

**ALFACE AMERICANA CULTIVADA EM  
AMBIENTE PROTEGIDO SOB DIFERENTES  
TENSÕES DE ÁGUA NO SOLO**

**SILVÂNIO RODRIGUES DOS SANTOS**

**2002**

**SILVÂNIO RODRIGUES DOS SANTOS**

**ALFACE AMERICANA CULTIVADA EM AMBIENTE PROTEGIDO  
SOB DIFERENTES TENSÕES DE ÁGUA NO SOLO**

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. Geraldo Magela Pereira

LAVRAS  
MINAS GERAIS - BRASIL

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

Santos, Silvânio Rodrigues dos

Alface americana cultivada em ambiente protegido sob diferentes tensões de água  
no solo / Silvânio Rodrigues dos Santos. -- Lavras : UFLA, 2002.

79 p. : il.

Orientador: Geraldo Magela Pereira.

Dissertação (Mestrado) – UFLA.

Bibliografia.

1. Alface americana. 2. Irrigação. 3. Manejo. 4. Ambiente protegido. I.  
Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-635.5287

-635.5283

**SILVÂNIO RODRIGUES DOS SANTOS**

**ALFACE AMERICANA CULTIVADA EM AMBIENTE PROTEGIDO  
SOB DIFERENTES TENSÕES DE ÁGUA NO SOLO**

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 31 de outubro de 2002**

**Prof. Dr. Elio Lemos da Silva**

**UFLA**

**Prof. Dr. Rovilson José de Souza**

**UFLA**

  
**Prof. Dr. Geraldo Magela Pereira**  
**UFLA**  
**(Orientador)**

**LAVRAS  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2002**

Aos meus irmãos Silvia, Cida, Sirlânea e Carlos César.

Aos meus pais, Joaquim Moreira (Bio) e Matildes Rodrigues (Tidinha).

Aos meus amigos.

**Dedico**

*“Sai de casa muito cedo  
Os trapos na minha sacola  
Camisa bordada no bolso  
Na mão direita a viola  
Principiava o mês de junho  
O céu cinzento anunciava o inverno  
O peito vazio de tudo  
E a mala cheia de amor materno*

*Meu companheiro  
Que sai de casa e na vida cai  
Com as cacetadas destes anos todos  
Eu fiquei mais velho que meu velho pai...”*

**Reciclagem  
(Zé Geraldo) Editora Melograph**

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pela vida.

Aos meus pais, pelo incentivo, criação e companheirismo.

À Universidade Federal de Lavras, pela oportunidade de realizar o curso e desenvolver esse trabalho.

Aos professores das disciplinas cursadas pelos ensinamentos e amizade.

Ao professor Geraldo Magela Pereira (orientador), pelo apoio, amizade e pelos ensinamentos no decorrer desse curso.

A todo o corpo docente do curso de pós-graduação em Irrigação e Drenagem da UFLA.

Aos funcionários do Setor de Engenharia de Água e Solo (Departamento de Engenharia), José Luiz, Oswaldo “Neném” e Lindeberg “Seu Berg”, por estarem sempre dispostos a ajudar na condução dos trabalhos.

Aos colegas de curso Adriana, Alisson Hofstatter, Cynthia Pierangeli, Débora, Deoclecio, Evonaldo, Joelma, João Batista, Luiz Alexandre, Marcos Alves, Márcio Willian, Nelson Sá, Polyanna, Vladimir e demais colegas, por terem contribuído para a minha formação profissional.

Aos amigos de república, pela convivência e companheirismo.

Aos amigos Jerônimo (Morrão) e Danilo Daniel (Tico), pelo auxílio na condução do experimento.

Ao amigo João Batista Araujo e família pelo acolhimento durante a fase final desse trabalho.

Ao amigo Jony Yuri, pela doação das mudas de alface e esclarecimentos às dúvidas relacionadas à condução da cultura.

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

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudos e ao CNPq, pelo apoio financeiro relacionado à parte experimental.

## **BIOGRAFIA**

Silvânio Rodrigues dos Santos, filho dos agricultores Joaquim Moreira dos Santos e Matildes Rodrigues dos Santos, nasceu em Pitarana (Distrito de Montalvânia, MG) no dia 6 de junho de 1976.

Estudou do pré-escolar até a 8ª série na Escola Estadual de Pitarana. Em 1993 concluiu o curso Técnico em Agropecuária no Centro Educacional Tancredo Neves (CETAN) – São João Del Rei, MG.

Cursou Agronomia na Universidade Federal de Lavras (UFLA), de agosto de 1995 a julho de 2000, onde também trabalhou como bolsista de iniciação científica durante três anos.

Ingressou no mestrado em Engenharia Agrícola, área de concentração Irrigação e Drenagem, em agosto de 2000.

# SUMÁRIO

	<b>Página</b>
RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
1.0 INTRODUÇÃO.....	1
2.0 REFERENCIAL TEÓRICO.....	3
2.1 A cultura da alface.....	3
2.2 Exigência em clima.....	5
2.3 Cultivo em ambiente protegido.....	7
2.4 Métodos de irrigação.....	10
2.5 Manejo da irrigação.....	12
2.6 Instrumentos para medição da tensão de água no solo.....	17
3.0 MATERIAL E MÉTODOS.....	21
3.1 Caracterização da área experimental.....	21
3.1.1 Clima.....	21
3.1.2 Solo.....	22
3.2 Delineamento experimental e tratamentos.....	24
3.3 Equipamento e manejo da irrigação.....	28
3.4 Obtenção das mudas e cultivar empregada.....	32
3.5 Condução do experimento.....	33
3.6 Práticas culturais.....	33
3.6.1 Adubação.....	33
3.6.2 Controle de plantas daninhas.....	34
3.6.3 Controle fitossanitário.....	34
3.7 Variáveis analisadas.....	35
3.7.1 Altura de plantas.....	35
3.7.2 Número de folhas externas e internas por planta.....	35
3.7.3 Peso da cabeça comercial.....	35



3.7.4	Circunferência da cabeça .....	36
3.7.5	Diâmetro do caule.....	36
3.7.6	Teor de matéria seca da parte aérea .....	36
3.7.7	Teor de matéria seca da cabeça comercial .....	36
3.7.8	Produtividade total e comercial .....	37
3.7.9	Comprimento do sistema radicular e matéria seca .....	37
3.7.10	Eficiência no uso da água (EUA) .....	38
3.8	Análise estatística .....	38
4.0	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	39
4.1	Resultados gerais do experimento .....	39
4.1.1	Condições climáticas na casa de vegetação.....	39
4.1.2	Avaliação do sistema de irrigação .....	41
4.1.3	Tensões e lâminas aplicadas.....	42
4.2	Avaliação da altura de plantas .....	47
4.3	Parte aérea .....	49
4.4	Matéria seca da parte aérea .....	56
4.5	Produtividade.....	58
4.6	Sistema radicular .....	60
4.7	Eficiência no uso da água.....	63
5.0	CONCLUSÕES.....	66
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	67
	ANEXOS .....	74

## RESUMO

SANTOS, Silvânio Rodrigues dos. **Alface americana cultivada em ambiente protegido sob diferentes tensões de água no solo.** 2002. 79p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola/Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.\*

A alface é a principal folhosa do Brasil, tanto em termos de produção quanto de consumo. Os estados de São Paulo e Minas Gerais são os principais produtores. É uma cultura bastante exigente em água e, sob cultivo protegido, a irrigação deve ser usada para o suprimento hídrico. O manejo adequado da irrigação é importante não apenas por suprir as necessidades hídricas das plantas, mas também por minimizar problemas com doenças e lixiviação de nutrientes, bem como gastos desnecessários com água e energia. Visando definir critérios para o manejo da irrigação, este trabalho foi desenvolvido para avaliar o efeito de diferentes tensões de água no solo sobre o comportamento produtivo da alface americana, cv. *Raider*, em ambiente protegido na região de Lavras, MG. O experimento foi instalado em casa de vegetação na Universidade Federal de Lavras, com delineamento em blocos casualizados, tendo quatro repetições. Os tratamentos foram constituídos de seis tensões de água no solo como indicativos do momento de irrigar. As tensões preestabelecidas foram 15 (T1), 30 (T2), 45 (T3), 60 (T4), 75 (T5) e 90 kPa (T6). Os resultados permitiram concluir que, no emprego de tensões em torno de 15 kPa, há tendência em se obter plantas mais altas, com maior número de folhas internas, maior peso da matéria fresca comercial, maior diâmetro de caule, menor teor de matéria seca da parte comercial e da parte aérea total, maior produtividade e menor teor de matéria seca de raízes. Também foi possível observar que a melhor eficiência no uso da água ( $469,22 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{mm}^{-1}$ ) com produtos de melhor qualidade foi obtida sob tensão em torno de 15 kPa, à profundidade de 0,15 m.

---

\*Comitê Orientador: Geraldo Magela Pereira - UFLA (Orientador), Rovilson José de Souza – UFLA.

## ABSTRACT

**SANTOS, Silvânio Rodrigues dos. Crisphead lettuce cultivated in greenhouse under different soil water tensions. 2002. 79p. Dissertation (Master in Agricultural Engineering) – “Universidade Federal de Lavras”, Lavras, MG.\***

Lettuce is Brazil's most important leafy vegetable, in terms of both production and consumption. São Paulo and Minas Gerais are the country's leading crisphead lettuce producing states. It is a quite water-demanding culture and, under protected cultivation, irrigation must be used for water supply. The appropriate management of irrigation is not an important factor only as far as the plants water supply needs are concerned, but also in minimizing problems with diseases, nutrients leaching as well as in avoiding unnecessary expenses with water and energy. The purpose of this work was to evaluate the effect of different soil water tensions on the crisphead lettuce productive behavior, Raider cultivar, under protected cultivation, in the region of Lavras, MG, seeking to define criteria for the irrigation schedule. The experiment was settled in a greenhouse at the “Universidade Federal de Lavras” in a completely randomized blocks design with four replications. The treatments consisted of six soil water tension rates as indicators of the irrigation schedule criterion. Preset tensions were 15 (T1), 30 (T2), 45 (T3), 60 (T4), 75 (T5) and 90 kPa (T6). Results allowed to conclude that under tensions around 15 kPa there is a tendency of obtaining taller plants, with larger numbers of inner leaves, with heavier weight of marketable fresh head, larger stem diameter, smaller contents of dry matter in the marketable part and the whole aerial part, larger productivity and smaller content of roots dry matter. It was also possible to observe that the best water use efficiency ( $469,22 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$ ) resulting in products of better quality was obtained under tension around 15 kPa at the depth of 0,15 m.

---

\*Guidance Committee: Geraldo Magela Pereira - UFLA (Adviser), Rovilson José de Souza – UFLA

## 1.0 INTRODUÇÃO

Os hábitos alimentares dos brasileiros residentes nos grandes centros urbanos têm sofrido modificações nos últimos anos. Modificações estas decorrentes principalmente da carga de trabalho elevada, que acaba por diminuir o tempo para as refeições, bem como da oferta de alimentos que proporcionam uma alimentação rápida e com qualidade.

Os grandes responsáveis pelo fornecimento desses alimentos são as redes de lanchonetes que, segundo Yuri (2000), começaram a surgir no país a partir da década de oitenta.

Um dos constituintes desses alimentos é a alface (*Lactuca sativa* L), principalmente a do grupo repolhuda crespa, representada pela alface americana. Sua maior procura, por parte das lanchonetes, deve-se a algumas características, como capacidade de manter-se crocante mesmo em temperaturas altas e apresentar uma maior vida de prateleira.

Incentivadas principalmente pelas redes de lanchonetes, algumas regiões têm recebido destaque na produção desta cultura. O Sul de Minas, por apresentar um clima favorável ao seu cultivo durante o ano todo e se localizar próximo a dois grandes centros consumidores (Belo Horizonte e São Paulo), tem procurado viabilizar técnicas que possibilitem maior produtividade e qualidade dos produtos. Mensalmente são produzidas aproximadamente mil toneladas de alface americana nessa região (Yuri, 2002\*).

Dentre as técnicas utilizadas, o cultivo em ambiente protegido mostra-se viável por manter um clima mais propício ao desenvolvimento da cultura, possibilitando uma maior produtividade e produtos de melhor qualidade, além de amenizar problemas relacionados a pragas e doenças.

---

\*YURI, J. E. 2002. UFLA – Dep. Agricultura, C. Postal 37, Lavras, MG. (Informação Pessoal)

Quando se fala em produção de alface em ambiente protegido, deve-se levar em consideração uma outra técnica, a irrigação, que é de grande importância para esta cultura, devido à sua alta exigência em água. Deve-se salientar que, se não manejada adequadamente, a irrigação pode propiciar o surgimento de doenças, lixiviação de nutrientes, gasto desnecessário com água e energia, dentre outros fatores.

O método normalmente utilizado é a irrigação localizada, sendo o gotejamento o sistema mais empregado. Esse sistema proporciona uma alta eficiência de aplicação de adubos quando feitos via água de irrigação (fertirrigação).

O manejo da irrigação pode ser feito com base nas características do clima, do solo, da planta ou associados. Com base no clima, podem ser utilizados fatores que determinam ou estimam a evapotranspiração da cultura, como equações, tanque Classe A, evapotranspirômetros, atmômetros, dentre outros. Com base no estado energético da água no solo, é possível estimar a sua umidade, com o uso de alguns instrumentos como: blocos de resistência elétrica, sonda de nêutrons, TDR (*Time Domain Reflectometer*) e tensiômetros. Ligado à planta, o que tem sido estudado e mais difundido é o potencial hídrico foliar, mas ainda com pouca aplicação prática. Independente do método utilizado, a resposta da planta frente às condições do clima e do solo em que ela se encontra deve ser considerada.

