et al., 1999).

Zambolim et al. (1999) afirmam que a temperatura do ar e do solo e a umidade do ar são maiores em ambiente protegido.

Scatolini (1996) relata um maior efeito da cobertura plástica sobre as temperaturas máximas, com valores variando de 1,2°C a 4,4°C acima das observadas externamente. Esse pesquisador obteve uma diferença média de

4,3°C entre a temperatura máxima interna e a externa sendo maior no interior da casa de vegetação. Ele cita trabalhos em que a temperatura média do ar é maior no interior da casa de vegetação e outros em que não houve diferenças significativas. Tal fato pode estar relacionado aos locais onde foram desenvolvidos os trabalhos e ao aspecto construtivo da casa de vegetação.

Evangelista & Pereira (2001) obtiveram ligeira diferença entre as temperaturas e umidade relativa do ar no interior e na parte externa de uma casa de vegetação em Lavras. Tanto a temperatura máxima do ar quanto a média e a mínima foram maiores no interior da casa de vegetação. Entretanto, os valores de umidade relativa média e mínima foram inferiores no interior. Eles justificaram essas diferenças como sendo devido à interrupção do processo convectivo pela cobertura plástica, o que impedia as trocas de ar com a parte externa da casa de vegetação.

Vasquez et al. (2005) observaram acréscimo de 0,99°C no valor médio da temperatura do ambiente protegido em relação ao ambiente externo. O autor explica que essa diferença já era esperada devido à interrupção do processo convectivo pela cobertura plástica, que impede a passagem do ar quente para o exterior; além disso, deve-se considerar o menor volume de ar a ser aquecido. Já a umidade relativa interna manteve-se aproximadamente constante e menor que a do meio externo, em função da não-interferência advectiva de correntes de ventos.

2.3 Manejo da irrigação

O manejo otimizado da irrigação requer uma estimativa sistemática do estado energético de água no solo para determinar as quantidades apropriadas e o tempo de irrigação. O conteúdo de água do solo deve ser mantido entre certos

limites específicos acima e abaixo, onde a água disponível para a planta não é limitada, enquanto a lixiviação é prevenida (Morgan et al., 2001).

O rendimento e o desenvolvimento das hortaliças são influenciados pelas condições de clima e umidade do solo. O teor de água influencia tanto por deficiência quanto por excesso (Marouelli et al., 1996). Além da sua participação na constituição celular e nos diversos processos fisiológicos da planta, a água está diretamente relacionada aos processos de absorção de nutrientes e resfriamento da superfície vegetal.

Filgueira (2000) relata que a cultura da alface é altamente exigente em água, portanto, as irrigações devem ser freqüentes e abundantes, devido à ampla área foliar e a evapotranspiração intensiva, bem como ao sistema radicular delicado e superficial e a elevada capacidade de produção. Assim, o teor de água útil no solo deve ser mantido acima de 80%, ao longo do ciclo da cultura, inclusive durante a colheita.

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, de equipamentos para medições e também do grau de conhecimento do irrigante (Silva & Marouelli, 1998).

As hortaliças, de maneira geral, apresentam melhores produções quando são submetidas a tensões da ordem de 10 a 40 kPa (Silva & Marouelli, 1998).

De acordo com Doorenbos & Pruitt (1977) e Withers & Vipond (1977), o período crítico de déficit de umidade no solo para a alface ocorre principalmente antes da colheita.

Em áreas cobertas, apresentando um mesmo tipo de solo, devem ser instalados no mínimo quatro tensiômetros por área coberta, sendo dois

instalados na profundidade de maior concentração das raízes e os outros dois no limite inferior do sistema radicular e dentro do bulbo molhado. Para solos de textura média (franco argiloso ou franco arenoso), deve-se irrigar quando o tensiômetro indicar tensões entre 10 a 15 kPa, para solos de textura fina (argilosos), entre 15 a 20 kPa e para solos de textura grossa (arenosos), entre 5 a 10 kPa (Carrijo et al., 1999; Makishima & Carrijo, 1998).

Em condições de solos não salinos, a tensão matricial é o fator da água no solo que mais influencia o crescimento das plantas (Cabello, 1996; Stone et al., 1988).

Andrade Júnior et al. (1992), analisando os efeitos de quatro níveis de irrigação, baseados na evaporação do Tanque Classe A (ECA) (0,5; 0,75; 1,0 e 1,25), aplicados por microaspersão em alface, constataram que a matéria fresca da "cabeça" e a produtividade apresentaram resposta quadrática, tendo alcançado os valores máximos de 184 g e 23.670 Kg.ha⁻¹, respectivamente, com o nível de irrigação correspondente a 75% da ECA. Os resultados relativos à eficiência do uso de água revelaram resposta linear decrescente, com o aumento dos níveis de irrigação, significando que a cultura responde melhor à aplicação de pequenas lâminas de irrigação, porém com alta frequência.

Hamada (1993), estudando a aplicação de diferentes lâminas de água (60, 80, 100, e 120 % da evaporação diária, obtida do tanque Classe A) na cultura da alface tipo lisa, pelo método de gotejo, verificou que o maior valor de matéria seca total acumulada foi de 13 g.planta⁻¹, conseguida com o tratamento de 100% da evaporação. Já os melhores resultados de produtividade e produção de plantas de melhor qualidade comercial foram obtidos com a aplicação do nível de irrigação equivalente a 1,2 vezes à evaporação do Tanque Classe A. Entretanto, a maior eficiência do uso de água foi obtida no tratamento com a menor lâmina de irrigação aplicada (0,6 da ECA).

Vários trabalhos da literatura têm mostrado ser a tensão de água no solo indicada, tanto para determinar o momento de irrigar, quanto para mostrar a quantidade de água a ser aplicada nas culturas (Guerra et al., 1994; Guerra, 1995; Figuerêdo, 1998; Santos & Pereira, 2004).

Gondim et al. (2000) compararam três métodos de controle da irrigação (tensiômetro, tanque Classe A e equação de Hargreaves) em caupi. Concluíram que a irrigação com base nas leituras em tensiômetros proporcionou menor demanda de água que o tanque Classe A e a equação de Hargreaves. Como não houve diferença significativa entre os tratamentos para produção de grãos, eles indicaram esse método para o controle da irrigação naquela cultura.

Avaliando também métodos de controle da irrigação, Chieppe Júnior et al. (2000), comparando os métodos tensiômetro e curva de retenção de água no solo, tanque Classe A e curva de retenção e tensiômetro e tanque Classe A, não encontraram diferença significativa para as variáveis analisadas no feijoeiro (índice de área foliar e matéria seca total).

2.4 Função de produção e análise econômica de experimentos

As funções de resposta das culturas, com bases experimentais, constituem fontes valiosas de informações a serem utilizadas nos modelos de tomada de decisão das empresas agrícolas (Frizzone, 1987).

Nos estudos econômicos das produções agrícolas, as funções de produção têm sido um importante instrumento que, de certa maneira, avaliam os efeitos das variações dos insumos sobre as variações na 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).

Segundo Ferguson (1988), uma função de produção é definida como sendo a relação técnica entre um conjunto específico de fatores envolvidos num processo produtivo qualquer e a produção física possível de se obter com a tecnologia existente.

Os modelos matemáticos que descrevem uma função de produção mais comumente utilizada nas análises econômicas das pesquisas agrícolas são: Quadrático, Raiz Quadrada, Mitscherlich e o Potência 3/2 (Hexem & Heady, 1978). Entretanto, o modelo polinomial quadrático, utilizado por vários pesquisadores (Carvalho, 1995; Frizzone, 1987; Oliveira, 1993; Pereira, 2005; Tarsitano & Hoffmann, 1985), na maioria das vezes foi o que melhor representou a estimativa de produção, permitindo uma análise que define as doses de máxima eficiência econômica, com o uso da produtividade máxima ou do lucro máximo.

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

$$Y = f(x_1, x_2, \dots, x_m) \dots \dots \dots (1)$$

em que:

Y = produção do cultivo;

x_m = fator variável que afeta a produção do cultivo.

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

Quantidade e frequência de irrigação, método de aplicação de água, estágio de desenvolvimento da cultura, variabilidade do solo, condições

climáticas, entre outros, são fatores que afetam a produção das culturas, em reposta à água aplicada.

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 pela irrigação 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. A quantidade de água a ser utilizada na irrigação pode ser selecionada no ponto da região econômica de produção, onde o valor da produtividade física marginal da água é igual ao seu preço. O produto físico marginal (PFMa) representa a quantidade que cada unidade adicional do fator variável acrescenta ao produto total, permanecendo os outros fatores do experimento constantes.

Dos fatores de produção, a água e os fertilizantes são aqueles que limitam os rendimentos com maior frequência. Desse modo, o controle da irrigação e da fertilidade do solo constituem critério preponderante para o sucesso da agricultura. A utilização das funções de resposta permite encontrar soluções úteis na otimização do uso da água e dos fertilizantes na agricultura ou na previsão de rendimentos culturais (Frizzone, 1987).

Um manejo eficiente da irrigação requer informações relacionadas às necessidades de água das culturas e da função de produção das culturas em relação à água (Scalco, 2000).

Oliveira (1993) cita que muitos trabalhos de pesquisa, envolvendo irrigação e fertilizantes, apontam recomendações genéricas que objetivam a obtenção de produtividades físicas máximas, sem qualquer preocupação econômica. 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.

Desta forma, torna-se necessária a realização de pesquisas visando à determinação das lâminas de irrigação e dos níveis de adubação economicamente ótimos para as diversas culturas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e época do experimento

O experimento foi conduzido em casa de vegetação, modelo arco, do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras (UFLA), ‘Setor de Engenharia de Água e Solo’, no município de Lavras, sul de Minas Gerais, que está situado a 913,9 m de altitude e com coordenadas geográficas 21° 14’ de latitude sul e 45° 00’ de longitude oeste de Greenwich (Brasil, 1992).

O experimento teve início com a sementeira no dia 15/09/2005, sendo o transplante das mudas realizado em 11/10/2005, e término com a colheita no dia 17/11/2005, totalizando um período de 63 dias. Uma visão geral do experimento no interior da casa de vegetação encontra-se na Figura 1.



FIGURA 1. Visão geral do experimento no interior da casa de vegetação. UFLA, Lavras, MG, 2006.

3.1.1 Clima

De acordo com a classificação de Köppen (Antunes, 1980), a região apresenta um clima Cwb, ou seja, clima temperado suave, chuvoso, com inverno seco. A temperatura média do mês mais frio é inferior a 18°C e superior a 3°C e o verão apresenta temperatura média do mês mais quente superior a 22°C. Lavras apresenta temperatura do ar média anual de 19,4°C, umidade relativa do ar média de 76,2% e tem uma precipitação média anual de 1.529,7 mm, bem como uma evaporação média anual de 1.034,3 mm (Brasil, 1992).

3.2 Solo

O solo, classificado como um Latossolo Vermelho Distroférico (EMBRAPA, 1999), foi coletado na camada de 0 a 0,30 m de profundidade. As análises físicas e químicas foram realizadas em duas amostras compostas representativas, enviadas aos Laboratórios de Física do Solo e de Fertilidade do Solo do Departamento de Ciência do Solo da UFLA, respectivamente.

3.2.1 Análises físicas

Na Tabela 1 são apresentados os resultados das análises físicas e a classificação textural do solo utilizado no experimento.

TABELA 1. Granulometria e classificação textural do solo utilizado no experimento. UFLA, Lavras, MG, 2006.

Identificação	Areia	Silte (%)	Argila	Classe textural
Amostra 1	12	21	67	Muito argilosa
Amostra 2	12	22	66	Muito argilosa

Fonte: Laboratório de Física do Solo – DCS/UFLA.

Para a determinação da curva característica de água no solo, amostras de solo foram coletadas à profundidade de 0,10 m e levadas ao Laboratório de Física do Solo para análise.

Amostras de solo 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 determinação de pontos de baixa tensão (2, 4, 6, 8, e 10 kPa), bem como para Câmara de Pressão de Richards para os pontos de maior tensão (20, 33, 40, 70, 1000 e 1500 kPa). Esse procedimento foi realizado para representar a amostra da camada de 0 a 0,20 m de solo.

Utilizando-se o programa computacional SWRC, desenvolvido por Dourado Neto et al. (1990), foi gerada a equação, ajustada segundo modelo proposto por Van Genuchten (1980), que descreve o comportamento da umidade do solo em função da tensão (potencial matricial) (Equação 2). A partir dessa equação e dos valores observados foi gerada a curva de retenção da água no solo para a camada em estudo (Figura 2).

$$\theta = 0,287 + \frac{0,290}{\left[1 + (0,280 \cdot |\psi_m|)^{2,204}\right]^{0,546}} \dots\dots\dots(2)$$

em que:

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

ψ_m = potencial matricial (kPa).

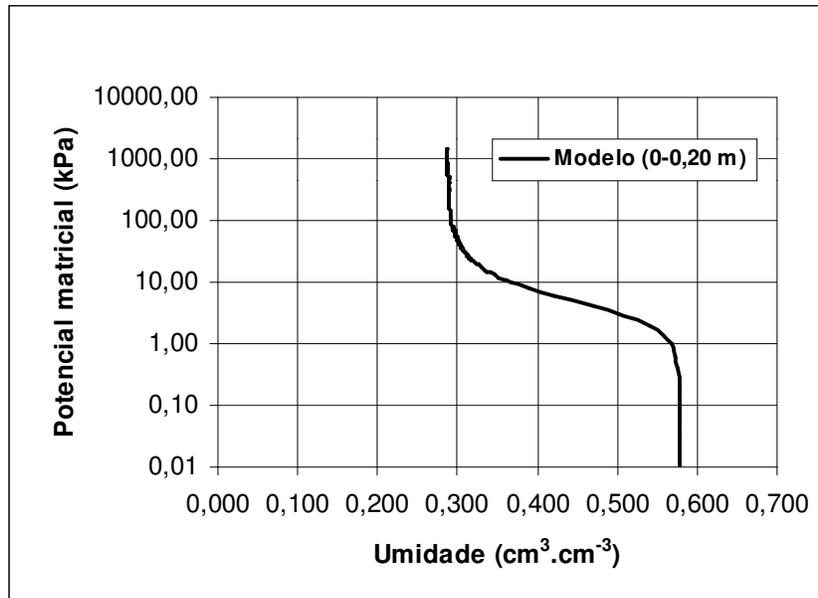


FIGURA 2. Curva característica de retenção de água no solo, gerada utilizando-se o modelo proposto por Van Genuchten (1980). UFLA, Lavras, MG, 2006.

A tensão de água no solo, equivalente à umidade na capacidade de campo, foi obtida através de teste *in loco*, conforme Bernardo et al. (2005), tendo o valor de 10 kPa. Com essa tensão obtida para o solo e utilizando-se a Equação 2 foi encontrado o valor de umidade na capacidade de campo, correspondente à camada de 0 a 0,20 m de profundidade.

3.2.2 Análises químicas

Na Tabela 2 são mostrados os teores de nutrientes encontrados no solo antes da adubação de plantio. Para a obtenção dessas características químicas foram coletadas amostras compostas no local do experimento.

TABELA 2. Resultados das análises químicas das amostras do solo para a implantação do experimento de cultivo de alface. UFLA, Lavras, MG, 2006.

Sigla	Descrição	Unidade	Identificação	
			Amostra 1 *	Amostra 2 *
pH	Em água (1:2,5)	-	6,2 (AF)	6,3 (AF)
P	Fósforo disp. (Mehlich 1)	mg.dm ⁻³	0,6 (MB)	1,4 (MB)
K	Potássio disponível	mg.dm ⁻³	42 (M)	37 (B)
Ca ²⁺	Cálcio trocável	cmol _c .dm ⁻³	2,6 (b)	1,8 (M)
Mg ²⁺	Magnésio trocável	cmol _c .dm ⁻³	0,4 (B)	1,2 (b)
Al ³⁺	Acidez trocável	cmol _c .dm ⁻³	0,0 (MB)	0,0 (MB)
H+Al	Acidez potencial	cmol _c .dm ⁻³	1,5 (B)	1,9 (B)
SB	Soma de bases	cmol _c .dm ⁻³	3,1 (M)	3,1 (M)
(t)	CTC efetiva	cmol _c .dm ⁻³	3,1 (M)	3,1 (M)
(T)	CTC pH 7	cmol _c .dm ⁻³	4,6 (M)	5,0 (M)
V	Saturação por bases	%	67,5 (b)	61,9 (b)
m	Saturação por Al ³⁺	%	0,0 (MB)	0,0 (MB)
MO	Matéria orgânica	dag.Kg ⁻¹	2,0 (B)	2,4 (M)
P-rem	Fósforo remanescente	mg.L ⁻¹	0,8 (MB)	0,8 (MB)
Zn	Zinco disponível	mg.dm ⁻³	1,8 (b)	1,8 (b)
Fe	Ferro disponível	mg.dm ⁻³	47,1 (A)	51,5 (A)
Mn	Manganês disponível	mg.dm ⁻³	20,0 (A)	26,6 (A)
Cu	Cobre disponível	mg.dm ⁻³	6,0 (A)	6,0 (A)
B	Boro disponível	mg.dm ⁻³	0,1 (MB)	0,2 (B)

Fonte: Laboratório de Fertilidade do Solo – DCS/UFLA.

* A = alto; b = bom; M = médio; B = baixo; MB = muito baixo; AF = acidez fraca (Alvarez V. et al., 1999).

3.2.3 Preparo do solo e canteiros

A calagem foi realizada 30 (trinta) dias antes do transplante das mudas, aplicando-se calcário dolomítico, com base nos resultados da análise química do solo, para fins de correção da acidez e elevação da saturação por bases (V) do solo para 80%. Aplicou-se, no solo representado pela amostra 2, cal hidratada para aumentar a relação entre cálcio e magnésio (Ca:Mg) do solo.

Quanto ao preparo do solo para o plantio, foram realizadas uma aração e uma gradagem para destorroamento do terreno, depois de feita a calagem, visando à incorporação do calcário ao solo. Em seguida, foram preparados os canteiros com altura de 0,10 m de solo, comprimento de 1,20 m e largura de 1,00 m, cada.

3.3 Delineamento experimental e tratamentos

Foi empregado o delineamento em blocos casualizados (DBC) em esquema fatorial 2 x 4, sendo utilizados oito tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos constituíram-se de duas cultivares de alface, Verônica (V) e Hortêncica (H), e quatro lâminas de irrigação, 75%, 100%, 125% e 150% de reposição de água. Os tratamentos foram assim representados: V75%, V100%, V125%, V150%, H75%, H100%, H125% e H150%. Para monitorar o estado de energia da água no solo, foram utilizados oito tensiômetros, instalados a 0,10 m de profundidade, nos canteiros com 100% de reposição de água, para cada cultivar (Figura 3).



FIGURA 3. Tensiômetro instalado no centro de uma parcela experimental. UFLA, Lavras, MG, 2006.

Para obtenção do momento de irrigar foi utilizada a média dos quatro tensiômetros, sendo que o manejo da irrigação foi realizado separadamente para as cultivares em estudo. A tensão de água no solo, igual a 15 kPa (Santos & Pereira, 2004), foi utilizada como referência do momento de irrigar, sendo a lâmina de irrigação de 100% correspondente a esta tensão. Para se conseguir aplicar as lâminas de irrigação de 75, 125 e 150% variou-se o número de gotejadores na linha lateral.

As parcelas experimentais tiveram dimensões de 1,00 m de largura por 1,20 m de comprimento (1,20 m²). Foram utilizadas quatro linhas de plantas, espaçadas de 0,30 m entre si e 0,20 m entre plantas, totalizando 20 plantas por parcela. Foram consideradas úteis as plantas das linhas centrais, sendo descartadas nestas linhas duas plantas no início e duas no final (parcela útil com 6 plantas). Na Figura 4 está representado o esquema da área experimental com o sistema de irrigação implantado.

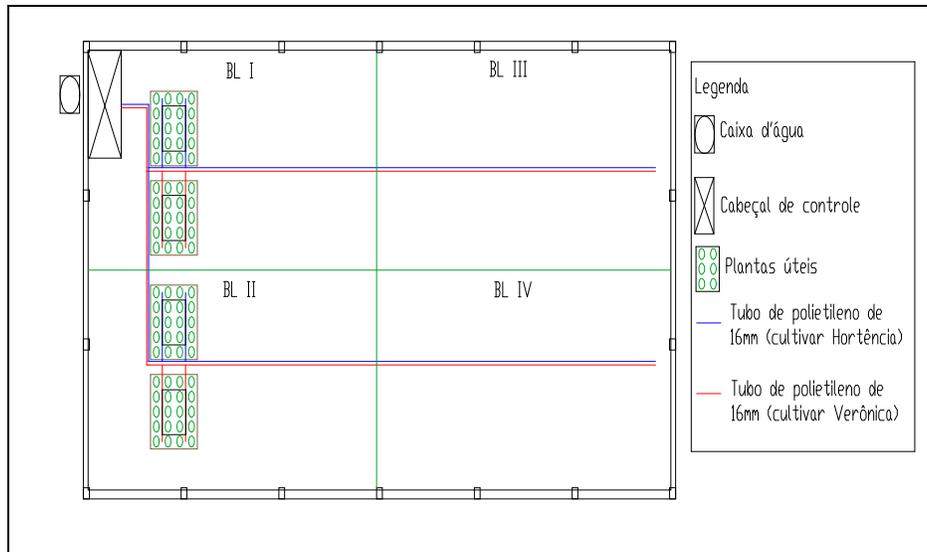


FIGURA 4. Esquema da área experimental, com o sistema de irrigação implantado. UFLA, Lavras, MG, 2006.

3.4 Equipamentos e manejo da irrigação

A irrigação utilizada nos tratamentos foi a localizada, por gotejamento, sendo que as linhas de gotejo foram inseridas entre duas linhas de plantio em cada parcela. A água foi distribuída nos canteiros por meio de tubos de polietileno de diâmetro de 16 mm. Em cada linha dos tratamentos com 100% de reposição de água havia quatro gotejadores, instalados a 0,25 m de distância um do outro. Nos tratamentos com 75, 125 e 150% de reposição de água, havia em cada linha, três, cinco e seis gotejadores respectivamente. Utilizaram-se gotejadores da marca Netafim, modelo P.C.J. (Pressure Compensating Junior), gotejador tipo botão com saída cilíndrica, com vazão de 2 L.h^{-1} , trabalhando com uma pressão de serviço de 200 kPa.

Os efeitos das diferentes lâminas de água, aplicadas ao solo, foram avaliados por meio de características fitotécnicas da cultura da alface. O cálculo do tempo de funcionamento do sistema de irrigação foi feito com base nos sensores de umidade, instalados no centro dos canteiros com 100% de reposição de água, na profundidade de 0,10 m. O momento de irrigar foi estabelecido como sendo aquele em que as médias das tensões registradas nos quatro tensiômetros, de cada cultivar, chegava próxima à tensão de referência (15 kPa). As leituras dos tensiômetros foram fornecidas em “cbar” pelo tensímetro de punção e, em seguida, foram transformadas para “kPa”, sendo aplicadas na Equação 3 para determinação da tensão de água no solo.

$$\psi_m = L - 0,098.h \dots\dots\dots(3)$$

em que:

ψ_m = potencial matricial (kPa);

L = leitura no tensímetro transformada em kPa (sinal positivo);

h = altura desde o ponto de leitura no tensiômetro até o centro da cápsula porosa (cm). Nesse caso, foi de 22,0 cm para a profundidade de 0,10 m.