Diante do exposto, objetivou-se neste trabalho avaliar o efeito de diferentes tensões de água no solo sobre o comportamento produtivo da alface americana, cv. *Raider*, cultivada em ambiente protegido na região de Lavras (MG), visando definir critérios para manejo da irrigação.

## 2.0 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 A cultura da alface

Pertencente à família Asteraceae, a alface é uma planta herbácea, 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 do verde-amarelado ao verde-escuro, sendo que algumas cultivares apresentam as margens arroxeadas. As raízes são do tipo pivotante, podendo atingir 0,60m de profundidade quando em semeadura direta, porém, apresentam ramificações delicadas, finas e curtas, explorando apenas os primeiros 0,25m 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 e 0,30m no seu máximo desenvolvimento (Marouelli et al., 1996). Portanto, é aconselhável avaliar o sistema radicular nos diferentes estádios de desenvolvimento da planta e no próprio local de cultivo, para um melhor conhecimento da profundidade efetiva. Dessa forma, quando as características do solo e do sistema radicular são levadas em conta, o manejo da irrigação pode ser ajustado às condições momentâneas da cultura.

Quanto à exigência em solo, a cultura se adapta melhor aos de textura média, com boa capacidade de retenção de água. A faixa de pH mais propícia é a de 6,0 a 6,8. A calagem deve ser feita visando elevar a saturação por base para 70% a 80%. A adubação orgânica, principalmente com esterco animal, é um fator preponderante para a obtenção de um bom rendimento na cultura (Gomes et al., 1999; Filgueira, 2000). Além de fonte de nutrientes para a planta, a matéria orgânica melhora as qualidades físicas do solo e aumenta a atividade microorgânica.

Segundo Maluf (2001), a alface é classificada em cinco grupos distintos, de acordo com o aspecto das folhas e o fato de reunirem-se ou não para a formação de uma cabeça repolhuda.

Tipo Romana: apresentam folhas alongadas, duras, com nervuras claras e protuberantes, não formando cabeças imbricadas mas fofas. Têm pouca aceitação pelos consumidores brasileiros. Ex.: Romana Branca de Paris, Romana Balão e Gallega de Inverno.

Alface de Folhas Lisas: as folhas são lisas, mais ou menos delicadas, não formando uma cabeça repolhuda mas uma roseta de folhas. Ex.: Babá de Verão, Monalisa AG-819, Regina 71.

Alface de Folhas Crespas: as folhas são crespas, soltas, consistentes, não formando uma cabeça repolhuda mas uma roseta de folhas. Ex: *Grand Rapids*, *Slow Bolting*, Verônica, Vera, 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. Ex.: *White Boston*, Brasil 48, Brasil 303, Carolina AG-576, Elisa, Aurélia, Floresta, Glória e Vivi.

Repolhuda Crespa ou Alface Americana (*Crisphead lettuce*): apresenta cabeça crespa, folhas com nervuras salientes e imbricadas, semelhantes ao repolho. Ex.: *Great Lakes*, Mesa 659, Salinas, Tainá, Iara, Madona AG-605, *Lucy Brown*, *Lorca*, *Legacy* e *Raider*. Esta última cultivar foi selecionada pela Asgrow e apresenta um ciclo de 75 dias a partir da sementeira, sendo 48 a 58 dias a partir do transplântio. O tamanho da planta é de médio a grande, com peso médio variando entre 700 a 1200g. As folhas são duras e de coloração verde clara. Possui cabeça de tamanho médio a grande, com ótima compacidade, peso e uma boa tolerância ao pendoamento (Alvarenga, 1999; Yuri, 2000).

Normalmente, a alface americana é cultivada no espaçamento de 0,35 x 0,35m (Bueno, 1998; Mota, 1999; Filgueira, 2000). Porém, alguns pesquisadores, utilizando outros espaçamentos, obtiveram resultados

satisfatórios. É o caso de Alvarenga (1999) que, trabalhando com uma cultivar do tipo americana, entre os meses de maio a junho, no sul de Minas Gerais, no espaçamento de 0,30m x 0,30m, obteve um peso médio da cabeça comercial de 577,0g. O próprio autor afirma que obteve valores superiores aos encontrados por Bueno (1998). Já Silva et al. (2000) trabalharam com diversos espaçamentos e cultivares no Rio Grande do Norte, sob condições de luminosidade e temperatura elevadas. Esses autores obtiveram, para a *Great Lakes* no espaçamento de 0,20m x 0,20m, a maior taxa de retorno para o capital investido. Desse modo, pode-se dizer que o/espacamento parece estar ligado a outros fatores devendo ser mais bem estudado/✕

A alface é excelente fonte de vitamina A, possuindo quantidade apreciável das vitaminas B<sub>1</sub> e B<sub>2</sub>, e, ainda, certa porção de vitamina C, além dos elementos ferro e cálcio. Essas substâncias são encontradas em maiores concentrações nas cultivares com folhas de bordos lisos e sem formação de cabeça. Pelo fato de ser consumida crua, conserva todas as suas propriedades nutritivas. É aconselhável nas dietas de baixas calorias, devido ao seu pequeno valor energético (Murayama, 1983).

Em relação ao 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). O volume comercializado na CEAGESP/SP por ano (média de 1997 a 2000) é de aproximadamente 21.110 toneladas (FNP, 2002). No ano de 1997, a *Mc Donald's* (rede de *fast food*) consumiu 2.300 toneladas da alface do tipo americana (Qualidade..., 1998).

## 2.2 Exigência em clima

A alface é cultivada em diversas partes do mundo, sendo apreciada por milhares de pessoas. Suas exigências maiores quanto ao clima são



principalmente para temperatura e luminosidade. Resiste a baixas temperaturas e geadas leves. Normalmente, as temperaturas ótimas de crescimento encontram-se entre 15°C e 20°C e temperaturas noturnas inferiores a 15°C favorecem a formação de cabeça (Yuri, 2000). Porém, em fase de crescimento rápido, a alface exige uma amplitude térmica entre dia e noite, devendo as temperaturas diurnas estar entre 14°C e 18°C e as noturnas entre 5°C e 8°C (Serrano Cermeño, 1996, citado por Fernandes & Martins, 1999). A fase reprodutiva é favorecida por dias longos e temperaturas acima de 20°C sendo acelerada à medida que a temperatura aumenta (Yuri, 2000).

Sanders ([1999?]) afirma que a alface americana é adaptada a condições de temperatura amena, tendo como ótima a faixa de 15,5°C a 18,3°C. Próximo de 21,1°C a 26,6°C a planta floresce e produz sementes. Pode tolerar alguns dias com temperaturas de 26,6°C a 29,4°C desde que as temperaturas noturnas sejam baixas. A faixa de temperatura ótima para a germinação é de 21,1°C a 23,8°C.

O volume de produção dessa hortaliça varia ao longo do ano, em função das condições climáticas específicas de cada região. Yuri (2000), trabalhou com cultivares de alface em Santo Antônio do Amparo, MG, em duas épocas do ano, de setembro a dezembro (época 2) e de fevereiro a maio (época 1). Ele obteve, para a cultivar *Raider*, peso médio da cabeça comercial significativamente maior (996,27 g) para o cultivo na época 1 em relação ao da época 2 (415,00 g). As temperaturas médias máximas e mínimas registradas nos meses a partir do transplântio foram, respectivamente, 28,3°C e 15,4°C para a época 2 e 28,5°C e 13,9°C para a época 1. Os valores de precipitação total média nesses meses foram 269,0 mm e 56,3 mm para as épocas 2 e 1, respectivamente. O autor comenta que essa diferença deveu-se às condições mais favoráveis de temperatura e precipitação na época 1.

Fernandes & Martins (1999) afirmam que a exigência térmica da alface também pode ser estimada por meio do somatório de calor efetivo para o

crescimento das plantas acumulado durante o dia (graus-dia). É obtido pela subtração da temperatura base da planta da temperatura média diária. A temperatura base é aquela abaixo da qual a planta não se desenvolve ou, se o fizer, o faz a uma taxa muito reduzida. Para completarem cada subperíodo do ciclo de vida, as plantas requerem um acúmulo de certa soma de calor, comumente expressa pelo índice graus-dia. Silva et al. (1999) afirmam que o grau-dia, como quantificador das fases fenológicas das plantas, tem a vantagem em relação à quantidade de dias do calendário de independer da época e do local de plantio. Esses pesquisadores, desenvolvendo experimento no estado do Arizona (EUA), obtiveram para uma cultivar do tipo folhosa, da germinação até o final da fase vegetativa um total de 742°C.

De acordo com Conti (1994), o comprimento do dia não é problema para o cultivo de verão no Brasil, pois as cultivares européias importadas já estão adaptadas a dias mais longos do que os que ocorrem no país. A expansão da cultura está se transferindo para as áreas de latitudes menores, conseqüentemente, o fotoperíodo não é obstáculo. Entretanto, em condições de menores latitudes, verifica-se o aumento da temperatura. Nestas situações, há necessidade de se escolher áreas de elevadas altitudes.

### **2.3 Cultivo em ambiente protegido**

/ O cultivo em ambiente protegido começou a ser utilizado comercialmente, em diversas regiões do mundo, no início da década de 50 após a descoberta do polímero de polietileno (Lamont Junior, 1996). Justamente nesta ocasião, esta técnica chegou ao Brasil trazida pelos holandeses para a produção de flores e somente na década de 70, com os projetos pioneiros de cultivo de tomate pelo Instituto Adventista Agroindustrial de Manaus, começou a ser utilizada para o plantio de hortaliças (Martins, 1996; Cultivo..., 2002). Antes, o processo era considerado antieconômico para estas culturas.

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).

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. Isso pode ser confirmado com a verificação de publicações nos congressos da Sociedade de Olericultura do Brasil. De 1995 a 1998, foram 72 trabalhos tendo 20 instituições envolvidas. Desses 72 trabalhos, 20 foram com a cultura da alface (Vecchia & Koch, 1999). No ano de 2002, foram 77 trabalhos (Congresso..., 2002). 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. Desse modo, é necessário o investimento em pesquisa, pois ela é capaz de fornecer o suporte técnico para o desenvolvimento seguro do cultivo em ambiente protegido.

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 anular os efeitos negativos das baixas temperaturas, geada, vento, granizo, excesso de chuva, bem como encurtar o ciclo de produção, aumentar a produtividade e obter produtos de melhor qualidade (Sganzerla, 1995). Esse mesmo autor afirma ainda que se pode conseguir até 11 safras de alface por ano em mesma área com o cultivo protegido ao passo que no cultivo convencional conseguem-se, em média, 5 safras. /

Neste sentido, Segovia et al. (1997) compararam as cultivares de alface Brasil 202, White Boston e Regina, no inverno, em Santa Maria (RS), dentro e

fora de uma 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. A relação parte aérea e sistema radicular também foi maior no interior. As plantas apresentaram uma maior taxa de crescimento no interior. Com base no exposto, eles afirmaram que é possível obter 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 em irrigação, já que é a única forma de repor a água consumida pela cultura, isto é, entrada de água, deve ser pela irrigação.

Cultivos realizados em ambiente protegido distinguem-se dos demais sistemas de produção a campo, principalmente pelo uso intensivo do solo e controle parcial de fatores ambientais. Assim, o manejo adequado do sistema solo-água-planta-ambiente é de fundamental importância para o sucesso de empreendimentos neste sistema de produção (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. Isso pode ser em função dos locais onde foram desenvolvidos os trabalhos e do aspecto construtivo da casa de vegetação. Se houver possibilidade de manejar cortinas laterais ou se as laterais tiverem apenas tela antiafídica,

provavelmente, as temperaturas tanto dentro quanto fora da casa de vegetação serão semelhantes.

Evangelista (1999) obteve 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. Porém, os valores de umidade relativa média e mínima foram inferiores no interior. Ele justificou 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. As laterais eram revestidas com tela plástica (clarite) fixa./

## 2.4 Métodos de irrigação

Existem diversos métodos para fornecer água às plantas. A escolha do método adequado a ser usado em cada área deve ser baseada na viabilidade técnica e econômica do projeto de irrigação e nos seus benefícios sociais (Bernardo, 1995). Segundo esse mesmo autor, ao se escolher um método de irrigação, basicamente devem ser considerados a uniformidade da superfície do solo, o tipo de solo, a quantidade e qualidade da água, o clima, a cultura e o manejo da irrigação a ser adotado. Ele afirma ainda que não existe um método mais eficiente que outro para quaisquer condições mas sim, para determinada condição, alguns métodos se adaptam melhor.

Sammis (1980), com experimento comparando os sistemas de irrigação por aspersão, gotejamento, subsuperficial e por sulcos na cultura da alface, não obteve diferenças significativas para produção total e eficiência no uso da água (produção por unidade de água aplicada, incluindo a chuva) entre os tratamentos de aspersão, gotejamento e irrigação subsuperfície quando o momento de irrigar foi indicado pela tensão de 20 kPa. O sistema de irrigação por sulcos propiciou produções e eficiência no uso da água semelhantes a quando o manejo foi feito

em condições próprias, isto é, com maior turno de rega proporcionado por tensão mais alta (60 kPa). Segundo ele, para a alface, por ser uma cultura de raízes superficiais, a aplicação de água de forma leve e freqüente proporciona a obtenção de alto rendimento e alta eficiência do uso da água, independentemente do método de irrigação. O manejo de irrigação adotado consistiu de duas tensões de água no solo para cada tratamento como indicativas do momento de irrigar, sendo usados tensiômetros instalados a 0,15 m de profundidade.