Com as tensões observadas, calculavam-se as umidades correspondentes, a partir da curva característica (Equação 2). De posse dessas umidades e com aquela correspondente à capacidade de campo e, ainda, considerando a profundidade do sistema radicular (0,20 m), eram calculadas as lâminas de reposição (Equação 4 e 5) e, finalmente, o tempo de funcionamento do sistema de irrigação (Equação 7), de acordo com Cabello (1996). As leituras foram realizadas duas vezes ao dia, todos os dias da semana, sendo a primeira pela manhã (entre 8:00 h e 9:00 h) e a segunda à tarde (entre 16:00 h e 17:00 h).

$$LL = (\theta_{cc} - \theta_{atual}) \cdot Z \dots\dots\dots(4)$$

em que:

LL = lâmina líquida de irrigação (mm);

θ_{cc} = umidade na capacidade de campo ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$);

θ_{atual} = umidade no momento de irrigar ($\text{cm}^3 \cdot \text{cm}^{-3}$);

Z = profundidade do sistema radicular (200 mm para a camada de 0 a 0,20 m);

$$LB = \frac{LL}{(1-k) \cdot CUD} \dots\dots\dots(5)$$

em que:

LB = lâmina bruta de irrigação (mm);

CUD = coeficiente de uniformidade do sistema de irrigação (0,95);

k = constante que leva em conta a eficiência de aplicação do sistema.
Foi determinada de acordo com a Equação 6, descrita a seguir:

$$k = 1 - E_a \dots\dots\dots(6)$$

em que:

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

$$T = \frac{LB.A}{e.qa} \dots\dots\dots(7)$$

em que:

T = tempo de funcionamento do sistema de irrigação em cada tratamento visando elevar a umidade à capacidade de campo (h);

A = área ocupada por planta (0,06 m²);

e = número de emissores por planta (0,4);

qa = vazão média dos emissores (L.h⁻¹).

Foram realizados testes para a determinação da vazão nominal do gotejador e do coeficiente de uniformidade de distribuição de água do sistema de irrigação. Para isso, foi adaptado o procedimento recomendado por Merriam & Keller (1978), citado por Cabello (1996), em que se escolhe uma subunidade e nela se selecionam quatro laterais: a primeira, a situada a 1/3 do início, a situada a 2/3 e a última. Em cada lateral se selecionam quatro emissores: o primeiro, o situado a 1/3, o situado a 2/3 e o último. São coletadas vazões desses emissores e, a partir da Equação 8, são calculados os coeficientes de uniformidade de distribuição.

No caso do sistema de irrigação em questão, os tratamentos eram as subunidades. Cada tratamento possuía duas linhas laterais, entretanto, foi usada apenas uma lateral de cada tratamento e todos os seus gotejadores no teste.

$$CUD = \frac{q_{25}}{q_a} \dots\dots\dots(8)$$

em que:

q_{25} = média das 25% menores vazões coletadas (L.h⁻¹);

q_a = média das vazões coletadas (L.h⁻¹).

Além do coeficiente de uniformidade, foi determinado também o coeficiente de variação total (CVt) de vazão, conforme metodologia apresentada por Bralts & Kesner (1978), descrita por Cabello (1996). O coeficiente de variação total é a relação entre o desvio padrão das vazões e a vazão média e indica como está a uniformidade da vazão na subunidade estudada. Cabello (1996) apresenta uma tabela classificando a uniformidade de acordo com o valor do CVt. Segundo essa tabela, o CVt estando acima de 0,4, a uniformidade é inaceitável, de 0,4 a 0,3 é baixa, de 0,3 a 0,2 é aceitável, de 0,2 a 0,1 é muito boa e de 0,1 a 0 é excelente.

3.5 Cultivares empregadas e produção das mudas

No cultivo em ambiente protegido, o investimento inicial e o custo de produção são altos, portanto, devem-se usar cultivares de alto potencial produtivo e qualitativo. Desta forma, foram escolhidas as cultivares Verônica e Hortência, cujas folhas são crespas, soltas, consistentes, não formando cabeça repolhuda e sim, uma roseta.

As mudas foram produzidas no interior de uma casa de vegetação apropriada, no Setor de Olericultura do Departamento de Agricultura da UFLA. A semeadura foi feita em bandejas de isopor com 128 células, preenchidas com substrato comercial próprio para a produção de mudas de alface.

3.6 Instalação e condução do experimento

O transplante das mudas foi realizado 26 (vinte e seis) dias após a semeadura.

A aplicação dos tratamentos de lâminas de reposição de água iniciou-se a partir de 10 (dez) dias após o transplante das mudas, período este necessário para o pegamento e a climatização das mudas, dentro da casa de vegetação. Desde o transplante (11/10/2005) até o início da diferenciação dos tratamentos (21/10/2005), o fornecimento de água ao solo se deu por meio de um regador manual, uma vez que as raízes se encontravam pouco desenvolvidas. Aplicou-se durante este período uma lâmina de irrigação diária de 2,67 mm.

3.7 Práticas culturais

3.7.1 Adubação

As adubações de plantio e cobertura foram realizadas manualmente com base nas análises de solo (Tabela 2) 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 3.

TABELA 3. Cronograma de aplicação de nutrientes: épocas de aplicação, fertilizantes utilizados e dosagens aplicadas. UFLA, Lavras, MG, 2006.

Dias antes do transplante	Dias após o transplante	Fertilizantes (fontes de nutrientes)	Dosagem aplicada (g.m⁻²)
22	-	Sulfato de amônio	30
22	-	Super fosfato simples	200
22	-	Cloreto de potássio	60
19	-	Composto orgânico	6000
19	-	Bokashi	200
-	14	Sulfato de amônio	30
-	14	Cloreto de potássio	30
-	29	Sulfato de amônio	30
-	29	Cloreto de potássio	30

3.7.2 Controle de plantas daninhas

Antes da sistematização do solo da casa de vegetação para o preparo das parcelas, houve crescimento de plantas daninhas, as quais foram eliminadas por meio de capina manual.

Durante a condução do experimento, as plantas daninhas, que eventualmente ocorriam, também foram eliminadas através de capinas manuais.

3.7.3 Controle fitossanitário

Por meio de avaliações visuais, inspeções periódicas 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. Foram realizadas 2 (duas) pulverizações ao longo do experimento, utilizando-se o Dithane M45 como defensivo agrícola, com uma dosagem de 250 g.100 L⁻¹ de água aos 15 e 30 dias após o transplantes das mudas.

3.8 Variáveis meteorológicas

Durante a condução do experimento foram registrados parâmetros meteorológicos, sendo estes coletados através de uma estação meteorológica portátil, que registrou diariamente a temperatura e a umidade relativa do ar.

3.9 Características avaliadas

A colheita foi realizada quando as plantas completaram o seu máximo desenvolvimento vegetativo. Isto foi feito nos dias 17 e 18 de novembro de 2005, sendo colhidos 2 (dois) blocos por dia e procedendo-se imediatamente às avaliações, exceto a produção de matéria seca de folhas, que foi feita nos dias 23 e 27 de novembro de 2005. Para se obter a massa das características avaliadas, utilizou-se uma balança digital com precisão de 5 g, sendo os resultados representados pela média das 6 (seis) plantas da parcela útil.

3.9.1 Massa fresca total

Logo após a colheita, as plantas foram levadas ao laboratório e a parte aérea total foi pesada, sendo os resultados expressos em gramas.

3.9.2 Massa fresca comercial

Após a retirada das folhas externas, tem-se a parte comercial que é utilizada para o consumo. São consideradas folhas externas aquelas com coloração amarelada e que apresentam sintomas de queimadura em suas bordas. A cabeça apresenta-se como uma roseta de folhas, que são crespas, soltas e consistentes. Esta parte foi pesada e os resultados foram expressos em gramas.

3.9.3 Número e massa fresca de folhas da cabeça comercial

Retiraram-se as folhas, que foram, em seguida, contadas e pesadas, sendo os resultados expressos em gramas.

3.9.4 Comprimento do caule

Após a retirada de todas as folhas, mediu-se com uma régua o comprimento do caule das plantas, sendo os resultados expressos em centímetros, representados pela média das 6 (seis) plantas da parcela útil.

3.9.5 Teor de matéria seca de folhas da cabeça comercial

Para a obtenção da massa seca de folhas, estas foram pré-secadas e, em seguida, colocadas em sacos de papel, em estufa de circulação forçada à temperatura de 65°C, até atingirem peso constante. Com a Equação 9, descrita por Alvarenga (1999), determinou-se o teor de matéria seca.

$$\text{TMSF} = \left(\frac{\text{MSFCC}}{\text{MFFCC}} \right) 100 \dots\dots\dots(9)$$

em que:

TMSF = teor de matéria seca de folhas (%);

MSFCC = massa seca de folhas da cabeça comercial (g.planta⁻¹);

MFFCC = massa fresca de folhas da cabeça comercial (g.planta⁻¹).

3.9.6 Produtividade total e comercial

Com base nas dimensões das parcelas e considerando o espaço entre as plantas, estimou-se a população de plantas por hectare. O valor encontrado foi de 95.625 plantas. A partir das médias de massa fresca, tanto da parte total quanto da comercial, obtidas de seis plantas em cada parcela, estimaram-se as produtividades total e comercial, respectivamente. Os resultados foram expressos em Kg.ha^{-1} .

3.9.7 Eficiência no uso da água (EUA)

Foi determinada através da relação entre os valores de produtividade total (Kg.ha^{-1}) e as respectivas quantidades de água consumidas (mm) em cada tratamento durante o cultivo, sendo os resultados expressos em $\text{Kg.ha}^{-1}.\text{mm}^{-1}$.

3.10 Análises estatísticas

Os dados amostrados foram submetidos à análise de variância com a realização do teste F e análise de regressão a 5% e 1% de probabilidade (Gomes, 2000).

As análises foram efetuadas utilizando-se o programa computacional Sisvar para Windows, versão 4.0 para análises estatísticas (Ferreira, 2000).

3.11 Função de produção e análise econômica

Para obtenção da função de produção, utilizou-se a análise de regressão entre a variável dependente (produção comercial) e a variável independente (lâminas de água).

O modelo utilizado foi um polinômio de segundo grau, conforme Equação 10:

$$Y = f(W) = a + b.W + c.W^2 \dots\dots\dots(10)$$

em que:

- Y = produção comercial, 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 obtenção da máxima produtividade física foi dada pela Equação 11.

$$W(\text{máx}) = \frac{b}{2.c} \dots\dots\dots(11)$$

Sob considerações econômicas da irrigação para um determinado sistema de produção, Peri et al. (1979), citados por Frizzone (1987), introduziram o conceito de lâmina ótima econômica, segundo o qual a lâmina a ser aplicada deveria ser determinada em função da máxima receita líquida, obtida com uma dada irrigação.

A receita líquida ou lucro foi expresso pela Equação 12:

$$L(W) = P_y.Y - P_w.W - C \dots\dots\dots(12)$$

em que:

- L(W) = lucro, R\$;
- P_y = preço do produto, R\$.Kg⁻¹;

Y = produção comercial, Kg.ha⁻¹;
Pw = preço do fator água, R\$.mm⁻¹;
W = lâmina total de água aplicada, mm;
C = custo dos fatores considerados fixos no experimento.

O preço do produto (Py) correspondeu ao preço médio obtido pelo produtor rural, no Estado de Minas Gerais, no mês de janeiro de 2006, o qual foi de R\$ 1,00.Kg⁻¹ (Ceasaminas, 2006).

O preço da água, Pw, representa o custo do volume unitário de água, acrescido do custo da energia utilizada no bombeamento, da depreciação do sistema de irrigação e dos custos de operação e manutenção do sistema. Para a obtenção do custo de cada componente do fator água, foram fixados alguns parâmetros, tais como:

- } produtor: possui dedicação exclusiva à horticultura;
- } método de irrigação: localizada por gotejamento com acionamento automático;
- } capacidade de área: 10.000 m² (1 ha);
- } número de plantas: 95.625;
- } fonte de água: encontra-se próxima da área de cultivo, não havendo necessidade de recalque de manancial distante;
- } altura manométrica total: 40 m.c.a;
- } vazão da motobomba: 6 m³.h⁻¹;
- } eficiência do sistema: 50%;
- } potência instalada (acréscimo): 30%;
- } vida útil: 10 anos;
- } utilização: 8 ciclos de cultura por ano.

Considerando esses parâmetros, o custo do sistema de irrigação foi de R\$ 5.640,00, incluídas todas as obras necessárias para o funcionamento

R\$ 0,29.kWh⁻¹. O custo total da energia elétrica para o bombeamento (Eb) foi de R\$ 125,22.

É importante ressaltar que não se considerou qualquer custo para o volume unitário de água, caracterizando-se, dessa forma, a captação de fontes consideradas públicas ou de propriedade do produtor rural.

Para efeito de análise, não se considerou a influência dos fatores mantidos constantes no experimento (custeio agrícola e amortização do equipamento de irrigação). Logo, foi considerada apenas a influência do custo operacional efetivo (CO_pE), ou seja, o custo de manutenção do sistema de irrigação e o custo da energia consumida no bombeamento de cada tratamento. Assim, utilizou-se o conceito de margem bruta (MB) conforme Equação 13.

$$MB = P_y.Y - CO_{pE} \dots\dots\dots(13)$$

Desta forma, o custo operacional efetivo chegou a:

$$CO_{pE} = MOS + Eb$$

$$CO_{pE} = R\$ 14,10 + R\$ 125,22$$

$$CO_{pE} = R\$ 139,32.ha^{-1}.ciclo\ da\ cultura^{-1}$$

O custo de R\$ 0,70.mm⁻¹ de água aplicada foi calculado, dividindo-se o custo variável para os 10.000 m² (1 ha) pela lâmina total aplicada ao tratamento, considerando-se 100% de reposição da água, que serviu como referencial para o reinício das irrigações.

Sob a hipótese de que L(W) tem um máximo e que a água é o único fator variável, tem-se a Equação 14:

$$\frac{\partial L(W)}{\partial W} = \frac{\partial Y}{\partial W} \cdot P_y - P_w = 0 \dots\dots\dots(14)$$

em que:

$$\frac{\partial Y}{\partial W} \cdot P_y = \text{valor da produtividade marginal do fator \u00e1gua};$$

$$\frac{\partial Y}{\partial W} = \text{produtividade f\u00edsica marginal do fator \u00e1gua}.$$

A produtividade f\u00edsica marginal (PFMa) do fator vari\u00e1vel \u00e9 o aumento do produto f\u00edsico total (PFT), decorrente do emprego de uma unidade adicional do fator vari\u00e1vel, sendo expressa pela primeira derivada da fun\u00e7\u00e3o de reposta Y.

Reorganizando-se a Equa\u00e7\u00e3o 14, tem-se a Equa\u00e7\u00e3o 15:

$$\frac{\partial Y}{\partial W} = \frac{P_w}{P_y} \dots\dots\dots(15)$$

A Equa\u00e7\u00e3o 15 mostra o lucro que se maximiza, considerando apenas a \u00e1gua como fator vari\u00e1vel, se a derivada primeira do rendimento em rela\u00e7\u00e3o \u00e0 lâmina total (produto f\u00edsico marginal da \u00e1gua) for igual \u00e0 rela\u00e7\u00e3o de pre\u00e7os entre o fator e o produto.

Desta forma, da Equa\u00e7\u00e3o 10 obt\u00eam-se a Equa\u00e7\u00e3o 16:

$$\frac{\partial Y}{\partial W} = b + 2.c.W = \frac{P_w}{P_y} \dots\dots\dots(16)$$

Da Equa\u00e7\u00e3o 16, obt\u00eam-se a lâmina \u00f3tima econ\u00f4mica de \u00e1gua (W*) para as condi\u00e7\u00f5es espec\u00edficas.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização das condições climáticas na casa de vegetação

As temperaturas máximas, mínimas e médias ($\{máximas + mínimas\}/2$) no interior da casa de vegetação durante a condução do experimento estão apresentadas na Figura 5.

No período de condução do experimento, a temperatura média do ar no interior da casa de vegetação foi de 25°C, as mínimas atingidas ficaram entre 13°C e 21°C e as máximas entre 19°C e 37°C.

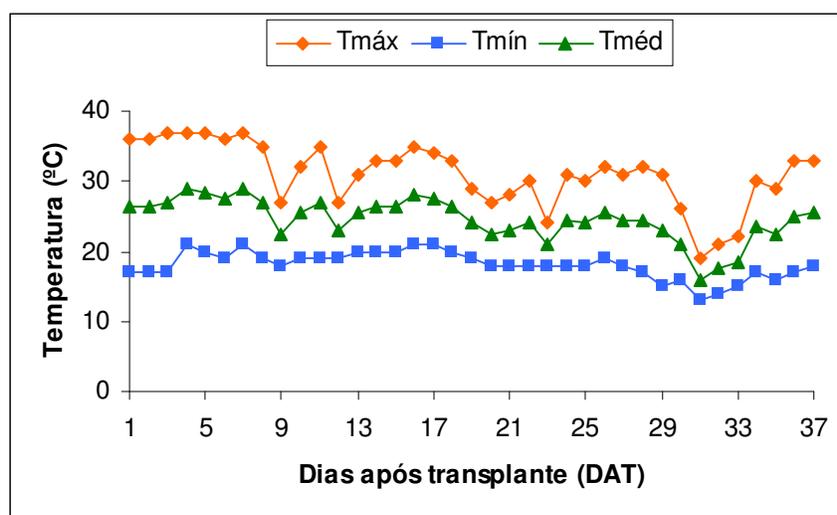


FIGURA 5. Temperaturas máximas (Tmáx), mínimas (Tmín) e médias (Tméd) no interior da casa de vegetação, ocorridas no período do experimento. UFLA, Lavras, MG, 2006.

Na Figura 6 são apresentados os valores máximos, mínimos e médios ($\{\text{máximos} + \text{mínimos}\}/2$) da umidade relativa do ar no interior da casa de vegetação durante o experimento.

Nota-se nesse experimento, que a umidade relativa máxima do ar oscilou entre 60% e 100% e a mínima entre 20% e 87%, tendo como valor médio 66,5%.

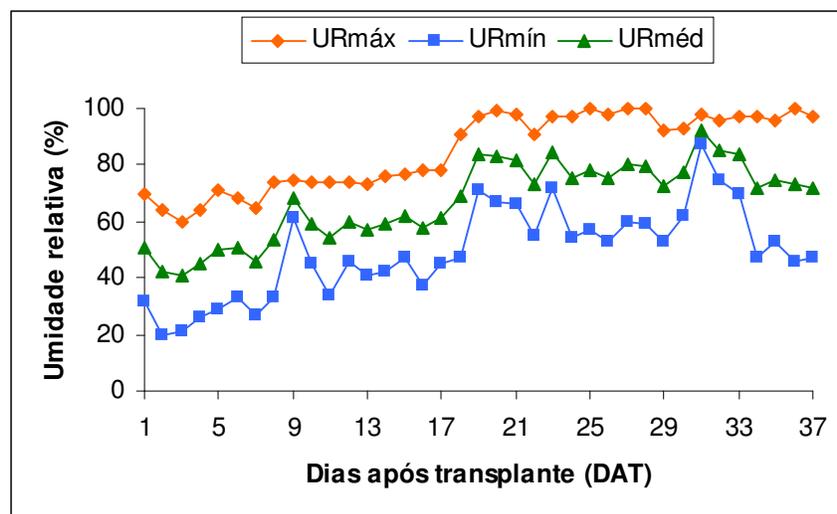


FIGURA 6. Umidades relativas máximas (URmáx), mínimas (URmín) e médias (URméd) no interior da casa de vegetação, ocorridas no período do experimento. UFLA, Lavras, MG, 2006.

Segundo Sganzerla (1995), a umidade relativa do ar ótima varia de 60 a 80% e as temperaturas críticas de interferência no desenvolvimento da cultura da alface são abaixo de 10-12°C e acima de 30°C, necessitando de variações de amplitude térmica entre dia e noite, para formação de cabeça. Observa-se, então, que os valores médios de temperatura e umidade relativa do ar, encontrados nesse estudo, estão próximos dos relatados pelo autor citado acima, para a obtenção de uma boa produção da cultura.

4.2 Avaliação do sistema de irrigação

Como os emissores possuíam uma faixa de compensação de vazão compreendida entre as pressões de 50 e 350 kPa, procurou-se manter a pressão de funcionamento do sistema em torno de 200 kPa, por meio de uma válvula reguladora de pressão, instalada no cabeçal de controle.

Foi realizado um teste de uniformidade de vazão nos tratamentos de 100% de reposição de água. A pressão de funcionamento média, medida no final das laterais logo após o último emissor, foi de 180 kPa. A vazão média encontrada foi de 1,99 L.h⁻¹ estando, portanto, muito próxima do valor indicado pelo fabricante.

Calculou-se também o coeficiente de variação total de vazão (CVt). O valor encontrado para o mesmo foi de 0,07, indicando uma excelente uniformidade de vazão nos tratamentos, de acordo com Cabello (1996). O CVt é um dos parâmetros usados para diagnosticar problemas de uniformidade em campo. O coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) encontrado foi de 95%.

4.3 Lâminas de irrigação acumuladas

Os valores acumulados das lâminas de irrigação aplicadas nos tratamentos são mostrados na Figura 7.

Observou-se uma pequena diferenciação entre as lâminas de irrigação, a partir do início da aplicação dos tratamentos. Essa diferença foi se acentuando com o decorrer da aplicação do experimento, atingindo valores na colheita (37 dias após o transplante) de 127,5, 129,0, 170,0, 172,0, 212,5, 215,0, 255,0 e 258,0 mm nos tratamentos H75%, V75%, H100%, V100%, H125%, V125%, H150% e V150%, respectivamente. Verifica-se que as cultivares de alface,

Verônica e Hortência, apresentaram a mesma tendência com relação ao consumo de água durante o ciclo de produção.

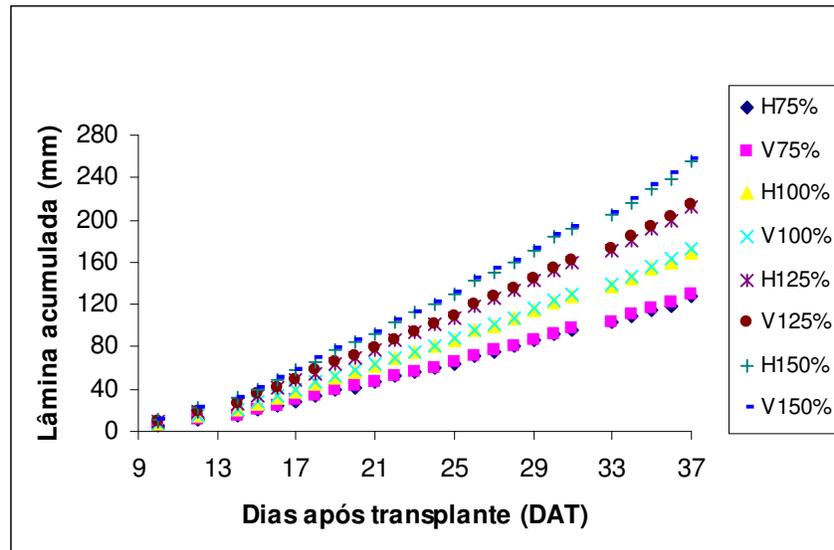


FIGURA 7. Lâminas de irrigação acumuladas aplicadas nos tratamentos. UFLA, Lavras, MG, 2006.

Salienta-se que nessas lâminas de irrigação por tratamento não estão computados os 26,7 mm, que foram aplicados durante a fase de estabelecimento da cultura.

4.4 Avaliação da massa fresca total e comercial

De acordo com a análise de variância (Tabela 4), verifica-se efeito significativo a 1% de probabilidade, tanto para a massa fresca total como para a massa fresca comercial, com relação às lâminas de irrigação aplicadas. Tanto as cultivares, como a interação entre cultivares e lâminas de irrigação, não apresentaram diferenças significativas, para estas características estudadas.

TABELA 4. Resumo das análises de variância e de regressão para massa fresca total (MFT) e comercial (MFC) de duas cultivares de alface sob diferentes lâminas de irrigação. UFLA, Lavras, MG, 2006.

Fontes de variação	G. L.	Q.M.	
		MFT (g.planta ⁻¹)	MFC (g.planta ⁻¹)
Bloco	3	9734,54 ^{ns}	7247,96 ^{ns}
Cultivar	1	1406,62 ^{ns}	398,40 ^{ns}
Lâmina	3	19692,21 ^{**}	17416,33 ^{**}
Interação	3	3345,58 ^{ns}	2939,45 ^{ns}
Resíduo	21	3247,40	2601,50
Média Geral	-	340,66	306,98
C.V. (%)	-	16,73	16,62
Linear	1	40965,02 ^{**}	32430,36 ^{**}
Quadrática	1	17012,75 [*]	18716,77 [*]
Desvios	1	1098,86 ^{ns}	1101,87 ^{ns}
Resíduo	21	3247,40	2601,50

Em que: ^{ns} – não significativo pelo teste F, ^{*} e ^{**} – significativos a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

O efeito de blocos não foi significativo, não se mostrando necessário o controle local por meio do DBC. O delineamento, neste caso, poderia ser o inteiramente casualizado.