Demattê et al. (1981) desenvolveram experimento em Jaboticabal, São Paulo, visando comparar a irrigação por aspersão e por gotejamento no desenvolvimento e produção da alface. A cultivar empregada foi a “Brasil 48”. Segundo os autores, o clima no período da condução do experimento foi propício ao cultivo dessa hortaliça. Foi desenvolvido num latossolo roxo. O manejo adotado foi baseado no tanque Classe A, com reposição diária da lâmina para o gotejamento e de 2 a 3 dias para a aspersão. Os resultados encontrados mostraram, estatisticamente, maior porcentagem de plantas não comerciais para a aspersão e maiores altura de plantas, diâmetro da parte aérea, peso médio da parte aérea e peso médio por m<sup>2</sup> cultivado para o gotejamento. Concluíram que, nas condições em que o experimento foi desenvolvido, o gotejamento seria o sistema de irrigação mais indicado para a alface.

No caso particular da alface, quando se usa método em que a água entra em contato direto com as folhas, a qualidade microbiológica da água assume papel de grande importância, uma vez que o seu consumo é *in natura*, principalmente na forma de saladas (Ayers & Westcot, 1991).

Quando em cultivo protegido, é necessária a utilização de um sistema de irrigação adaptado para esse tipo de ambiente. O gotejamento ou sulcos, neste caso, é o mais indicado (Carrrijo et al., 1999). A irrigação por sulcos é geralmente a de menor custo por unidade de área. Apesar disso, esse sistema é pouco utilizado, principalmente porque requer superfície do terreno mais

uniforme, mais mão-de-obra por unidade irrigada, maior movimentação no interior da casa de vegetação, utiliza um volume de água de irrigação muito maior, aumenta a umidade relativa de ar e pode provocar erosão e lixiviação dos nutrientes solúveis. Já o gotejamento é o mais usado, pois se pode obter economia de custeio da irrigação e de mão-de-obra, alta economia e eficiência de aplicação de água no solo, boa uniformidade de aplicação dos adubos minerais através da água de irrigação e pode-se utilizar água e solos salinos para a produção das culturas (Carrizo et al., 1999). Pode-se acrescentar ainda a facilidade de automação do sistema de irrigação quando se usa o gotejamento.

## 2.5 Manejo da irrigação

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). É um dos fatores mais importantes para a produção das culturas. 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. Entre as hortaliças, a alface é considerada uma das mais exigentes em água e uma das que respondem com maior intensidade aos efeitos oriundos da aplicação ou não deste fator de produção. Mello (2000), citado por Coelho (2001), relatou o conteúdo de água de 94,4% numa cultivar lisa e 95,6% numa do tipo americana.

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 solo-água-planta-clima,

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

Andrade Júnior (1994), avaliou o efeito de quatro lâminas de irrigação na alface (25%, 50%, 75% e 100% da evaporação do tanque Classe A) sobre o comportamento fisiológico e produtivo de uma cultivar do tipo americana (Mesa 659), sob cultivo protegido. O autor obteve melhores resultados de número de folhas, área foliar e matéria seca durante o crescimento para os níveis de irrigação correspondentes a 50% e 75% da evaporação do tanque Classe A (ECA). No final do ciclo, os melhores resultados de número de folhas, área foliar, matéria seca e produtividade foram proporcionados pelo nível de 75% da ECA. As lâminas totais aplicadas foram 61,43, 101,87, 142,30 e 182,74 mm para as frações de 0,25, 0,50, 0,75 e 1,00, respectivamente. A eficiência no uso da água apresentou resposta linear e decrescente com o acréscimo dos níveis de irrigação aplicados.

Avaliando o crescimento da alface (cultivar Floresta) submetida a quatro lâminas correspondentes a 120%, 100%, 80% e 60% da ECA, em condições de campo, Hamada & Testezlaf (1996) não obtiveram diferenças significativas em nenhuma das variáveis analisadas. As variáveis foram área foliar, taxa de crescimento da cultura, taxa de crescimento relativo, taxa de assimilação líquida e razão de área foliar. Os autores atribuíram a não significância à alta variabilidade encontrada nos dados experimentais.

Frenz & Lechl (1981), citados por Andrade Júnior (1994), conduziram um experimento em casa de vegetação com o objetivo de determinar a tensão ideal de água no solo para um adequado desenvolvimento da cultura da alface. O sistema utilizado foi o gotejamento e os tratamentos de tensão foram 6, 14, 22 e 30 kPa. A tensão de 14 kPa proporcionou a maior quantidade de matéria fresca (264 g/planta) e produtividade (42 Mg.ha<sup>-1</sup>), totalizando uma lâmina de 56 mm e frequência de 4 dias. Já Araki & Goto (1983), também citados por Andrade



Júnior (1994), observaram a faixa compreendida entre as tensões de 20 e 30 kPa como ótimas para o crescimento da cultura e obtenção de 'cabeças' com 1.430 g/planta. A lâmina total aplicada nesse caso foi de 140 mm.

Andrade Júnior (1994) realizou experimento com alface sobre manejo da irrigação com base em tanque Classe A monitorando a umidade do solo pelo método gravimétrico. A partir da curva característica ele chegou às tensões de água no solo correspondentes às lâminas aplicadas. Observou que a máxima produtividade da cultura ( $91 \text{ Mg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) e o máximo valor de matéria fresca foram conseguidos com tensões variando entre 20,46 e 38,22 kPa ao longo do ciclo da cultura.

Silva & Marouelli (1998) afirmam que a tensão de água no solo em que se deve promover a irrigação para obter produtividade máxima em alface está entre 40 e 60 kPa. O valor de 40 kPa corresponde a locais com evapotranspiração alta ( $> 5 \text{ mm/dia}$ ) e no período crítico ao déficit (antes da colheita). Segundo esses autores, os valores citados são mais indicados para os sistemas de irrigação por aspersão e por superfície. No caso do gotejamento e quando o cultivo em ambiente protegido é feito em solo, as hortaliças, de modo geral, apresentam melhor desempenho quando submetidas a tensões entre 10 e 30 kPa, com o sensor instalado a aproximadamente 15 cm de profundidade.

/De acordo com Carrijo et al. (1999), em solos cultivados em ambiente protegido devem ser instalados no mínimo quatro tensiômetros por área coberta, sendo dois na profundidade de maior concentração de raízes e dois no limite inferior do sistema radicular e dentro do bulbo úmido. As profundidades de instalação são de 0,10 a 0,15 m e 0,20 a 0,30 m, respectivamente. Para solos de textura média (franco argiloso ou franco arenoso), deve-se irrigar quando o tensiômetro indicar entre 10 e 15 kPa, para solos de textura fina (argiloso), entre 15 e 20 kPa e para solos de textura grossa (arenosos), entre 5 e 10 kPa. |

De acordo com Filgueira (2000), a faixa de água útil no solo deve ser mantida acima de 80% da água disponível total ao longo do ciclo da cultura, inclusive durante a colheita.

Queiroz et al. (2001) avaliaram o efeito de diferentes tensões de água no solo (10, 30, 50 e 60 kPa) sobre a alface americana (cv. *Raider*) cultivada em vaso dentro de uma casa de vegetação. Encontraram diferenças significativas em todas as variáveis estudadas, isto é, peso total por planta, peso comercial e circunferência de 'cabeça'. Observaram que quanto maior a tensão aplicada menor o peso total por planta, peso comercial e a circunferência da 'cabeça' comercial, sendo os valores máximos proporcionados pela tensão de 10 kPa (frequência de irrigação diária).

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

Vários trabalhos têm mostrado ser a tensão de água no solo indicada tanto para determinar o momento de irrigar quanto para a quantidade de água aplicada nas culturas.

Stone et al. (1988), visando verificar a profundidade de instalação dos tensiômetros como indicativos do momento de irrigar o feijoeiro e a tensão que ele suporta sem queda na produtividade, conduziram um experimento durante três anos consecutivos. As profundidades de instalação foram 0,15 e 0,30 m e as tensões estudadas foram 12,5, 25,0, 37,5, 50,0, 62,5 e 75,0 kPa. Os resultados encontrados permitiram concluir que não houve diferença significativa para a profundidade de instalação dos tensiômetros como indicativo do momento de irrigar o feijoeiro. A interação profundidade e tensão não foi significativa, mas houve efeito significativo entre as tensões. O número de grãos por vagem, número de vagens por planta e a produção de grãos decresceram com o aumento da tensão. A capacidade de campo no solo estudado foi correspondente à tensão

de 10 kPa e o turno de rega médio nos três anos foi de 16,3 dias para as tensões de 62,5 e 75 kPa. As lâminas totais aplicadas foram decrescentes em relação às tensões. Neste mesmo estudo os autores comprovaram que quanto maior a demanda evaporativa da atmosfera, menor a tensão da água no solo que a planta pode suportar sem detrimento da produção.

Guerra et al. (1994) avaliaram o comportamento do trigo desenvolvido num solo do cerrado e submetido a diferentes tensões de água no solo. Os resultados encontrados permitiram a eles concluir que a tensão de 60 kPa é indicada para se obter elevada produção de grãos e economia de água.

Trabalhando com tensões de água aplicadas na cevada na região do cerrado, Guerra (1995) observou que a máxima produção de grãos, com excelente qualidade para a indústria de malte, deu-se nos tratamentos irrigados com uma tensão de 187 kPa em todas as fases do ciclo da cultura.

Figuerêdo (1998) realizou um estudo com feijoeiro submetido às tensões de água no solo de 36, 49, 68, 154, 361 e 917 kPa com o sensor de decisão do momento de irrigar instalado a 0,10m de profundidade. Concluiu que para a obtenção de maiores produtividades, as irrigações devem ser feitas quando as leituras dos tensiômetros estiverem em torno de 37 kPa. A produtividade reduziu com o aumento das tensões, seguindo um comportamento logarítmico. Tanto Guerra et al. (1994) quanto Figuerêdo (1998) trabalharam com os valores médios das tensões alcançadas em cada tratamento.

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.

Santos (2002), em recente estudo sobre a influência de quatro tensões (10, 25, 45 e 60 kPa) sobre o crescimento e produção do pepino, concluiu que as tensões utilizadas não afetaram o diâmetro do colo das plantas. A produtividade, de modo geral, diminuiu com o aumento das tensões. Por não ter havido diferença significativa entre os tratamentos para a eficiência no uso da água na fase vegetativa, a tensão de 60 kPa foi indicada e na fase reprodutiva a maior eficiência foi proporcionada por uma tensão correspondente a 38,7 kPa.

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

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

## 2.6 Instrumentos para medição da tensão de água no solo

Quando um solo não está saturado, nele existe ar e interfaces água/ar que lhe conferem o estado de tensão (pressão negativa). A tensão da água no solo, também chamada de potencial matricial, é resultante da afinidade da água com a matriz do solo, devido às forças de adsorção e capilaridade oriundas das forças coesivas e adesivas que se desenvolvem dentro e entre as três fases do solo (Gomide, 1998). Assim, o potencial matricial do solo é um importante indicador da disponibilidade de água para as plantas.

Existem vários critérios para indicar o comportamento da água no solo, porém, a medida do potencial mátrico por meio das leituras de tensiômetros, tem

sido um dos mais utilizados, em função da facilidade de aquisição dos mesmos (Figuerêdo, 1998).

Os tensiômetros são recomendados para a utilização no limite de precisão para medidas inferiores a 75 kPa (Bernardo, 1995). Porém, teoricamente se pode medir até 100 kPa mas, na prática, acima de 80 kPa o ar começa a entrar na cápsula. Para a maioria dos solos essa tensão máxima registrada pelos tensiômetros corresponde a mais de 50% da água disponível, que é a compreendida entre a umidade na capacidade de campo e o ponto de murcha permanente (Cabello, 1996). Mas, se o pesquisador tiver interesse em medir tensões acima da faixa de uso da tensiometria, pode-se utilizar blocos de resistência elétrica (Guerra et al., 1994; Guerra, 1995; Figuerêdo, 1998; Oliveira et al., 1999).

Antes de serem levados a campo, os tensiômetros devem ser cuidadosamente testados em laboratório para fazer o ajuste das leituras, bem como evitar possíveis vazamentos. Tanto o seu preparo quanto a instalação no campo exige habilidade do operador, devendo ter o cuidado de promover um íntimo contato da cápsula com o solo. Qualquer entrada de ar prejudica seu funcionamento. Ao se usar esse instrumento para calcular a lâmina a ser aplicada, deve-se ter, para cada tipo de solo, a curva característica visando converter a tensão lida no aparelho em teor de água existente no solo (Figuerêdo, 1998). Os tensiômetros devem ser instalados de maneira que as cápsulas fiquem na região de maior concentração do sistema radicular (Azevedo et al., 1986).

Os blocos de resistência elétrica, em geral revestidos de gesso, são capazes de fornecer informações confiáveis quando a tensão da água no solo está entre 100 e 1500 kPa. Porém, deve-se ter atenção com alguns fatores que influenciam negativamente as leituras como a temperatura, salinidade do solo, características físicas do gesso utilizado na fabricação dos blocos e dispersão de corrente elétrica no solo (Gornat & Silva, 1990).