Os valores percentuais, inicial e corrigido, de reposição de água ao solo e as lâminas totais de irrigação correspondentes, aplicadas durante a experimentação, encontram-se na Tabela 5.

TABELA 5. Percentuais de reposição de água, inicial e corrigido, e lâminas totais de irrigação correspondentes, aplicadas durante a experimentação. UFLA, Lavras, MG, 2006.

Percentual inicial de reposição de água (%)	Percentual corrigido de reposição de água (%)	Lâmina de irrigação correspondente (mm)
75	78,3	155
100	100,0	198
125	121,2	240
150	142,9	283

Observa-se que a massa fresca, tanto total quanto comercial (Figura 8), foi bastante influenciada pelas lâminas de água repostas ao solo. Os resultados de massa fresca total e comercial mostraram respostas quadráticas com nível de significância de 5%, indicando haver um acréscimo na massa fresca total e comercial, à medida que se aumentaram as lâminas de irrigação aplicadas até os valores de 249,1 mm e 244,9 mm que corresponderam a 125,8% e 123,7% de reposição de água, respectivamente.

É importante ressaltar que, as maiores produtividades foram obtidas aplicando-se lâminas de irrigação superiores a 100% de reposição de água, possivelmente isto ocorreu devido à eficiência global do sistema, ou seja, não houve eficiência de 100% de absorção de água (há perdas por percolação, redistribuição de água no solo, áreas com déficit hídrico).

Os valores médios encontrados foram de 340,66 g.planta⁻¹ e 306,98 g.planta⁻¹ para a massa fresca total e comercial, respectivamente.

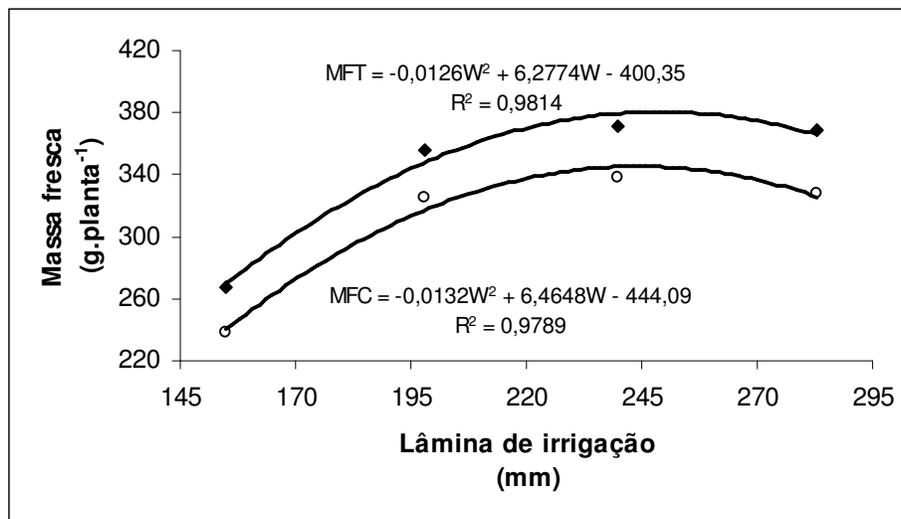


FIGURA 8. Massa fresca total (MFT) e massa fresca comercial (MFC), influenciadas pelas diferentes lâminas de irrigação aplicadas. UFLA, Lavras, MG, 2006.

Hamada (1993), estudando a aplicação de diferentes lâminas de água (60, 80, 100, e 120 % da evaporação diária, obtida pelo tanque Classe A) na cultura da alface tipo lisa, pelo método de gotejo, obteve o maior valor de matéria fresca total de $224 \text{ g.planta}^{-1}$ com o tratamento de 120% da evaporação, perfazendo um total aplicado de 226 mm de água.

De forma semelhante, Andrade Júnior et al. (1992), analisando os efeitos de quatro níveis de irrigação, baseados na evaporação do Tanque Classe A (ECA) (0,5; 0,75; 1,0 e 1,25), aplicados por microaspersão em alface, constataram que a matéria fresca da "cabeça" apresentou resposta quadrática, tendo alcançado o valor máximo de 184 g, com o nível de irrigação correspondente a 75% da ECA.

Esse comportamento é semelhante também ao observado por Andrade Júnior & Klar (1997) que, estudando os efeitos de quatro níveis de irrigação, baseados na evaporação do Tanque Classe A (ECA) (0,25, 0,50, 0,75 e 1,00), utilizando irrigação por gotejamento na cultura da alface tipo americana, encontraram ajuste quadrático para matéria fresca por planta, obtendo o valor máximo de 818,7 g, com o nível de irrigação correspondente a 75% da ECA.

Observou-se uma redução na MFT e na MFC com a aplicação da lâmina de 283 mm (142,9% de reposição de água). Esse fato deve ter ocorrido em função dos elevados teores de água no solo terem reduzido o arejamento adequado na região de maior concentração das raízes (Klar, 1991), provocando alterações fisiológicas, que levaram à redução da produção da alface, bem como devido à lixiviação de nutrientes, comprovando que o excesso de água no solo é prejudicial à cultura (Knott & Tavernetti, 1944).

4.5 Comprimento do caule, número e massa fresca de folhas da cabeça comercial

A análise de variância (Tabela 6) indica que não houve diferença significativa entre as cultivares e nem na interação cultivares x lâminas de irrigação quanto às características de comprimento do caule, número e massa fresca de folhas da cabeça comercial. No entanto, as lâminas de irrigação influenciaram estas características, acusando diferenças significativas a 5% no comprimento do caule e número de folhas da cabeça comercial e a 1% na massa fresca de folhas da cabeça comercial.

TABELA 6. Resumo das análises de variância e de regressão quanto ao comprimento do caule (CC), número de folhas da cabeça comercial (NFCC) e massa fresca de folhas da cabeça comercial (MFFCC) de duas cultivares de alface sob diferentes lâminas de irrigação. UFLA, Lavras, MG, 2006.

Fontes de variação	G. L.	Q.M.		
		CC (cm)	NFCC (unid.)	MFFCC (g.planta ⁻¹)
Bloco	3	11,24 ^{ns}	2,13 ^{ns}	5096,78 ^{ns}
Cultivar	1	7,80 ^{ns}	0,00 ^{ns}	684,50 ^{ns}
Lâmina	3	21,04 [*]	15,46 [*]	11626,36 ^{**}
Interação	3	3,88 ^{ns}	2,17 ^{ns}	2101,64 ^{ns}
Resíduo	21	4,98	3,70	1700,31
Média Geral	-	10,08	22,19	268,18
C.V. (%)	-	22,13	8,67	15,38
Linear	1	46,68 ^{**}	21,11 [*]	21277,94 ^{**}
Quadrática	1	16,25 ^{ns}	21,13 [*]	12350,42 [*]
Desvios	1	0,18 ^{ns}	4,14 ^{ns}	1250,72 ^{ns}
Resíduo	21	4,98	3,70	1700,31

Em que: ^{ns} – não significativo pelo teste F, ^{*} e ^{**} – significativos a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

As variações ocorridas no comprimento do caule podem ser explicadas por uma regressão linear com nível de significância de 1%. O valor médio encontrado no comprimento do caule foi de 10,08 cm.

De acordo com a equação apresentada na Figura 9, o aumento da lâmina de irrigação, aplicada no solo em uma unidade (mm), implicará em um aumento de 0,0254 cm no comprimento do caule das plantas de alface, considerando o intervalo estudado (155 a 283 mm de reposição de água no solo). Isso quer dizer que, dentro deste intervalo, quanto mais água se aplica ao solo, maior é o comprimento do caule das plantas de alface. Observa-se que 74,12% das variações ocorridas no comprimento do caule em função das lâminas de água aplicadas são explicadas pela regressão linear. Desta forma, percebe-se que a umidade no solo favoreceu de forma direta o crescimento do caule dessa cultura.

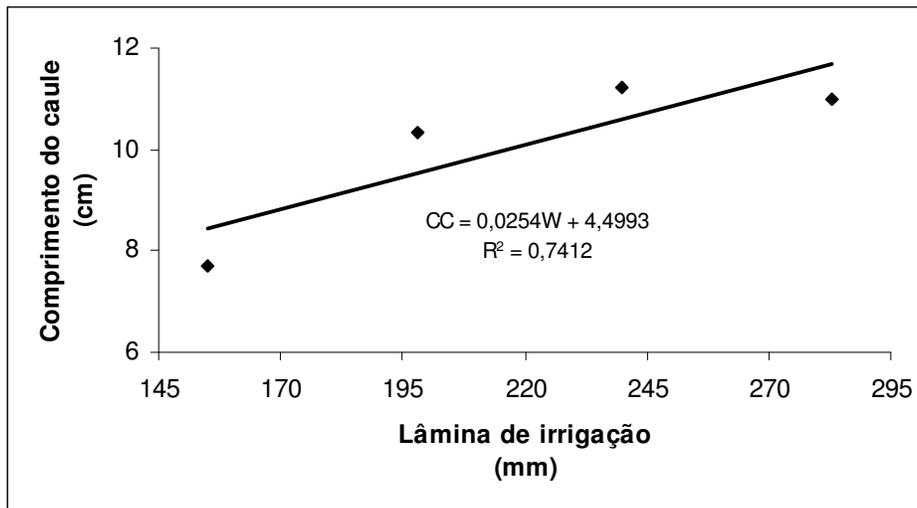


FIGURA 9. Comprimento médio do caule (CC) em função das lâminas de água aplicadas. UFLA, Lavras, MG, 2006.

Santos (2002), em experimentação com irrigação de pepino conduzido em ambiente protegido, concluiu que o crescimento da haste das plantas de

pepino foi afetado pelo incremento da tensão matricial a que foi submetido, apresentando maiores valores para a tensão matricial de 10 kPa.

Resultado semelhante foi encontrado por Santos & Pereira (2004) que, estudando o comportamento da alface americana sob diferentes tensões de água no solo (15, 30, 45, 60, 75 e 90 kPa), sob ambiente protegido, observaram um comportamento linear da altura de plantas em função das tensões de água no solo, indicando que, quanto mais próxima a tensão correspondente à capacidade de campo do solo, maior altura atingiram as plantas de alface.

Já o número e a massa fresca de folhas apresentaram uma resposta quadrática em relação às lâminas de irrigação. Houve um acréscimo no número e na massa fresca de folhas, à medida que se aumentaram as quantidades de água aplicadas, até as lâminas de 235,3 mm (118,8%) e 243,1 mm (122,8%) (Figura 10 e 11), respectivamente, quando as plantas atingiram 23,06 folhas e 296,43 g.planta⁻¹ de massa fresca.

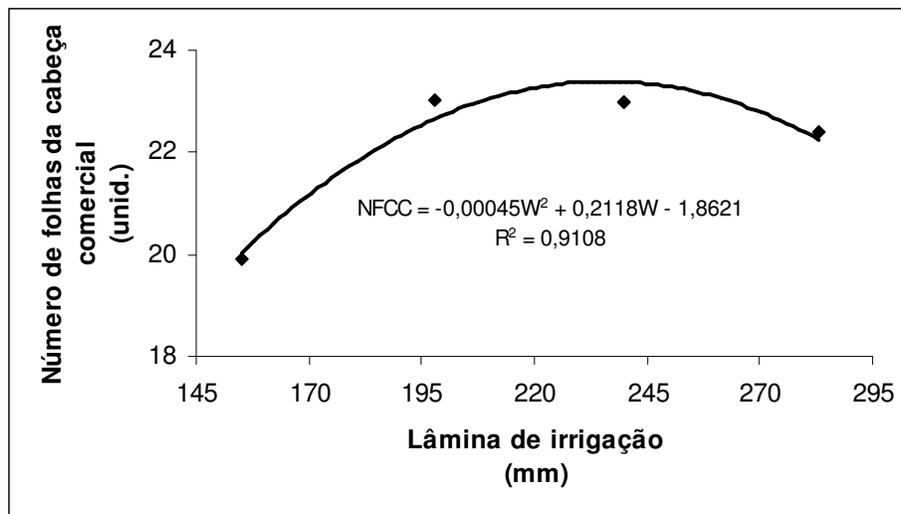


FIGURA 10. Número de folhas da cabeça comercial (NFCC) em função das lâminas de irrigação. UFLA, Lavras, MG, 2006.