Bouyoucos (1961) realizou diversos estudos sobre os componentes do bloco de gesso tentando ajustá-lo para estimar a umidade do solo, bem como a tensão com base na resistência elétrica. Esse instrumento necessita ser calibrado em cada solo e apresenta problemas de inconsistência na distribuição do tamanho dos poros bem como perde o contato com o solo com certa frequência (Granular..., 2002). Visando reduzir esses problemas foi desenvolvido um bloco de resistência elétrica para estimar a tensão da água no solo (Larson, 1985).

Poucos estudos existem no Brasil sobre esse bloco de resistência denominado comercialmente por *watermark*<sup>®</sup>. De acordo com o fabricante (*Irrrometer Co. Inc.*, Riverside, Califórnia, EUA), ele apresenta intervalo de leitura variando de 10 a 200 kPa e, quando usado um medidor próprio, não há necessidade de calibração e a resistência elétrica é convertida em tensão de água no solo. A única exigência é o conhecimento da temperatura do solo. O medidor tem a função de medir a resistência à passagem da corrente elétrica entre dois eletrodos enterrados no solo que, por meio de equações internas, permite verificar a tensão da água. São considerados satisfatórios para o monitoramento da irrigação (Shock et al., 2002). Allen (2000) apresenta equações de calibração desse instrumento, relacionando a tensão de água no solo com a resistência elétrica e a temperatura do solo.

Irmak & Haman (2000) encontraram, em dois solos arenosos, tensões diferentes daquelas encontradas por equações de calibração para o *watermark* em estudos anteriores. Nenhuma daquelas equações estimou corretamente a tensão da água no solo. Atribuíram essa diferença há uma provável falta de interface solo-sensor, o que reduz o desempenho desse aparelho quando ele é usado em solo arenoso. Com isso, eles alertaram para a importância do solo ao se usar esse instrumento.

Shock et al. (2002), fazendo uma comparação entre tensiômetros e blocos de resistência elétrica (*Watermark*<sup>®</sup> *sensor model 200SS*), obtiveram boa

correlação entre esses sensores, na medição da tensão de água no solo, para a faixa de alcance dos tensiômetros em diversos ciclos de molhamento e secagem do solo.

## 3.0 MATERIAL E MÉTODOS

### 3.1 Caracterização da área experimental

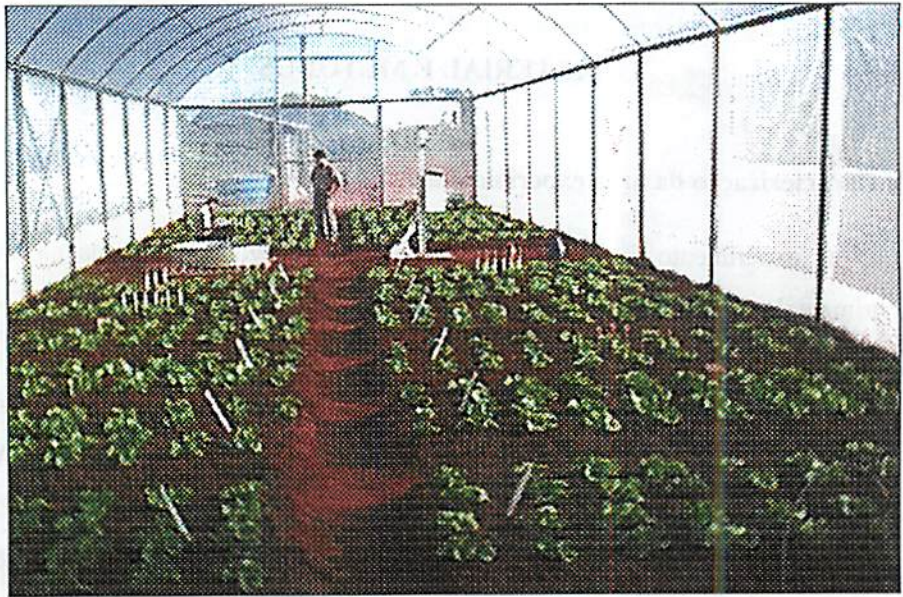
O experimento foi desenvolvido em casa de vegetação situada na área experimental do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras (UFLA), no período compreendido entre os meses de maio e julho de 2002. A UFLA situa-se no município de Lavras, sul de Minas Gerais, que está numa altitude média de 910 metros, 21°14'S, Latitude Sul e 45°00'W, Longitude Oeste.

A casa de vegetação foi construída com estrutura metálica do tipo teto em arco, apresentando 3,00 m de pé-direito, 4,50 m de altura no ponto mais alto, 30 m de comprimento e 7 m de largura (210 m<sup>2</sup>). Foi revestida na parte superior com filme plástico transparente aditivado anti-UV de 150 µm de espessura e nas laterais com tela antiafideos (Figura 1).

#### 3.1.1 Clima

De acordo com a classificação de Köppen (Antunes, 1980), a região apresenta um clima Cwa, ou seja, clima temperado suave, chuvoso, com inverno seco, temperatura média do mês mais frio inferior a 18°C e superior a 3°C; 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 1529,7 mm, bem como uma evaporação média anual de 1034,3 mm (Brasil, 1992).





**FIGURA 1** Vista geral do experimento no interior da casa de vegetação. UFLA, Lavras, MG, 2002.

### → 3.1.2 Solo

O solo foi classificado como Latossolo Vermelho Distroférico (Embrapa, 1999).

A curva característica da água do solo foi determinada no Laboratório de Relação Água-Solo-Planta do Departamento de Engenharia da UFLA. 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 dos pontos de baixa tensão (0, 2, 4, 6, 8 e 10 kPa) bem como para Câmara de Pressão de Richards para os pontos de maiores tensões (33, 100, 500 e 1500 kPa). Esse procedimento foi feito para amostras representando duas camadas de solo (0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m).

Com a utilização do modelo proposto por Van Genuchten (1980) geraram-se as equações 1 ( $r^2 = 0,9971$ ) e 2 ( $r^2 = 0,9965$ ) que descrevem o comportamento da umidade do solo em função da tensão. A partir das equações e dos valores observados foram geradas as curvas de retenção da água no solo para as duas camadas em estudo (Figura 2).

$$\theta = 0,263 + \frac{(0,458)}{\left[1 + (0,686 \times \psi)^{1,528}\right]^{0,345}} \dots\dots\dots (1)$$

$$\theta = 0,260 + \frac{(0,427)}{\left[1 + (0,696 \times \psi)^{1,563}\right]^{0,360}} \dots\dots\dots (2)$$

em que:

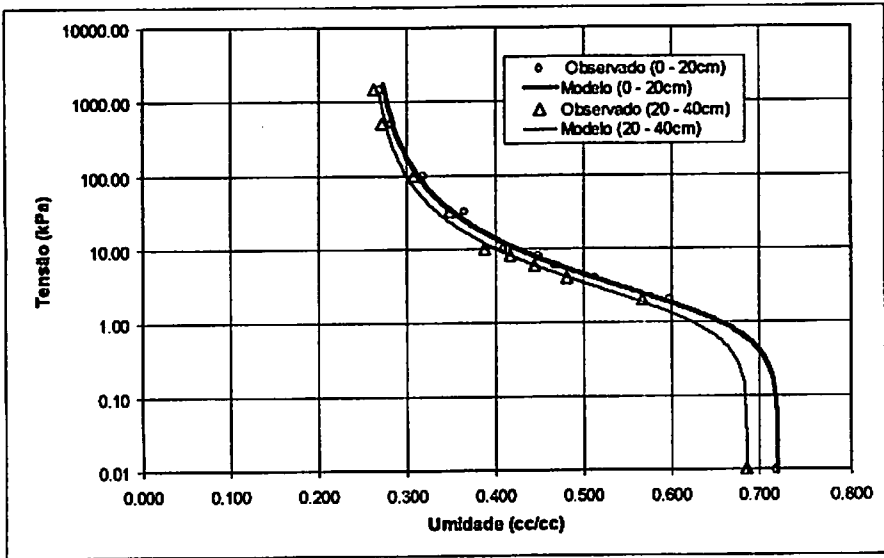
$\theta$  = umidade atual ( $\text{cm}^3.\text{cm}^{-3}$ );

$\Psi$  = tensão de água no solo (kPa).

Partindo das equações acima citadas e considerando uma tensão de água no solo correspondente a 10 kPa (Carvalho et al., 1996) foram encontrados os valores de umidade na capacidade de campo correspondentes a  $\theta_{cc} = 0,4258 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$  e  $\theta_{cc} = 0,4008 \text{ cm}^3.\text{cm}^{-3}$  para as camadas de 0 a 0,20 m e 0,20 a 0,40 m, respectivamente.

As análises físicas e de fertilidade foram realizadas no Departamento de Solos da Universidade Federal de Lavras e os resultados encontram-se na Tabela 1. Não houve necessidade de fazer a correção da acidez do solo.

Quanto ao preparo do solo, foi realizada uma aração, uma gradagem e passada enxada rotativa por duas vezes, sendo uma antes da adubação de plantio e a outra logo após, visando a incorporação do adubo.



**FIGURA 2** Curva característica de água no solo gerada, utilizando o modelo descrito por Van Genuchten (1980). UFLA, Lavras, MG, 2002.

### 3.2 Delineamento experimental e tratamentos

Foi empregado o delineamento em blocos casualizados (DBC) sendo utilizados seis tratamentos e quatro repetições. Os tratamentos constituíram-se de seis tensões de água no solo: 15 kPa (T1), 30 kPa (T2), 45 kPa (T3), 60 kPa (T4), 75 kPa (T5) e 90 kPa (T6). Para isso, foi instalada uma bateria de seis tensiômetros (três a 0,15 m e três a 0,30 m de profundidade) para monitorar as tensões de 15 a 60 kPa, sorteada entre as parcelas de cada tratamento e outra bateria de blocos de resistência elétrica fabricados pela *Irrrometer Company, Inc.*, também contendo seis blocos (três na profundidade de 0,15m e três a 0,30m de profundidade) e sorteada entre as quatro parcelas de cada tratamento para as tensões de 75 e 90 kPa (Figura 3). Foram instalados termopares nas duas profundidades em estudo, para a aquisição dos valores de temperatura do solo.

As leituras nos tensiômetros foram feitas com tensímetro de punção (Figura 4). Tanto os tensiômetros quanto os blocos foram instalados a 0,18 m da linha lateral de irrigação, 0,03 m da linha de plantas e ficaram 0,10 m distanciados entre si em cada bateria.

**TABELA 1** Análise química e física de amostras de solo coletadas na área experimental\*. UFLA, Lavras, MG, 2002.

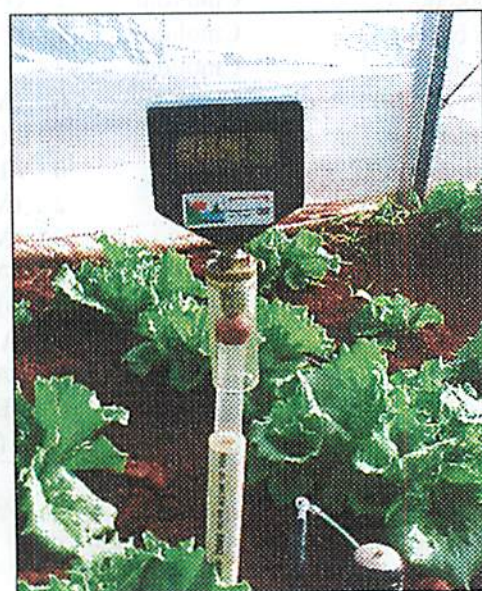
SIGLA	DESCRIÇÃO	UNIDADE	AMOSTRAS**	
			0 a 0,20m	0,20 a 0,40m
pH	Em água (1:2,5)	-	6.9 AF	6.2 AF
P	Fósforo (Mehlich 1)	mg/dm <sup>3</sup>	3.1(B)	2 MB
K	Potássio	mg/dm <sup>3</sup>	64 (M)	28 (B)
Ca	Cálcio	Cmol/dm <sup>3</sup>	3.8 (b)	2.8 (b)
Mg	Magnésio	Cmol/dm <sup>3</sup>	0.6 (M)	0.3 (B)
Al	Alumínio	Cmol/dm <sup>3</sup>	0 (MB)	0.1 (MB)
H+Al	Ac. potencial	Cmol/dm <sup>3</sup>	1.9 (B)	2.3 (B)
SB	Soma bases	Cmol/dm <sup>3</sup>	4.6 (b)	3.2 (M)
(t)	CTC efetiva	Cmol/dm <sup>3</sup>	4.6 (M)	3.3 (M)
(T)	CTC a pH 7,0	Cmol/dm <sup>3</sup>	6.5 (M)	5.5 (M)
V	Sat. bases	%	70.6 (b)	58 (M)
M	Sat. alumínio	%	0 (MB)	3 (MB)
MO	Mat. orgânica	dag/kg	2.2 (M)	2 (B)
P-rem	Fósforo remanescente	mg/L	6.0 (MB)	5.2 (MB)
Zn	Zinco	mg/dm <sup>3</sup>	3.1 (A)	1.8 (b)
Fé	Ferro	mg/dm <sup>3</sup>	42 (b)	46 (A)
Mn	Manganês	mg/dm <sup>3</sup>	42 (A)	33 (A)
Cu	Cobre	mg/dm <sup>3</sup>	4.5 (A)	4.1 (A)
B	Boro	mg/dm <sup>3</sup>	0.3 (B)	0.4 (M)
S	Enxofre	mg/dm <sup>3</sup>	44.8 (mb)	92.1 (mb)
Areia	-	dag/kg	13	12
Silte	-	dag/kg	26	23
Argila	-	dag/kg	61	65
Textura	Classe textural	-	M.A.	M. A.
Ms	Massa específica solo	Mg/m <sup>3</sup>	1,09	1,06