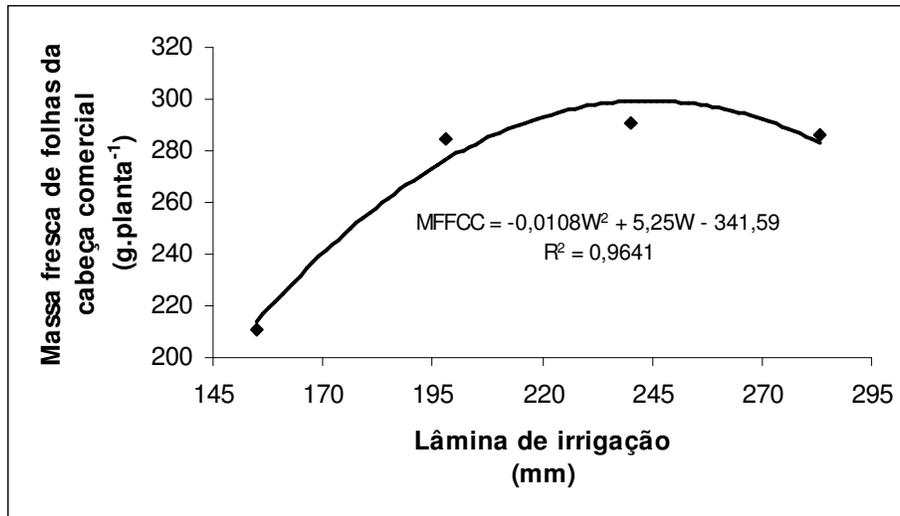


FIGURA 11. Massa fresca de folhas da cabeça comercial (MFFCC) em função das lâminas de irrigação. UFLA, Lavras, MG, 2006.

Santos & Pereira (2004), estudando o efeito de diferentes tensões de água no solo sobre o cultivo da alface americana, cv. *Raider*, em ambiente protegido, encontraram o máximo de 22,25 folhas internas por planta para a tensão de 15 kPa com uma lâmina de água aplicada de 152,7 mm.

Andriolo et al. (2003), em estudo sobre crescimento e desenvolvimento de plantas de alface de folhas crespas, cv. *Vera*, proveniente de mudas com diferentes idades fisiológicas e cultivadas a céu aberto, obtiveram o maior valor de 21,20 folhas.planta⁻¹. Echer et al. (2000) verificaram, em experimento com cinco cultivares de alface do tipo crespa, o valor médio de 22,52 folhas por planta, cultivando no espaçamento de 0,20 x 0,20 m. O valor médio verificado nesse estudo foi de 22,19 folhas por planta, sendo bastante semelhante aos encontrados nos trabalhos citados, que variaram de 21,20 a 22,52 folhas por planta. Deve-se levar em conta ainda que os experimentos foram realizados em condições diferentes, utilizando-se cultivares também diferentes.

Para a massa fresca de folhas da cabeça comercial, o valor médio encontrado no experimento foi de 268,18 g.planta⁻¹. Santos et al. (1998), estudando o comportamento de dez cultivares de alface, adubadas com composto orgânico de lixo urbano na cidade de Viçosa, Minas Gerais, para a cultivar *Grand Rapids*, obtiveram 202,40 g.planta⁻¹. É importante salientar que os experimentos foram conduzidos em locais, condições ambientais e objetivos diferentes.

4.6 Teor de matéria seca de folhas da cabeça comercial

De acordo com a análise de variância (Tabela 7), verifica-se diferença significativa a 5% de probabilidade, para o teor de matéria seca de folhas, com relação às lâminas de irrigação aplicadas. Entre as cultivares e entre a interação cultivares x lâminas de irrigação, não foram detectadas diferenças significativas.

TABELA 7. Resumo das análises de variância e de regressão para teor de matéria seca de folhas (TMSF) de duas cultivares de alface sob diferentes lâminas de irrigação. UFLA, Lavras, MG, 2006.

Fontes de variação	G. L.	Q.M.
		TMSF (%)
Bloco	3	1,40 [*]
Cultivar	1	1,24 ^{ns}
Lâmina	3	1,45 [*]
Interação	3	0,23 ^{ns}
Resíduo	21	0,35
Média Geral	-	3,59
C.V. (%)	-	16,47
Linear	1	3,17 ^{**}
Quadrática	1	1,14 ^{ns}
Desvios	1	0,03 ^{ns}
Resíduo	21	0,35

Em que: ^{ns} – não significativo pelo teste F, ^{*} e ^{**} – significativos a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

O teor de matéria seca de folhas foi afetado de maneira significativa, a 5% de probabilidade, pelo efeito de blocos, mostrando a importância do uso deste delineamento no controle local para esta característica.

A regressão para esta característica (Figura 12) mostra que o teor de matéria seca de folhas diminui de forma linear com o aumento da lâmina de irrigação. O aumento de uma unidade na lâmina de irrigação reduz em 0,0066% o teor de matéria seca. Observa-se que 72,84% das variações ocorridas no teor de matéria seca, em função das lâminas de água aplicadas, são explicadas pela regressão linear.

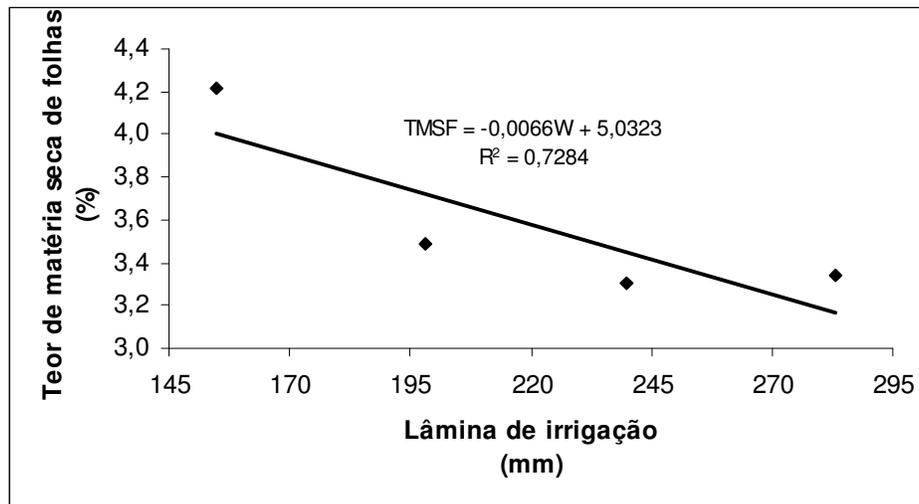


FIGURA 12. Teor de matéria seca de folhas (TMSF), influenciado pelas diferentes lâminas de irrigação. UFLA, Lavras, MG, 2006.

Andrade Júnior (1994) obteve resultados semelhantes para teor de matéria seca total. Houve decréscimo no teor de matéria seca da parte aérea (5,6 a 4,7%), com o aumento das lâminas aplicadas com base nas frações da evaporação no tanque Classe A (0,25 a 1,00). Segundo esse autor, as plantas, tendo maior disponibilidade de água, acumulam mais matéria fresca e reduzem a

porcentagem de matéria seca, ou seja, aumentam o teor de água nos seus tecidos, “diluído” a matéria seca.

Santos & Pereira (2004), observando o comportamento da matéria fresca da parte comercial e o teor de matéria seca comercial, notaram que mais matéria fresca foi obtida a tensões próximas à da capacidade de campo, por haver mais água disponível, decrescendo linearmente com o aumento da tensão.

O teor de matéria seca fornece uma estimativa das quantidades de matéria sólida e de água, incluídas na produção. Se uma planta ou parte dela tiver menor teor de matéria seca, essa planta ou parte apresentará mais água em sua constituição, o que pode ser considerado desejável, no caso da alface, porque a deixa mais tenra e com melhor sabor, apesar da sua durabilidade pós-colheita ser menor (Alvarenga, 1999).

4.7 Produtividade total e comercial

As produtividades total e comercial foram significativamente afetadas apenas pelo efeito das lâminas de água aplicadas no solo, a 1% de probabilidade, pelo teste F (Tabela 8). Não houve efeito sobre as cultivares e nem sobre a interação cultivares versus lâminas de irrigação.

No caso das produtividades total e comercial, as variações ocorridas podem ser explicadas pela regressão quadrática (Figura 13), a 5 % de probabilidade. O ponto máximo para a produtividade total ocorreu com uma lâmina de irrigação de 249,1 mm, resultando em uma produtividade para esta característica de 36.484 Kg.ha⁻¹. Já para a produtividade comercial, o ponto máximo foi atingido com a aplicação da lâmina de irrigação de 244,9 mm, resultando em uma produtividade para este parâmetro de 33.225 Kg.ha⁻¹.

TABELA 8. Resumo das análises de variância e de regressão para produtividade total (PT) e produtividade comercial (PC) de duas cultivares de alface sob diferentes lâminas de irrigação. UFLA, Lavras, MG, 2006.

Fontes de variação	G. L.	Q.M.	
		PT (Kg.ha ⁻¹)	PC (Kg.ha ⁻¹)
Bloco	3	89014003,75 ^{ns}	66277127,55 ^{ns}
Cultivar	1	12863149,93 ^{ns}	3643400,43 ^{ns}
Lâmina	3	180068245,29 ^{**}	159259316,70 ^{**}
Interação	3	30592833,62 ^{ns}	26878444,92 ^{ns}
Resíduo	21	29694773,31	23788035,44
Média Geral	-	32575,25	29354,64
C.V. (%)	-	16,73	16,62
Linear	1	374591940,36 ^{**}	296549778,49 ^{**}
Quadrática	1	155564073,69 [*]	171151872,31 [*]
Desvios	1	10048721,82 ^{ns}	10076299,32 ^{ns}
Resíduo	21	29694773,31	23788035,44

Em que: ^{ns} - não significativo pelo teste F, ^{*} e ^{**} - significativos a 5 e 1% de probabilidade pelo teste F, respectivamente.

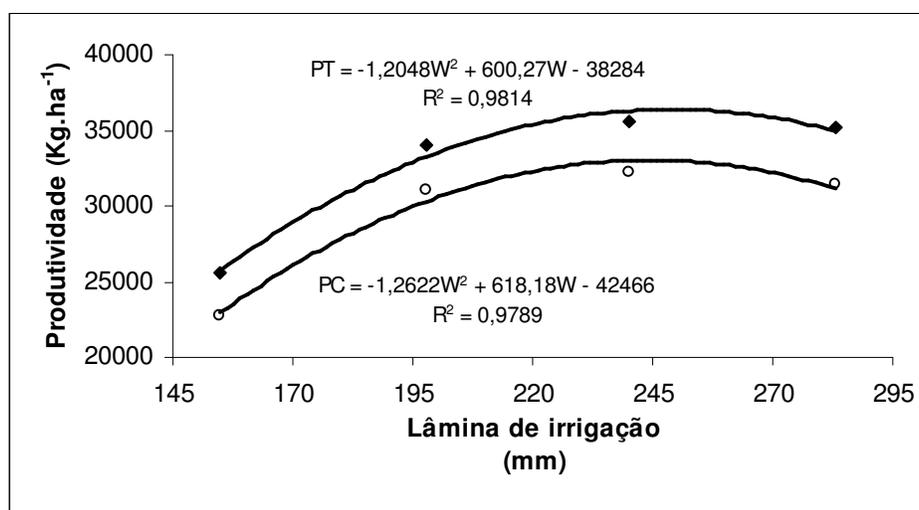


FIGURA 13. Produtividade total (PT) e comercial (PC) de plantas de alface em função das diferentes lâminas de aplicação de água. UFLA, Lavras, MG, 2006.

Os resultados de produtividades, obtidos nesse experimento, estão acima do observado por Echer et al. (2000) que, estudando o efeito do espaçamento de cinco cultivares de alface do tipo crespa (Brisa, Grande Rápida, Marisa, Vera e Verônica AF 257), obtiveram uma produtividade média de 26.950 Kg.ha⁻¹, utilizando o espaçamento de 0,25 x 0,25 m.

É importante ressaltar que o comportamento da produtividade total e comercial foi idêntico ao apresentado pela massa fresca total e comercial, apresentando comportamento quadrático em relação aos níveis de água aplicados ao solo. Isto ocorre porque a produtividade é a relação entre a massa fresca e a área ocupada pela cultura.

Comportamento semelhante à produtividade foi encontrado por Andrade Júnior et al. (1992) que, analisando os efeitos de níveis de irrigação, baseados na evaporação do Tanque Classe A (0,5; 0,75; 1,0 e 1,25), aplicados por microaspersão em alface, constataram que a produtividade apresentou resposta quadrática, com valor máximo de 23.670 Kg.ha⁻¹, com o nível de irrigação correspondente a 75% da ECA.

Esse comportamento é semelhante ao observado por Andrade Júnior & Klar (1997) que, estudando os efeitos de quatro níveis de irrigação, baseados na evaporação do Tanque Classe A (0,25, 0,50, 0,75 e 1,00), utilizando irrigação por gotejamento na cultura da alface tipo americana, encontraram ajuste quadrático para a produtividade, alcançando o valor máximo de 90.970 Kg.ha⁻¹, com o nível de irrigação correspondente a 75% da ECA.

4.8 Eficiência no uso da água

Como qualquer olerícola, o cultivo da alface caracteriza-se pelo uso intensivo de água e fertilizante, uma vez que os aportes de água e nutrientes são componentes fundamentais para a obtenção de elevada produtividade. Dessa

forma, o consumo de água pela cultura é um fator de extrema importância no planejamento da irrigação, principalmente em regiões onde a disponibilidade deste recurso é um fator limitante.

A eficiência no uso da água relaciona a produtividade total ($\text{Kg}\cdot\text{ha}^{-1}$) à quantidade total de água consumida pela planta (mm).

Torna-se importante ressaltar que, para a realização desta análise, a lâmina de 26,7 mm, aplicada durante a fase de estabelecimento da cultura, foi adicionada às lâminas aplicadas nos tratamentos.

Observa-se na Tabela 9 que a eficiência no uso da água foi afetada significativamente pelas lâminas de irrigação aplicadas, pelo teste F a 1% de probabilidade. No entanto, as cultivares e a interação entre os fatores não apresentaram diferenças significativas.

TABELA 9. Resumo das análises de variância e de regressão para eficiência no uso da água (EUA) de duas cultivares de alface sob diferentes lâminas de irrigação. UFLA, Lavras, MG, 2006.

Fontes de variação	G. L.	Q.M.
		EUA ($\text{Kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$)
Bloco	3	1777,85 ^{ns}
Cultivar	1	143,10 ^{ns}
Lâmina	3	3598,98 ^{**}
Interação	3	693,06 ^{ns}
Resíduo	21	690,15
Média Geral	-	152,27
C.V. (%)	-	17,25
Linear	1	8463,45 ^{**}
Quadrática	1	1895,59 ^{ns}
Desvios	1	437,90 ^{ns}
Resíduo	21	690,15

Em que: ^{ns} – não significativo pelo teste F, ^{**} – significativo a 1% de probabilidade pelo teste F.

De acordo com a Figura 14, nota-se que a eficiência no uso da água apresentou comportamento linear decrescente com as lâminas de irrigação

aplicadas a 1% de significância. À medida que os níveis de irrigação aumentaram, ocorreu uma diminuição na eficiência no uso da água. Observa-se ainda que 78,39% das variações ocorridas, na eficiência no uso da água em função das lâminas de irrigação aplicadas, são explicadas pela regressão linear.

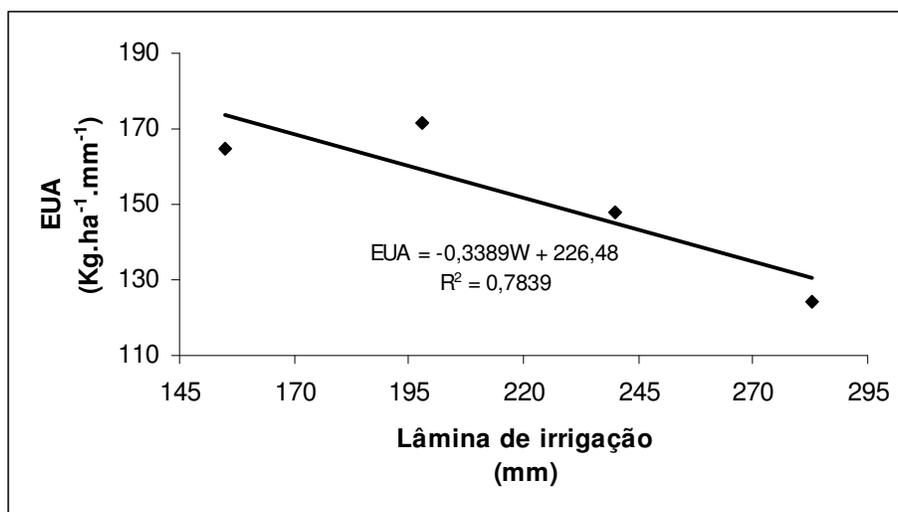


FIGURA 14. Eficiência no uso da água (EUA) em função das diferentes lâminas de irrigação. UFLA, Lavras, MG, 2006.

Comportamento semelhante para a cultura da alface foi observado por Andrade Júnior et al. (1992), Andrade Júnior & Klar (1997), Hamada (1993), Sammis (1980) e Santos & Pereira (2004). Os valores de eficiência no uso da água variaram de 171,8 Kg.ha⁻¹.mm⁻¹ a 124,4 Kg.ha⁻¹.mm⁻¹, com as lâminas de irrigação de 198 mm e 283 mm, respectivamente. A maior eficiência no uso da água ocorreu com a aplicação da lâmina de 198 mm de água no solo (100% de reposição de água); entretanto, as lâminas de irrigação de 155 e 198 mm apresentaram valores próximos, 164,7 e 171,8 Kg.ha⁻¹.mm⁻¹, respectivamente.

4.9 Análise econômica da lâmina de água

Considerando a hipótese de que $L(W)$ possui um valor máximo, de acordo com a Equação 12, e que a água é o único fator variável, foram obtidos os produtos físicos marginais da água para o cultivo de alface.

A partir da função de produção estimada para a produção comercial de alface, foram obtidos os produtos físicos marginais (PFMa), calculados pela Equação 17:

$$\begin{aligned} Y = PC &= -1,2622.W^2 + 618,18.W - 42466 \\ \frac{\partial Y}{\partial W} &= -2,5244.W + 618,18 = \frac{P_w}{P_y} \dots\dots\dots(17) \end{aligned}$$

De acordo com a Tabela 10, observa-se que o PFMa é inicialmente positivo e decresce à medida que se aumenta a lâmina de irrigação aplicada ao solo.

TABELA 10. Produto físico marginal da água (PFMa) para as diferentes lâminas de irrigação aplicadas. UFLA, Lavras, MG, 2006.

Lâminas de irrigação aplicadas	Produto físico marginal da água
(mm)	(PFMa)
155	226,9
198	118,3
240	12,3
283	-96,2

Quando o valor do PFMa atinge o valor zero, significa que a lâmina de irrigação aplicada proporcionou a produtividade física máxima. Igualando a primeira derivada a zero ($PFMa = 0$), a maior produtividade comercial, de $33.225 \text{ Kg.ha}^{-1}$, foi obtida com uma lâmina de irrigação de 244,9 mm. A partir do ponto em que o PFMa apresentou valor nulo, a aplicação de maior lâmina de irrigação conduziu ao valor de produto físico marginal negativo, indicando ser não econômico o uso dessa quantidade de água (utilização excessiva de água).

A lâmina de irrigação máxima, do ponto de vista econômico, foi calculada igualando a expressão do PFMa ao preço do fator variável, obtendo-se, desta forma, a máxima eficiência econômica.

Na Figura 15, mostra-se a relação custo/benefício para a cultura da alface, para o mês de janeiro de 2006. Para esse mesmo mês, a lâmina com que se obteve maior retorno econômico ou lucro foi de 244,2 mm (123,3% de reposição de água), resultando em uma produtividade de $33.224 \text{ Kg.ha}^{-1}$.

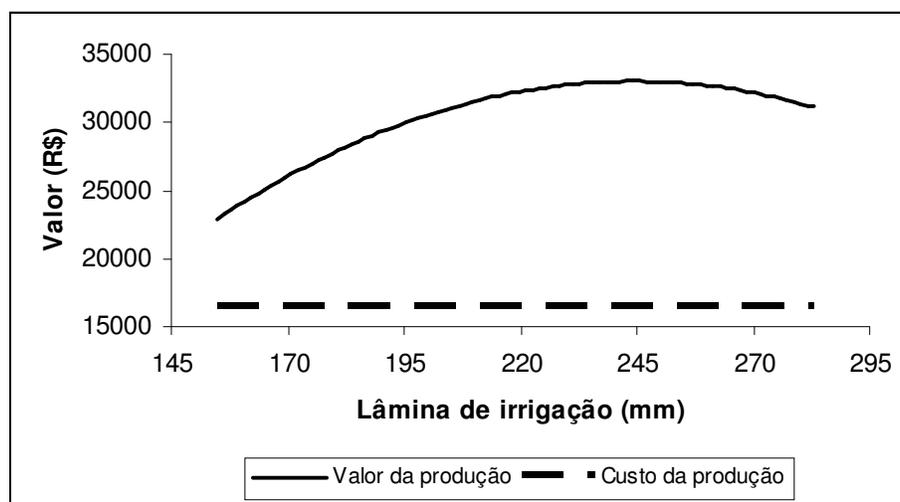


FIGURA 15. Relação custo/benefício para a cultura da alface em função da lâmina de irrigação para o mês de janeiro de 2006. UFLA, Lavras, MG, 2006.

Observa-se que este valor de lâmina é bastante próximo do valor da lâmina que gera a produtividade física máxima, o que indica que a irrigação deve ser feita de forma a garantir o desenvolvimento vegetativo da cultura, sob condições ótimas de umidade do solo, sem déficit hídrico.

Para atender às diferentes relações entre o preço da água e o preço da alface, construiu-se um gráfico de lâmina de irrigação economicamente ótima (W^*), em função da relação de preços entre fator e produto (P_w/P_y) (Figura, 16).

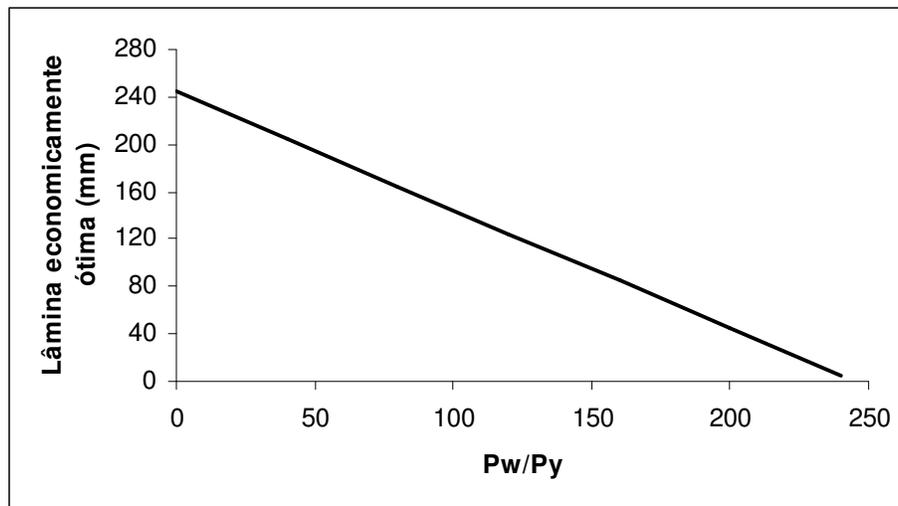


FIGURA 16. Lâmina total de irrigação economicamente ótima, em função da relação entre o preço da água e o preço da alface. UFLA, Lavras, MG, 2006.