\*Realizadas no DCS/UFLA

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



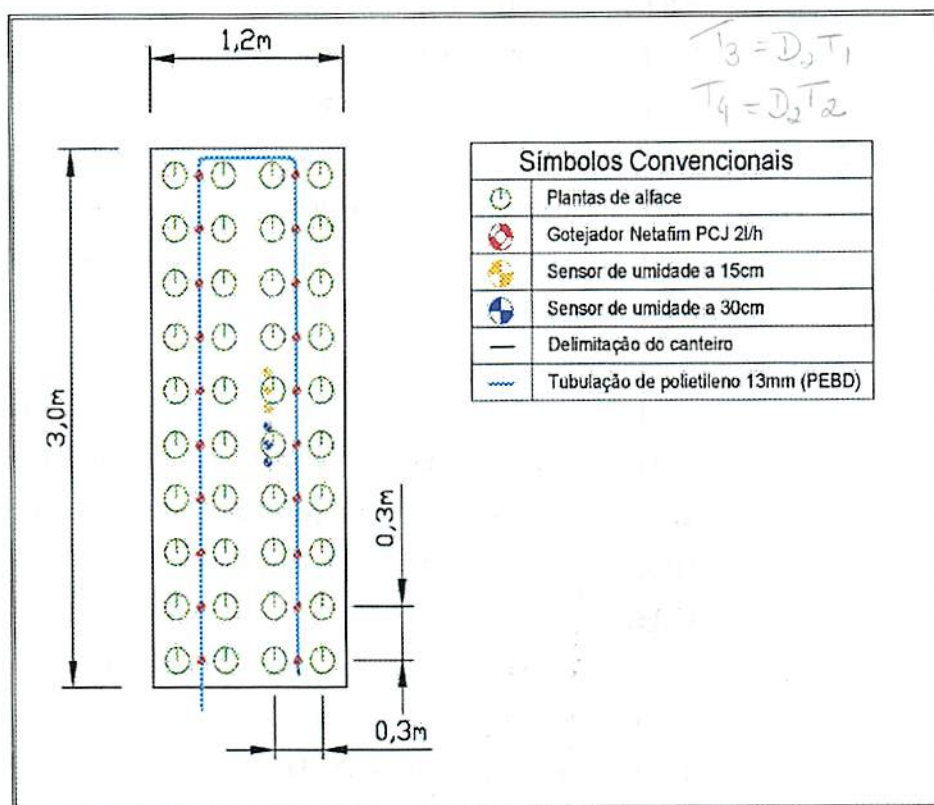
**FIGURA 3** Bloco de resistência elétrica (detalhe) e medidor digital. UFLA, Lavras, MG, 2002.



**FIGURA 4** Tensímetro de punção inserido em um tensiômetro. UFLA, Lavras, MG, 2002.



As parcelas experimentais apresentaram as dimensões de 1,20m de largura e 3,00m de comprimento (3,6 m<sup>2</sup>). Foram utilizadas quatro linhas de plantas espaçadas de 0,30m entre si e 0,30m entre plantas, dando um total de 40 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 1,08 m<sup>2</sup> e 12 plantas). A Figura 5 tem representado o esquema de uma parcela experimental, incluindo a disposição dos sensores de umidade.



**FIGURA 5** Esquema de uma parcela experimental com o sistema de irrigação implantado e os sensores de umidade. UFLA, Lavras, MG, 2002.

### 3.3 Equipamento e manejo da irrigação

Foi adotado, para a aplicação dos tratamentos, um sistema de irrigação por gotejamento, sendo os emissores com inserção sobrelinha e distanciados entre si de 0,30m. Esses emissores (Netafim, modelo PCJ 2,0 L.h<sup>-1</sup>) foram testados e mantinham uma vazão de 1,99 L.h<sup>-1</sup> em uma faixa de pressão de 5 a 35 mca (metros de coluna d'água). Cada parcela experimental possuía uma linha lateral (PEBD) de irrigação com diâmetro nominal de 13 mm e 20 emissores inseridos. Essa linha lateral ficou disposta na parcela de forma a atender duas fileiras de plantas, conforme mostrou a Figura 5.

As linhas laterais foram conectadas diretamente às linhas principais de PVC (DN35; PN40) que tinham no seu início válvulas de comando elétrico, localizadas na saída do cabeçal de controle. Foi utilizada uma válvula para cada tratamento. /Essas válvulas foram acionadas por um controlador previamente programado em cada irrigação para funcionar o tempo necessário para repor a lâmina acusada, indiretamente, pelos sensores de umidade. /Buscava-se, em todas as irrigações, levar à capacidade de campo a umidade correspondente à tensão verificada no momento de irrigar. Visando conferir se a lâmina aplicada estava de acordo com a calculada foi instalado no cabeçal de controle um medidor de vazão (leitura mínima = 1,0 L.h<sup>-1</sup>; precisão = 2% para uma faixa de vazão de 100,0 L.h<sup>-1</sup> a 5.000,0 L.h<sup>-1</sup>) uma vez, que na automação por tempo, deve-se tomar esse cuidado (Cabello, 1996) /

O cálculo do tempo de funcionamento do sistema de irrigação em cada tratamento foi feito com base nos sensores de umidade instalados tanto na profundidade de 0,15 m quanto na de 0,30 m. O momento de irrigar foi estabelecido como sendo aquele em que a média das tensões registradas nos três sensores instalados a 0,15 m de profundidade chegava próxima à tensão estabelecida para os tratamentos. No caso dos tensiômetros, as leituras eram fornecidas em 'bar' uma vez que foi usado um tensímetro de punção com essa

unidade para fazê-las e, a seguir, foram transformadas para kPa e aplicadas na equação 3 para determinação da tensão de água no solo. Já os blocos forneciam as tensões diretamente em kPa.

$$\Psi = L - 0,098 * h \dots\dots\dots(3)$$

em que:

$\psi$  = tensão de água no solo (kPa);

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

h = altura desde o ponto da leitura no tensiômetro até o centro da cápsula porosa (cm). Nesse caso, foi de 43,0 e 58,0 cm para as profundidades 0,15 e 0,30 m, respectivamente.

Com as tensões observadas calculavam-se as umidades correspondentes a partir das curvas características (equações 1 e 2). De posse dessas umidades e com a correspondente à capacidade de campo e, ainda, considerando a profundidade do sistema radicular (0,30 m) que foi estratificada em duas subcamadas (0,0 a 0,20 m e 0,20 a 0,30 m para as tensões a 0,15 m e 0,30 m, respectivamente), eram calculadas as lâminas de reposição (equação 4, 5 e 6) e, finalmente, o tempo de funcionamento do sistema de irrigação (equação 9) de acordo com Cabello (1996). A lâmina bruta média (equação 6) foi obtida a partir da média de três valores em cada profundidade de instalação dos sensores. As leituras nos sensores foram feitas diariamente entre 8 e 9 horas.

$$LL = (\theta_{cc} - \theta_{atual}) * z \dots\dots\dots(4)$$

$$LB = \frac{LL}{(1 - k) * CU} \dots\dots\dots(5)$$



$$LB_{\text{média}} = LB_{\text{média}15\text{cm}} + LB_{\text{média}30\text{cm}} \dots\dots\dots(6)$$

em que:

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

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

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

z = profundidade do sistema radicular estratificada em duas subcamadas (200 mm para a de 0 a 0,20 m e 100 mm para a de 0,20 a 0,30 m);

LB = Lâmina bruta de irrigação (mm);

k = constante que leva em conta a salinização do solo, bem como a eficiência de aplicação do sistema. É determinado encontrando-se o maior valor nas equações que seguem:

$$k = 1 - Ea \dots\dots\dots(7)$$

$$k = LR = \frac{CEi}{(5 * CEe - CEi)} \dots\dots\dots(8)$$

em que:

Ea = eficiência de aplicação de água do sistema de irrigação considerada como 0,90;

LR = lâmina necessária para lavagem do solo, caso tenha problema com salinidade;

CEi = condutividade elétrica da água de irrigação ( $\text{dS}.\text{m}^{-1}$ ); 0,05  $\text{dS}.\text{m}^{-1}$  (valor encontrado por Costa, 2000);

CEe = Condutividade elétrica do extrato de saturação do solo ( $\text{dS}.\text{m}^{-1}$ ); assumida como sendo 1,3  $\text{dS}.\text{m}^{-1}$  (Gomes et al., 1999);

CU = coeficiente de uniformidade do sistema de irrigação (0,89);

LB<sub>média</sub> = soma das lâminas brutas médias obtidas a 0,15 m e 0,30 m;

$LB_{m\u00e9dia15cm}$  = m\u00e9dia das quantidades totais de \u00e1gua (mm) proporcionadas pela curva caracter\u00edstica de 0 a 0,20 m e as tr\u00eas tens\u00f5es, \u00e0 profundidade de 0,15 m;

$LB_{m\u00e9dia30cm}$  = m\u00e9dia das quantidades totais de \u00e1gua (mm) proporcionadas pela curva caracter\u00edstica de 0,20 a 0,40 m e as tr\u00eas tens\u00f5es, \u00e0 profundidade de 0,30 m;

$$T = \frac{LB_{m\u00e9dia} * Sp}{e * qa} \dots\dots\dots(9)$$

em que:

$T$  = tempo de funcionamento do sistema de irriga\u00e7\u00e3o em cada tratamento, visando elevar a unidade \u00e0 capacidade de campo (h);

$Sp$  = \u00e1rea ocupada por planta (0,09 m<sup>2</sup>);

$e$  = n\u00famero de emissores por planta (0,5);

$qa$  = vaz\u00e3o m\u00e9dia dos emissores (L.h<sup>-1</sup>).

Foram realizados testes para a determina\u00e7\u00e3o da vaz\u00e3o nominal do gotejador e do coeficiente de uniformidade de distribui\u00e7\u00e3o de \u00e1gua do sistema de irriga\u00e7\u00e3o. Para isso foi adaptado o procedimento recomendado por Merriam & Keller (1978), citados por Cabello (1996), em que se escolhe uma subunidade e nela se selecionam quatro laterais: a primeira, a situada a 1/3 do in\u00edcio, a situada a 2/3 e a \u00faltima. Em cada lateral, se selecionam quatro emissores, o primeiro, o situado a 1/3, o situado a 2/3 e o \u00faltimo. S\u00e3o coletadas vaz\u00f5es desses emissores e, a partir da equa\u00e7\u00e3o 10, \u00e9 calculado o coeficiente de uniformidade.

No caso do sistema de irriga\u00e7\u00e3o em quest\u00e3o, os tratamentos eram as subunidades. Como cada tratamento tinha quatro laterais, todas foram usadas no teste. Foram usados apenas os tratamentos quatro (60 kPa) e cinco (75 kPa), sendo empregados os emissores 1, 7, 13 e 20 de cada lateral.

$$CU = \frac{q_{25}}{q_a} \dots\dots\dots(10)$$

em que:

CU = coeficiente de uniformidade de distribuição;

$q_{25}$  = média das 25% menores vazões coletadas (L.h<sup>-1</sup>);

$q_a$  = média das vazões coletadas (L.h<sup>-1</sup>).

Além do coeficiente de uniformidade foi determinado também o coeficiente de variação total 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. 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.

### 3.4 Obtenção das mudas e cultivar empregada

Por ser bastante utilizada pelos produtores em Lavras e região e com possibilidade de ser cultivada durante todo o ano nesses locais, utilizou-se, neste experimento, a alface americana cv. *Raider*. As mudas foram doadas por um produtor do município de Cristais, MG, as quais foram semeadas no dia 25 de abril de 2002. Foram cultivadas em bandejas de isopor de 200 células sobre o substrato comercial Plantmax HT, próprio para o cultivo da alface. Decorridos 30 dias da semeadura, ocasião em que as mudas apresentavam por volta de 4 folhas definitivas, efetuou-se o transplântio.

### 3.5 Condução do experimento

Desde o transplântio (25/05) até o início da diferenciação dos tratamentos (06/06) foram feitas aplicações diárias de água com o auxílio de regador. As lâminas aplicadas podem ser observadas na Tabela 2.

**TABELA 2** Lâminas aplicadas na alface desde o transplântio até o início da diferenciação dos tratamentos. UFLA, Lavras, MG, 2002.

<b>Data</b>	<b>Lâmina aplicada (mm)</b>
25/05	4,17
26/05	4,17
27/05	6,11
28/05	4,17
29/05	4,17
30/05	4,17
31/05	4,17
01/06	2,50
03/06	4,17
05/06	4,17
<b>Total</b>	<b>41,97</b>

### 3.6 Práticas culturais

#### 3.6.1 Adubação

A adubação básica foi realizada nove dias antes do transplântio, tendo sido aplicadas quantidades com base na Tabela 1 e de acordo com Gomes et al. (1999). Foram aplicados 20 Mg.ha<sup>-1</sup> de esterco de galinha curtido; 420 kg.ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> cuja fonte foi o superfosfato simples; 1 kg.ha<sup>-1</sup> de B sendo o ácido bórico empregado como fonte desse elemento; 40 kg.ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O utilizando-se o

nitrato de potássio; 3 kg.ha<sup>-1</sup> de Zn, sendo empregado como fonte o sulfato de zinco. As fontes foram aplicadas a lanço em área total e, a seguir, incorporadas com enxada rotativa à profundidade de 20 cm.

Toda a adubação de cobertura foi feita via fertirrigação e seguindo as recomendações da 5ª aproximação (Gomes et al., 1999). Só que, devido ao tipo de experimento (não se tinha uma mesma frequência de irrigação), tornou-se possível a divisão das quantidades dos nutrientes em apenas quatro aplicações, de acordo com o momento de irrigar. O nitrato de potássio foi utilizado como fonte de potássio (80 kg.ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O) e, para complementar a dose de nitrogênio (160 kg.ha<sup>-1</sup>) foi usado o nitrato de cálcio em três aplicações e a uréia em uma aplicação. O emprego principalmente do nitrato de potássio e o do nitrato de cálcio ocorreu em função das suas solubilidades serem relativamente altas, seus índices de salinidade serem relativamente baixos (31 e 61, respectivamente). No caso do nitrato de cálcio, por ser também fonte de cálcio (18% de Ca) previne contra o distúrbio fisiológico *Tipburn*, provocado principalmente pela deficiência de cálcio (Alvarenga, 1999).

### 3.6.2 Controle de plantas daninhas

Durante o experimento foram feitas duas capinas manuais. A primeira foi realizada nove dias após o transplântio e o repasse (retirada manual das plantas daninhas dos canteiros) uma semana depois.

### 3.6.3 Controle fitossanitário

Durante a condução do experimento, houve ocorrência de míldio (*Bremia lactuca* L.). Assim, visando impedir o avanço da doença, foi feito o controle químico utilizando produtos recomendados para a cultura (Pavan & Kurozawa, 1997).

### **3.7 Variáveis analisadas**

A colheita foi realizada quando as plantas completaram seu máximo desenvolvimento vegetativo. Isto foi feito do dia 16 ao dia 19 de julho de 2002, sendo colhido um bloco por dia e procedendo imediatamente as avaliações, exceto a altura das plantas, que foi feita no dia 16.

#### **3.7.1 Altura de plantas**

As folhas das plantas localizadas na parcela útil foram levantadas e, com o auxílio de uma trena, mediu-se a altura (cm) desde a superfície do solo. Foram usadas médias de doze plantas.

#### **3.7.2 Número de folhas externas e internas por planta**

Após a pesagem da parte aérea total de cada planta, retiraram-se as folhas externas, que foram contadas e pesadas em balança digital com precisão de 0,01 g e os resultados foram expressos em gramas com média de doze plantas. São consideradas folhas externas aquelas mais escuras. Apresentam gosto amargo e não têm importância comercial para a indústria (Mota, 1999).

Após a pesagem da parte comercial, as folhas foram retiradas para contagem.

#### **3.7.3 Peso da cabeça comercial**

Após a retirada das folhas externas, tem-se a parte comercial para a indústria (cabeça). A cabeça geralmente apresenta-se compacta, de coloração creme e com nervuras salientes. Esta parte foi pesada em balança digital com precisão de 5 g e os resultados foram expressos em gramas, representados pela média de doze plantas.

### 3.7.4 Circunferência da cabeça

Após o peso da cabeça comercial, com o auxílio de uma fita métrica, efetuou-se a medida da sua circunferência com os resultados médios (12 plantas) expressos em cm.

### 3.7.5 Diâmetro do caule

Foi medido com paquímetro quando a cabeça comercial ainda estava intacta. Os resultados foram representados pela média de doze plantas e expressos em mm.

### 3.7.6 Teor de matéria seca da parte aérea

Quatro plantas previamente sorteadas, depois de pesadas em balança digital com 5 g de precisão, foram pré-secadas na casa de vegetação e levadas para estufa à temperatura de 65°C com circulação forçada de ar por 72 horas para determinação da massa seca. Com a equação 11 descrita por Alvarenga (1999) determinou-se o teor de matéria seca.

$$TMSPA = 100 * \frac{MSPA}{MFPA} \dots\dots\dots (11)$$

em que:

TMSPA = teor de matéria seca da parte aérea (%);

MSPA = matéria seca da parte aérea (g);

MFPA = matéria fresca da parte aérea (g).

### 3.7.7 Teor de matéria seca da cabeça comercial

Foram tomados pesos da parte comercial de quatro plantas. Estas foram pré-secadas dentro da casa de vegetação por 4 dias, em média. Em seguida,

foram acondicionadas em sacos de papel e levadas para estufa com circulação forçada de ar à temperatura de 65°C onde ficaram por 72 horas. A partir dos valores médios de massa seca e massa fresca determinados em função de quatro plantas foi calculado o teor de matéria seca da cabeça comercial pela equação 12.

$$TMSPC = 100 * \frac{MSPC}{MFPC} \dots\dots\dots (12)$$

em que:

TMSPC = teor de matéria seca da cabeça comercial (%);

MSPC = matéria seca da cabeça comercial (g);

MFPC = matéria fresca da cabeça comercial (g).

### 3.7.8 Produtividade total e comercial

Com base nas dimensões das parcelas e considerando o espaço entre elas, estimou-se a população de plantas por hectare. O valor encontrado foi de 74.600 plantas. A partir das médias de massa fresca, tanto da parte total quanto da comercial, obtidas de doze plantas em cada parcela, estimaram-se as produtividades total e comercial, respectivamente. Os resultados foram expressos em Mg.ha<sup>-1</sup>.

### 3.7.9 Comprimento do sistema radicular e matéria seca

As mesmas quatro plantas sorteadas para determinação da matéria seca da parte aérea tiveram suas raízes arrancadas para determinação do comprimento e teor de matéria seca. A retirada foi feita com enxadão, procurando-se buscar o máximo de raízes. Depois de retiradas, elas foram lavadas sobre peneira, enxugadas, colocadas para medir o comprimento da maior raiz com auxílio de trena, pesadas em balança com 0,01 g de precisão, acondicionadas em sacos de



papel e levadas para estufa com circulação forçada de ar a 65°C por 72 horas para determinação da matéria seca. O teor de matéria seca foi feito com base na equação 13.

$$TMSraizes = 100 * \frac{MSraizes}{MFraizes} \dots\dots\dots (13)$$

em que:

TMSraizes = teor de matéria seca das raízes (%);

MSraizes = matéria seca das raízes (g);

MFraizes = matéria fresca das raízes (g).

### 3.7.10 Eficiência no uso da água (EUA)

Encontrada em função da produtividade total (kg.ha<sup>-1</sup>) e a quantidade de água consumida pela cultura (mm) em cada tratamento durante o ciclo.

### 3.8 Análise estatística

Após análise de variância pelo teste F (nível mínimo de 5% de significância), as variáveis foram submetidas à análise de regressão ao mínimo de 5% de significância. Os dados obtidos foram executados no software SISVAR para Windows, versão 4.0 (Ferreira, 2000).

Os coeficientes de determinação de cada regressão foram submetidos ao teste t, ao mínimo de 5% de significância, tendo n = 6.

## 4.0 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Resultados gerais do experimento

#### 4.1.1 Condições climáticas na casa de vegetação

No período em que o experimento foi conduzido, a temperatura média do ar no interior da casa de vegetação foi de 18,5°C, as mínimas atingidas ficaram entre 10°C e 15°C e as máximas entre 25°C e 30°C (Figura 6). A temperatura média está de acordo com a citada por Sanders ([1999?]) e Yuri (2000) para a obtenção de ótimos rendimentos da alface, que é a faixa compreendida entre 15°C e 20°C. As temperaturas mínimas abaixo de 15°C favorecem o desenvolvimento vegetativo da cultura (maior produtividade). Já em relação à umidade relativa do ar, seus valores médios, mínimos e máximos podem ser observados na Figura 7. A umidade relativa média no período foi 72,3%. Esses dados foram coletados por meio de uma estação agrometeorológica automática portátil (*Elle International* modelo MM 900) instalada no interior da casa de vegetação, na qual os valores de temperatura e umidade relativa do ar foram armazenados a cada meia hora no decorrer do experimento.

No interior da casa de vegetação foi instalado também um tanque Classe A (TCA), com o intuito apenas de verificar a evaporação ocorrida. Os resultados encontram-se na Figura 8 e foram coletados diariamente entre 8 e 9 horas. A evaporação média diária no período foi 2,3 mm. A evaporação média diária observada na estação meteorológica, localizada a aproximadamente 500 m da casa de vegetação, foi 3,6 mm. Evidencia, portanto, menor consumo de água no interior da casa de vegetação, pois a evaporação diária ocorrida no seu interior foi, em média, 1,3 mm abaixo da ocorrida a céu aberto.

FIGURA 7 Umidade relativa (%) mínima, média e máxima ocorrida no interior da casa de vegetação. UFLA, Lavras, MG, 2002.

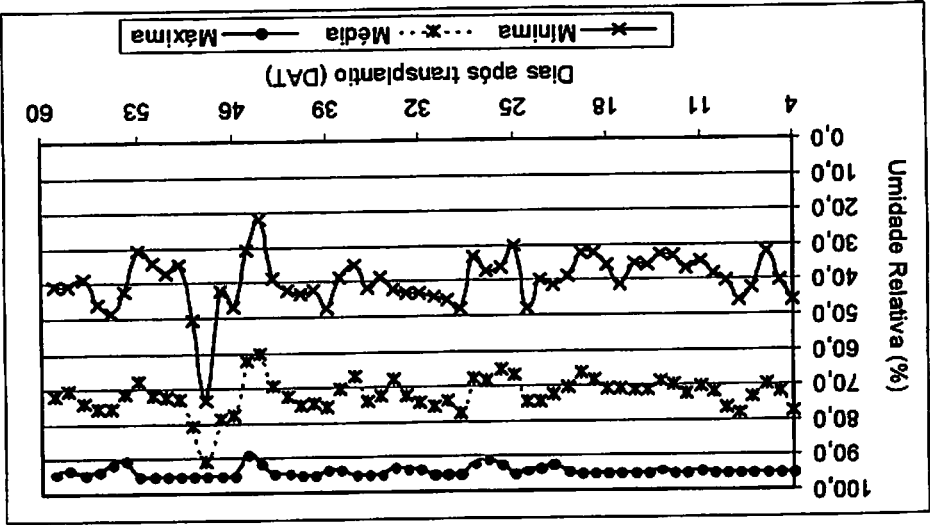
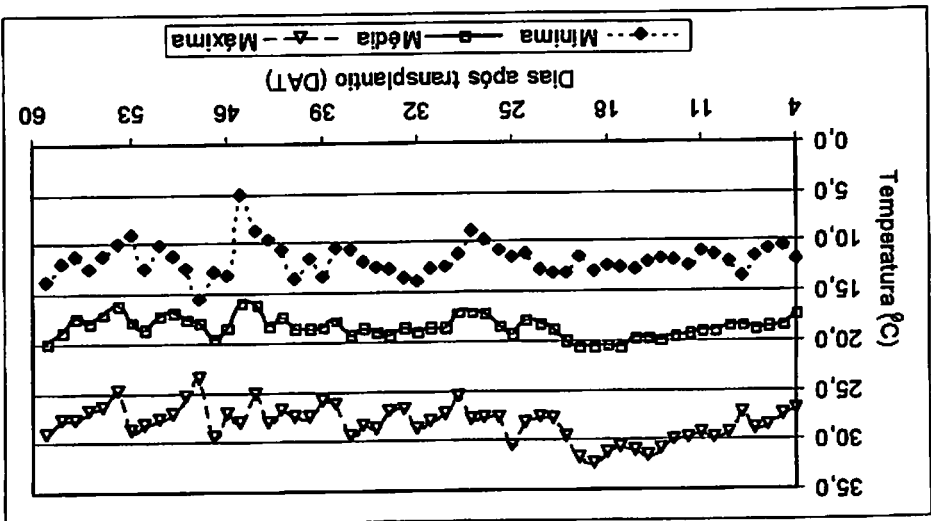
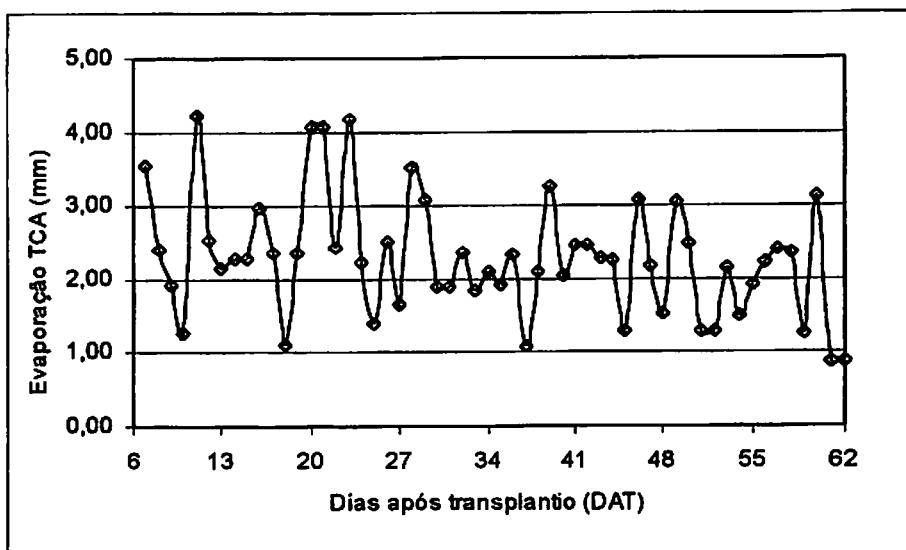


FIGURA 6 Temperatura (°C) mínima, média e máxima do ar ocorrida no interior da casa de vegetação. UFLA, Lavras, MG, 2002.