Observa-se que a lâmina total de irrigação economicamente ótima decresce à medida que se aumenta a relação entre preços (P_w/P_y). Assim, considerando o preço da alface fixo, verifica-se que, incrementando o preço da água, a lâmina total de irrigação a aplicar deve ser menor, para que o produtor obtenha o lucro máximo na atividade.

5 CONCLUSÕES

Com base nos resultados observados no trabalho, pode-se concluir que:

- a) As cultivares de alface, Verônica e Hortência, apresentaram a mesma tendência com relação ao consumo de água durante o ciclo de produção;
- b) Maiores produtividades (total e comercial), plantas com maior número de folhas e maior massa fresca de folhas foram obtidas com a aplicação da lâmina de irrigação de 240 mm (121,2% de reposição de água);
- c) O comprimento do caule das plantas aumentou linearmente, em função da lâmina de água aplicada;
- d) O teor de matéria seca de folhas reduziu linearmente, em função da lâmina de água aplicada;
- e) A maior eficiência no uso da água ($171,8 \text{ Kg.ha}^{-1}.\text{mm}^{-1}$) ocorreu com a aplicação da lâmina de irrigação de 198 mm, correspondente a 100% de reposição de água;
- f) A máxima produtividade comercial, $33.225 \text{ Kg.ha}^{-1}$, foi estimada com a aplicação da lâmina de 244,9 mm (123,7% de reposição de água);
- g) Considerando o preço da água ($\text{R\$ } 0,70.\text{mm}^{-1}$) e o preço da alface do tipo crespa ($\text{R\$ } 1,00.\text{Kg}^{-1}$), a lâmina economicamente ótima foi estimada em 244,2 mm, resultando em uma produtividade comercial praticamente igual à máxima física.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRIANUAL 2006 – Anuário da Agricultura Brasileira. São Paulo: FNP, 2006. Alface, p. 147-148.

ALVARENGA, M. A. R. **Crescimento, teor e acúmulo de nutrientes em alface americana (*Lactuca sativa* L.) sob doses de nitrogênio aplicadas no solo e de níveis de cálcio aplicado via foliar.** 1999. 117 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

ALVAREZ V., 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., V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação.** Viçosa, MG, 1999. p. 25-32.

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

ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; DUARTE, R. L. R.; RIBEIRO, V. Q. **Níveis de irrigação na cultura da alface.** Teresina: EMBRAPA-UEPAE de Teresina, 1992. 16 p. (Boletim de Pesquisa, n. 13).

ANDRADE JÚNIOR, A. S. de; KLAR, A. E. Manejo da irrigação da cultura da alface (*Lactuca sativa* L.) através do tanque classe A. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 54, n. 1/2, p. 31-38, jan./ago. 1997.

ANDRIOLO, J. L.; ESPINDOLA, M. C. G.; STEFANELLO, M. O. Crescimento e desenvolvimento de plantas de alface provenientes de mudas com diferentes idades fisiológicas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 33, n. 1, p. 35-40, jan./fev. 2003.

ANTUNES, F. Z. Caracterização climática do cerrado em Minas Gerais. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 6, n. 61, p. 52-63, jan. 1980.

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

- BLANCO, M. C. S. G.; GROppo, G. A.; TESSARIOLI NETO, J. Alface (*Lactuca sativa* L.). In: COORDENADORIA DE ASSISTÊNCIA TÉCNICA INTEGRAL. **Manual técnico das culturas:** olerícolas, medicinais e ornamentais. 2. ed. rev. atual. Campinas, 1997. Tomo I, p. 13-18.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Normais climatológicas:** 1961-1990. Brasília: SPI/EMBRAPA, 1992. 84 p.
- BRASIL. Ministério da Irrigação. Programa Nacional de Irrigação. **Tempo de irrigar:** manual do irrigante. São Paulo: Mater, 1987. 160 p.
- CABELLO, F. P. **Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF) goteo, microaspersión, exudación.** 3. ed. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 1996. 511 p.
- CAMARGO, L. de S. As **hortaliças e seu cultivo.** 3. ed. rev. atual. Campinas: Fundação Cargill, 1992. 252 p.
- 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.
- 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 Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- CEASAMINAS CENTRAIS DE ABASTECIMENTO. **Boletim diário de preços.** Disponível em: <http://www.ceasaminas.com.br/bolgrupo_resp.asp>. Acesso em: 12 jan. 2006.
- CHIEPPE JÚNIOR, J. B.; KLAR, A. E.; STONE, L. F. Efeito de métodos de controle da irrigação no desenvolvimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris*), sob diferentes tensões de água no solo. **IRRIGA**, Botucatu, v. 5, n. 1, p. 9-20, 2000.
- CULTIVO protegido: uma tecnologia que viabiliza alta eficiência de irrigação é aplicável em qualquer região brasileira. **ITEM**, Brasília, n. 52/53, p. 10-12, jan./jun. 2002.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Guidelines for predictings crop water requeriments.** Roma: FAO, 1977. 144 p. (Irrigation and Drainage Paper, n. 24).

DOURADO NETO, D.; VAN LIER, Q. J.; BOTREL, T. A. et al. Programa para confecção da curva de retenção de água no solo utilizando o modelo Genuchten. **Engenharia Rural**, Piracicaba, v. 1, p. 92-102, jul. 1990.

ECHER, M. de M.; SIGRIST, J. M. M.; GUIMARÃES, V. F.; MINAMI, K. Efeito do espaçamento no comportamento de cinco cultivares de alface. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 18, p. 507-508, 2000. Suplemento Julho.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 1999. 412 p.

EVANGELISTA, A. W. P.; PEREIRA, G. M. Efeito da cobertura plástica de casa-de-vegetação sobre os elementos meteorológicos em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 4, p. 952-957, jul./ago. 2001.

FAHL, J. I.; CAMARGO, M. B. P. C.; PIZZINATO, M. A. et al. (Ed.). Alface. In: _____. **Instruções agrícolas para as principais culturas econômicas**. 6. ed. Campinas: IAC, 1998. p. 173-174. (IAC. Boletim, 200).

FAO. **Agricultural production, primary crops**. Disponível em: <<http://www.fao.org>>. Acesso em 10 abr. 2002.

FERGUSON, C. E. **Teoria micro-econômica**. 11. ed. Rio de Janeiro, Forense Universitária, 1988. 609 p.

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4. 0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos, SP. **Anais...** São Carlos: Sociedade Internacional de Biometria, 2000. p. 255-258.

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

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

FRIZZONE, J. A. Funções de resposta do feijoeiro ao uso do nitrogênio e lâmina de irrigação. In: SIMPÓSIO SOBRE O MANEJO DA ÁGUA NA AGRICULTURA, Campinas, 1987. **Anais...** Campinas, 1987. p. 123-133.

GELMINI, G. A.; TRANI, P. E. **Agrotóxicos para alface**: manual. Campinas: CATI, 1996. 22 p.

GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental**. 14. ed. Piracicaba: ESALQ/USP, 2000. 477 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., V. H. (Ed.). **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais: 5ª aproximação**. Viçosa, MG, 1999. p. 99-110.

GONDIM, R. S.; AGUIAR, J. V. de; COSTA, R. N. T. Estratégias de manejo de água em caupi irrigado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 14-18, jan./abr. 2000.

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

GUERRA, A. F.; SILVA, E. M. da.; AZEVEDO, J. A. de. Tensão de água no solo: um critério viável para a irrigação do trigo na região do cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 29, n. 4, p. 631-636, abr. 1994.

HAMADA, E. **Desenvolvimento e produtividade da alface (*Lactuca sativa* L.), submetida a diferentes lâminas de irrigação, através da irrigação por gotejamento**. 1993. 102 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP.

HEXEM, R. W.; HEADY, E. O. **Water production function for irrigated agriculture**. Ames: The Iowa State University Press, 1978. 215 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Censo agropecuário**: Sudeste. Rio de Janeiro, 1996. Disponível em: <www.sidra.ibge.gov.br>. Acesso em: 13 mar. 2000.

KLAR, A. E. **Irrigação**: frequência e quantidade de aplicação de água. São Paulo: Nobel, 1991. 156 p.

KNOTT, J. E.; TAVERNETTI, A. A. **Production of head lettuce in California**. California: Agricultural Extension Service, 1944. 51 p. (Circular, n. 128)

KUMAGAIA, Plasticultura na Cooperativa Agrícola de Cotia – Cooperativa Central. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE PLASTICULTURA, 1., 1989, Jaboticabal. **Anais...** Jaboticabal: FUNEP, 1991. p. 53-55.

LAMONT JUNIOR, W. J. What are the components of a plasticulture vegetable system? **Hort Technology**, Alexandria, v. 6, n. 3, p. 150-154, 1996.

MAKISHIMA, N.; CARRIJO, O. A. **Cultivo protegido do tomateiro**. Brasília: EMBRAPA-CNPQ, 1998. 18 p. (EMBRAPA-CNPQ. Circular Técnica da Embrapa Hortaliças, n. 13).

MALUF, W. R. **Produção de hortaliças I**. Lavras: UFLA, 2001, 70 p. (Apostila)

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

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

MORGAN, K. T.; PARSONS, L. R.; WHEATON, T. A. Comparison of laboratory – and field – derived soil water retention curves for a fine sand soil using tensiometric resistance and capacitance methods. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 234, n. 2, p. 153-157, July 2001.

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

PADUA, 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, MG.

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 Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

RAIJ, B. van.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. et al. (Ed.). Alfaca. In: _____. **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas: IAC, 1996. p. 168-168. (IAC. Boletim, n. 100).

SAMMIS, T. W. Comparison of sprinkler, trickle, subsurface and furrow irrigation methods for row crops. **Agronomy Journal**, Madison, v. 72, n. 5, p. 701-704, Sept./Oct. 1980.

SANTOS, D. S. dos. **Efeito da tensão de água no solo, na cultura do pepino (*Cucumis sativus* L.), utilizando sistema de irrigação automatizado.** 2002. 60 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

SANTOS, I. C. dos; CASALI, V. W. D.; MIRANDA, G. V. Comportamento de dez cultivares de alface adubadas com composto de lixo urbano. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 33, n. 2, p. 157-161, fev. 1998.

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

SCALCO, M. S. **Características agronômicas e de qualidade industrial do trigo sob irrigação e adubação nitrogenada.** 2000. 143 p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

SCATOLINI, M. E. **Estimativa da evapotranspiração da cultura do crisântemo em estufa a partir de elementos meteorológicos.** 1996. 71 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, SP.

SEGOVIA, J. F. O.; ANDRIOLO, J. L.; BURIOL, G. A.; SCHNEIDER, F. M. Comparação do crescimento e desenvolvimento da alface (*Lactuca sativa* L.) no interior e exterior de uma estufa de polietileno em Santa Maria, RS. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 27, n. 1, p. 37-41, jan./mar. 1997.

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

SILVA, W. L. C.; MAROUELLI, W. A. Manejo da irrigação em hortaliças no campo e em ambientes protegidos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas. **Simpósio. . .** Poços de Caldas: UFLA/SBEA, 1998. p. 311-348.

STONE, L. F.; MOREIRA, J. A.; SILVA, S. C. da. Efeitos da tensão da água do solo sobre a produtividade e crescimento do feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 2, p. 161-167, fev. 1988.

TARSITANO, M. A. A.; HOFFMAN, R. Análise econômica do emprego de fertilizantes na cultura do milho. **Revista Economia Rural**, São Paulo, v. 23, n. 3, p. 333-349, 1985.

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

VASQUÉZ, M. A. N.; FOLEGATTI, M. V.; DIAS, N. da S.; SILVA, C. R. da. Efeito do ambiente protegido cultivado com melão sobre os elementos meteorológicos e sua relação com as condições externas. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 137-143, jan./abr. 2005.

VECCHIA, P. T. D.; KOCH, P. S. História e perspectivas da produção de hortaliças em ambiente protegido no Brasil. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 20, n. 200/201, p. 5-10, set./dez. 1999.

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

ZAMBOLIM, L.; COSTA, H.; LOPES, C. A.; VALE, F. X. R. do. Doenças de hortaliças em cultivo protegido. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 20, n. 200/201, p. 114-125, set./dez. 1999.