**FIGURA 8** Evaporação no tanque Classe A (mm) instalado no interior da casa de vegetação. UFLA, Lavras, MG, 2002.

#### 4.1.2 Avaliação do sistema de irrigação

Como os emissores tinham uma faixa de compensação de vazão compreendida entre as pressões de 5 e 35 mca, procurou-se manter a pressão de funcionamento no final das linhas laterais próximo a 15 mca, por meio de uma válvula reguladora de pressão instalada no cabeçal de controle.

Os tratamentos T4 e T5 foram submetidos ao teste de uniformidade de vazão. A pressão de funcionamento média no final das laterais logo após o último emissor foi de 15,5 mca. A vazão média encontrada foi de 1,99L.h<sup>-1</sup> estando, portanto, muito próxima ao valor indicado pelo fabricante.

Calculou-se também o coeficiente de variação total de vazão (CVt). O valor encontrado foi de 0,09, indicando uma excelente uniformidade de vazão nos tratamentos. O CVt é um dos parâmetros usados para diagnosticar

problemas de uniformidade em campo. O coeficiente de uniformidade encontrado foi de 89,29%.

#### 4.1.3 Tensões e lâminas aplicadas

Os tratamentos de tensão apresentaram valores diferentes do estabelecido no início do experimento. Assim, de forma análoga a Figuerêdo (1998), optou-se por tomar um valor médio das tensões na profundidade de 0,15m, as quais indicavam o momento de irrigar, apesar desses valores terem ficado próximos aos estabelecidos. Estas médias podem ser observadas na Tabela 3.

Visando o estabelecimento da cultura foram feitas irrigações diárias, com o auxílio de regador manual, até 11 dias após o transplântio (DAT) totalizando 42 mm de lâmina de água aplicada em cada tratamento (Tabela 3). Aos 12 DAT foram aplicadas lâminas diferenciadas (Adic), visando uniformizar a umidade no solo para então iniciar a diferenciação dos tratamentos. Nessa irrigação, também foi feita a primeira fertirrigação potássica e nitrogenada em todas as parcelas.


As lâminas de água aplicadas após o início da diferenciação dos tratamentos (Irrig), bem como os totais aplicados (Tot), computados desde o transplântio da cultura também podem ser verificados na Tabela 3. Nota-se que a maior lâmina foi a do tratamento T3.

**TABELA 3** Tensões de água no solo estabelecidas (Estab) e observadas (Obs) no início das irrigações, à profundidade de 0,15m, lâminas aplicadas antes de diferenciar os tratamentos (Iníc e Adic), durante o ciclo (Irrig), total (Tot) e média por irrigação (mpi) com o desvio padrão, intervalo médio entre irrigações (TR) com o desvio padrão e número de irrigações (NI). UFLA, Lavras, MG, 2002.

Tensão (kPa)		Lâmina (mm)					TR (dia)	NI
Estab	Obs	Iníc	Adic	Irrig	Tot	mpi		
15 (T1)	15,0	42,0	17,2	93,4	152,7	7,8 (1,6)	3,3 (1,1)	12
30 (T2)	30,4	42,0	17,8	86,4	146,2	21,6 (1,4)	8,0 (1,6)	4
45 (T3)	43,4	42,0	17,9	107,3	167,2	26,8 (1,2)	8,3 (2,6)	4
60 (T4)	57,7	42,0	19,6	98,4	160,0	32,8 (0,5)	11,3 (2,3)	3
75 (T5)	75,5	42,0	11,5	75,5	128,9	37,7 (0,6)	19,5 (0,7)	2
90 (T6)	89,0	42,0	6,8	39,9	88,7	39,9	25	1

As lâminas de irrigação foram determinadas para cada tratamento, considerando as tensões observadas nas profundidades de 0,15 m e 0,30 m, considerando valores das subcamadas de 0 a 0,20 e 0,20 a 0,30 m, respectivamente. Provavelmente, a maior lâmina obtida no tratamento T3 em relação ao T2 se deve aos maiores valores das tensões na profundidade de 0,30 m, no momento de irrigar, estarem próximas a 20 kPa (Figura 9). Em relação ao T4 esses valores foram maiores, provavelmente por ter havido uma irrigação a mais.

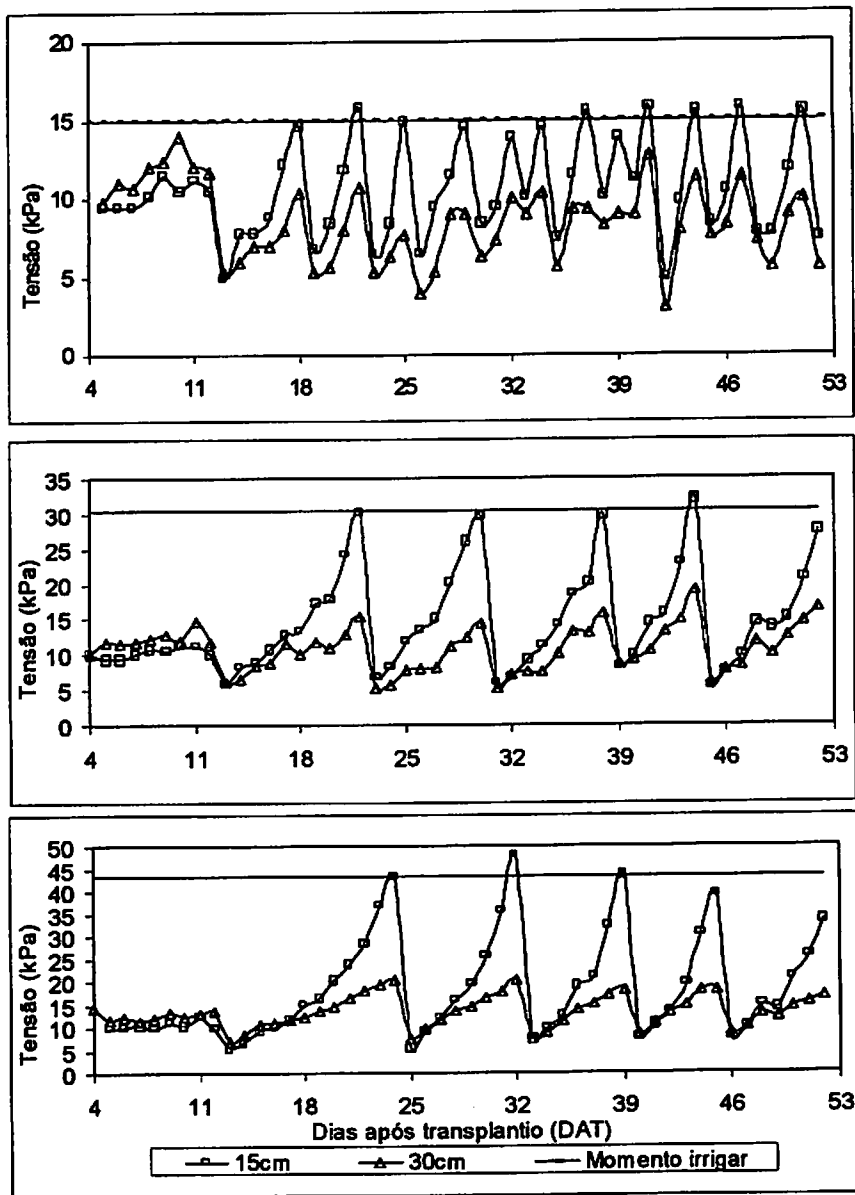
As quantidades médias de água aplicadas por irrigação (mpi) foram diferentes, sendo menores nos tratamentos com tensões mais baixas. Assim, os



tratamentos com tensões mais baixas apresentaram uma maior frequência de irrigação ao longo do ciclo da cultura e o sistema de irrigação foi acionado mais vezes, como pode ser observado no número de irrigações (NI). Essa tendência também foi observada por Stone et al. (1988), Guerra (1995) e Oliveira et al. (1999).

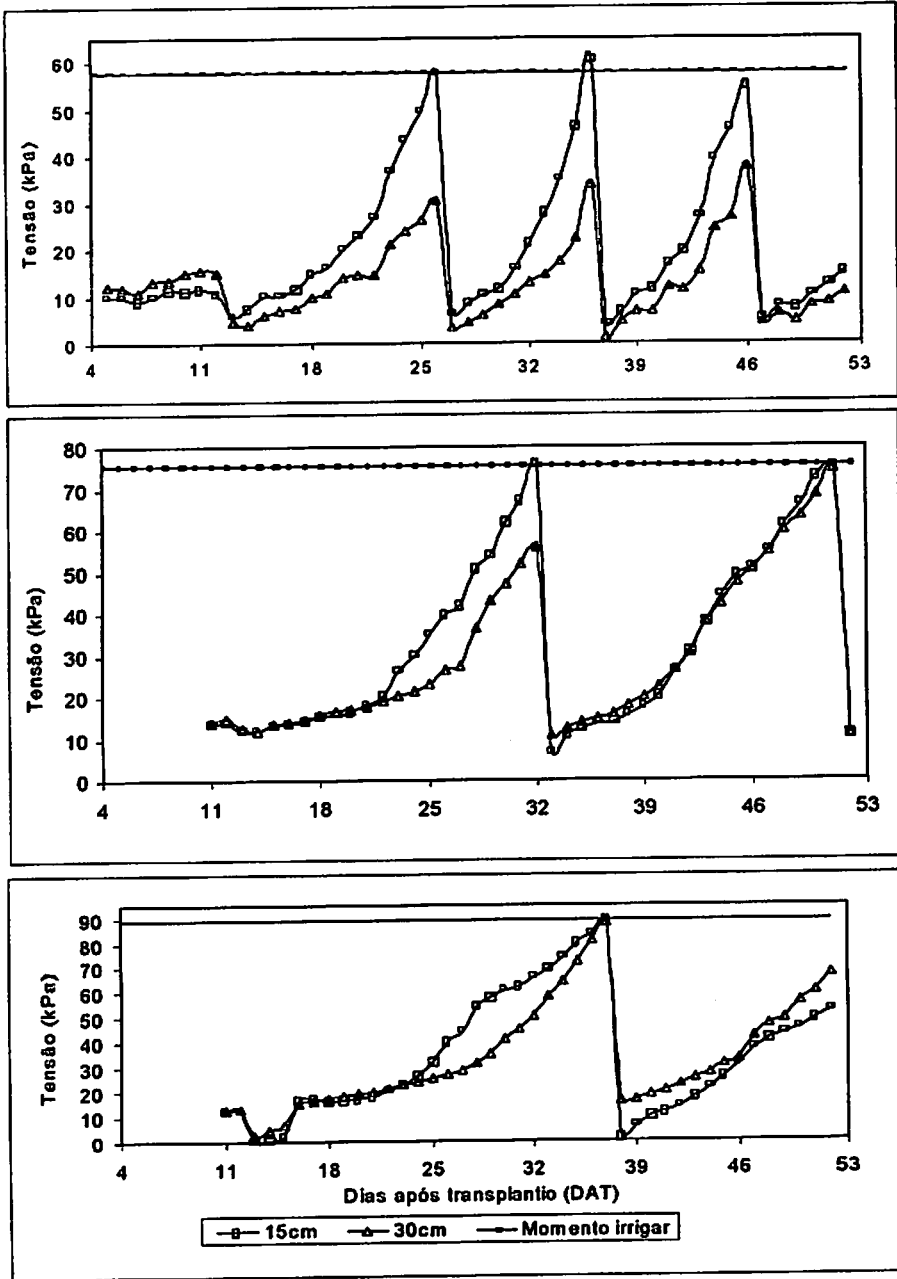
Na Figura 9 e na Figura 10 estão representadas as tensões matriciais médias registradas pelos sensores de umidade instalados, tanto na profundidade de 0,15m para a tomada de decisão quanto os instalados na profundidade de 0,30m para o controle das lâminas de irrigação aplicadas. Os valores das tensões que geraram essas figuras podem ser observados nas Tabelas 1A e 2A.

Nessas figuras, pode-se visualizar o número de irrigações realizadas. Quanto menor a tensão para que fossem iniciadas as irrigações, mais frequentes foram as mesmas, menores foram os picos, sendo a tensão da água no solo mantida dentro de uma faixa mais estreita.



**FIGURA 9** Variação das tensões da água no solo nos tratamentos T1, T2 e T3 em duas profundidades ao longo do ciclo da alface americana. UFLA, Lavras, MG, 2002.





**FIGURA 10** Variação das tensões da água no solo nos tratamentos T4, T5 e T6 em duas profundidades ao longo do ciclo da alface americana. UFLA, Lavras, MG, 2002.

## 4.2 Avaliação da altura de plantas

A altura das plantas foi bastante influenciada pelas diferentes tensões de água aplicadas no solo. Para essa variável, o DBC, a 5% de probabilidade, não se mostrou eficiente, não justificando, portanto, o controle local, ou seja, o delineamento neste caso poderia ser o inteiramente casualizado (Tabela 4). As variações ocorridas para a altura de plantas são explicadas por uma regressão linear simples com o nível de significância de 1%, apesar também de haver uma outra regressão que explique essas variações uma vez que os desvios são significativos a 5% de probabilidade. A altura média obtida foi 25,6 cm.

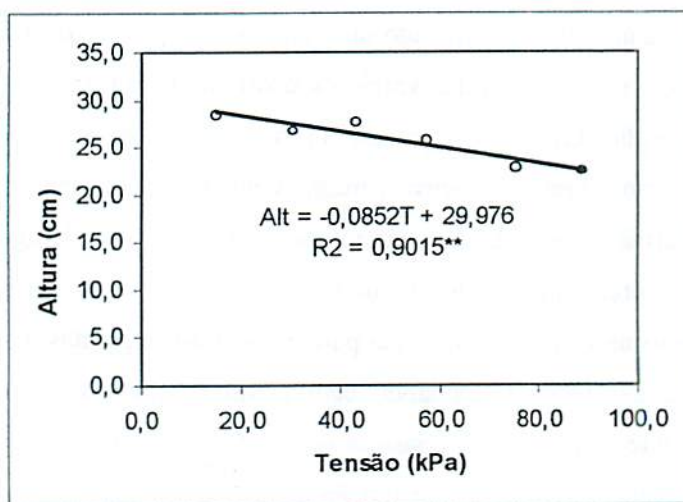
De acordo com a equação apresentada na Figura 11, há forte evidência de que o aumento da tensão da água no solo em uma unidade implicará redução de 0,0852 cm na altura das plantas de alface para o intervalo estudado (15,0 a 89,0 kPa). Isso quer dizer que quanto mais próxima à tensão correspondente à capacidade de campo do solo estudado mais altas são as plantas de alface. Ainda pode-se observar que 90,15% das variações ocorridas na altura em função das tensões são explicadas pela regressão linear. Assim, a umidade no solo favoreceu de forma direta o desenvolvimento vegetativo dessa cultura. Como a absorção de nutrientes está diretamente relacionada com o teor de água no solo, houve maior absorção, principalmente do nitrogênio, em relação aos tratamentos com tensões mais altas, o que contribuiu para a obtenção de plantas mais altas.

Figuerêdo (1998), trabalhando com altura de plantas de feijoeiro na colheita, durante três anos consecutivos, observou um comportamento logaritmico da altura de plantas em função das tensões de água no solo no ano de 1991.

**TABELA 4** Resumo da análise de variância e de regressão para altura de plantas de alface. UFLA, Lavras, MG, 2002.

Fonte de Variação	G. L.	Q. M.
		Altura (cm)
Bloco	3	0,58 <sup>ns</sup>
Tensão	5	24,90 <sup>**</sup>
Resíduo	15	1,16
Média	-	25,6
C. V. (%)	-	4,21
Linear	1	112,22 <sup>**</sup>
Quadrática	1	2,65 <sup>ns</sup>
Ln	1	0,012 <sup>ns</sup>
Desvios	2	4,80 <sup>*</sup>
Resíduo	15	1,16

<sup>\*\*</sup> e <sup>\*</sup> significativo a 1% e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente  
<sup>ns</sup> não significativo



**FIGURA 11** Altura de plantas influenciada por diferentes tensões de água no solo. UFLA, Lavras, MG, 2002.

### 4.3 Parte aérea

As tensões de água no solo empregadas no experimento exerceram influência, a 1% de significância, pelo teste F, no número de folhas externas, matéria fresca da parte comercial, circunferência da parte comercial e diâmetro do caule e, a 5% de significância, para o número de folhas internas (Tabela 5).

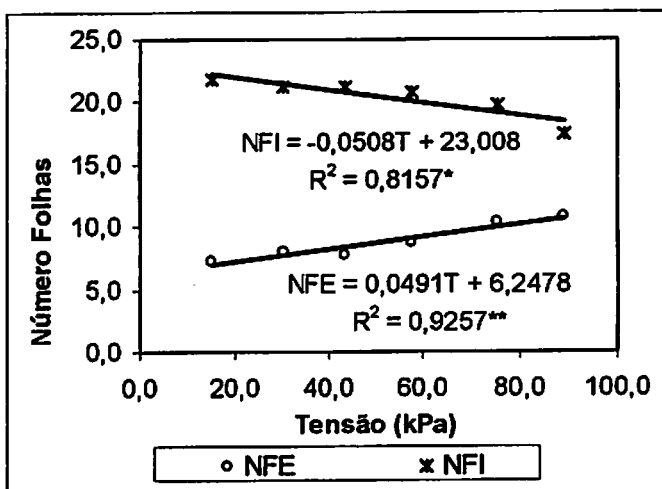
No caso do número de folhas externas, bem como as internas, as diferenças podem ser explicadas por uma regressão linear, a 1% de probabilidade. A relação entre número de folhas externas e tensão é direta, isto é, há uma tendência de aumento no número de folhas com o aumento das tensões (Figura 12).

**TABELA 5** Resumo da análise de variância e de regressão para número de folhas externas (NFE), número de folhas internas (NFI), matéria fresca da parte comercial (MFPC; g), circunferência da parte comercial (CircPC; cm) e diâmetro do caule (DC; mm) de plantas de alface. UFLA, Lavras, MG, 2002.

Fonte de variação	G. L.	Q. M.				
		NFE	NFI	MFPC	CircPC	DC
Bloco	3	3,15 <sup>ns</sup>	1,38 <sup>ns</sup>	2903,00 <sup>ns</sup>	15,16 <sup>ns</sup>	3,25 <sup>ns</sup>
Tensão	5	8,04 <sup>**</sup>	9,78 <sup>*</sup>	42008,90 <sup>**</sup>	100,14 <sup>**</sup>	20,30 <sup>**</sup>
Resíduo	15	1,35	2,71	6197,63	10,04	1,45
Média	-	8,8	20,4	532,2	55,8	27,5
C. V. (%)	-	13,2	8,1	14,8	5,7	4,4
Linear	1	37,22 <sup>**</sup>	39,87 <sup>**</sup>	190900,26 <sup>**</sup>	388,95 <sup>**</sup>	98,78 <sup>**</sup>
Quadrática	1	1,35 <sup>ns</sup>	6,90 <sup>ns</sup>	7086,22 <sup>ns</sup>	73,29 <sup>*</sup>	1,41 <sup>ns</sup>
Ln	1	0,00 <sup>ns</sup>	1,75 <sup>ns</sup>	8342,94 <sup>ns</sup>	4,51 <sup>ns</sup>	0,28 <sup>ns</sup>
Desvios	2	0,82 <sup>ns</sup>	0,18 <sup>ns</sup>	1857,54 <sup>ns</sup>	16,99 <sup>ns</sup>	0,51 <sup>ns</sup>
Resíduo	15	1,35	2,71	6197,63	10,04	1,45

<sup>\*\*</sup> e <sup>\*</sup> significativo a 1% e 5% de probabilidade pelo teste F, respectivamente

<sup>ns</sup> não significativo



**FIGURA 12** Número de folhas externas (NFE) e internas (NFI) de plantas sob influência de diferentes tensões de água no solo. UFLA, Lavras, MG, 2002.

Como pode ser observado na Tabela 4A, o número de folhas externas é correlacionado negativamente com as folhas internas, ou seja, o aumento de uma implica diminuição da outra. Lembrando que a correlação é uma ferramenta estatística que permite medir o grau de associação entre duas variáveis. As folhas externas também são correlacionadas negativamente com todas as outras variáveis aqui estudadas (MFPC, CircPC e DC), bem como altura de plantas, produtividade total e produtividade comercial. Era de se esperar que tratamentos com maior número de folhas externas, dentro de certos limites, apresentassem maior produção comercial, uma vez que estas folhas são as principais responsáveis pela fotossíntese das plantas de alface, o que não aconteceu.

Bueno (1998), em experimento com adubação nitrogenada, ao contrário dos resultados aqui obtidos, verificou uma correlação positiva entre o número de

folhas externas e todas outras variáveis estudadas, inclusive produção total e comercial.

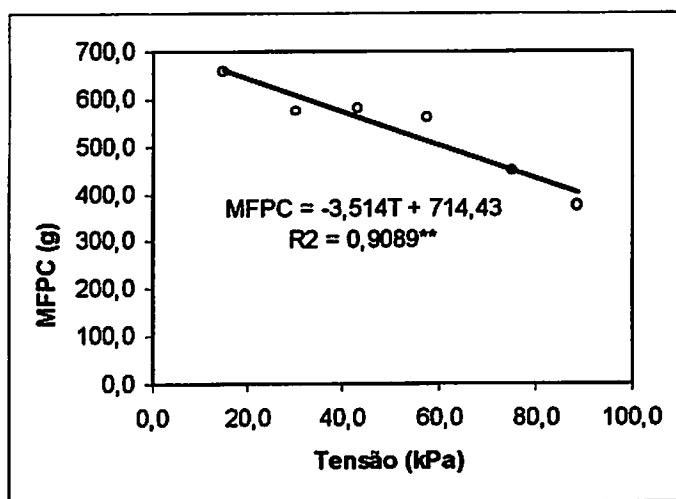
Como comentado anteriormente, as tensões de água no solo exerceram efeito diferente sobre as folhas internas, pois estas e as folhas externas são complementares. A relação entre número de folhas internas e tensão é inversa, ou seja, com o aumento das tensões tem-se uma diminuição no número de folhas (Figura 12). Essa diminuição é de 0,0508 para cada unidade de acréscimo na tensão.

Mota (1999) comenta que se as folhas da alface americana estiverem compactas, o aumento no número das folhas internas é uma característica desejável para a indústria, pois favorece o tamanho da cabeça comercial, bem como o aumento do seu peso. Comenta ainda que para os compradores de alface em feiras, supermercados e verdurões é mais interessante ter maior número de folhas internas pois a cabeça será maior. Devido ao tamanho maior da cabeça, o preço por planta no verão pode superar as outras alfaces em até 40%. Analisando-se a Tabela 4A percebe-se que há uma forte associação positiva entre o número de folhas internas e a matéria fresca da parte comercial, bem como a circunferência da parte comercial e a produção total e comercial. Estes resultados comprovam, portanto, os comentários apresentados por aquele autor.

A matéria fresca da parte comercial (MFPC) das plantas apresentou resposta linear inversa para as diferentes tensões de água no solo, a 1% de probabilidade (Figura 13). De acordo com essa figura, o máximo peso da matéria fresca da parte comercial é atingido na tensão de 15 kPa, sendo esse valor igual a 661,72 g. Evidencia, portanto, a importância do fornecimento da água para a cultura, pois, nessa tensão, as irrigações foram distribuídas com maior frequência ao longo do ciclo. A lâmina total de irrigação aplicada nesse tratamento foi 152,7 mm. Andrade Júnior (1994) obteve, com a aplicação de 142,3 mm na cultivar Mesa 659, o máximo peso total por planta de 802 g, sob

cultivo protegido. Esse valor máximo correspondeu a lâminas aplicadas a cada dois dias, referentes a 75% da evaporação do tanque Classe A. Para valores de lâminas acima de 75% da evaporação do TCA houve redução no peso total por planta.

O peso máximo da MFPC do experimento foi 661,72 g. Yuri (2000), em duas localidades do sul de Minas Gerais (Santo Antônio do Amparo e Boa Esperança), para a mesma cultivar aqui utilizada, entre os meses de março e maio, obteve valores de 996 g e 711 g, respectivamente. É importante comentar que, mesmo sendo numa época semelhante, as condições ambientais foram diferentes, bem como o tipo de experimento. O cultivo, neste caso, foi feito a campo. Alvarenga (1999) obteve média de 577 g, usando espaçamento similar e cultivando sob túneis altos.



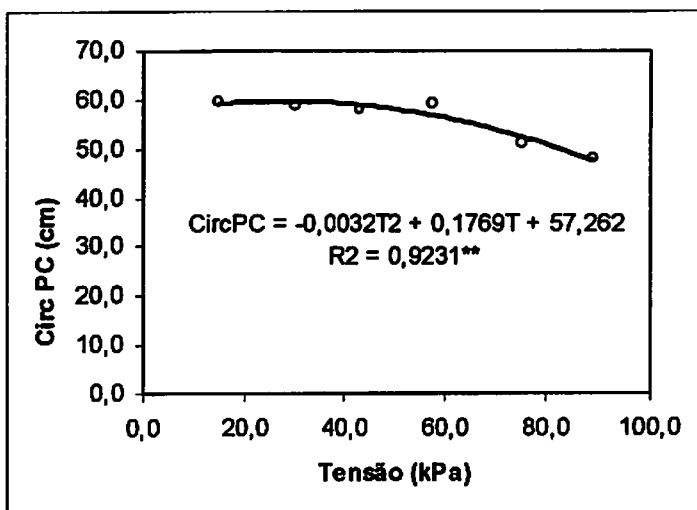
**FIGURA 13** Matéria fresca da parte comercial (MFPC) de plantas sob influência de diferentes tensões de água no solo. UFLA, Lavras, MG, 2002.

As diferenças existentes entre as tensões para a circunferência da parte comercial da alface (CircPC) são explicadas por uma regressão quadrática, a 5% de probabilidade (Tabela 5 e Figura 14).

Além de estar diretamente relacionada com o peso da cabeça comercial, a circunferência da cabeça da alface americana influencia o rendimento no beneficiamento, uma vez que cabeças muito pequenas diminuem o rendimento dos operadores no processamento e aumentam o material de descarte (Yuri, 2000). Sob esse aspecto, a tensão de água no solo de 27,64 kPa proporciona a máxima circunferência da parte comercial da cultivar *Raider*, sendo 59,7 cm o valor correspondente. Esta tensão é superior àquela que propiciou maior peso da cabeça comercial (15 kPa). Mesmo assim, a correlação encontrada entre essas duas variáveis foi positiva (Tabela 4A), estando de acordo com a afirmação daquele autor.

Yuri (2000) obteve 46,6 e 49,1 cm como sendo as circunferências médias da cabeça comercial da cultivar *Raider* em dois locais do sul de Minas (Santo Antônio do Amparo e Boa Esperança) no período compreendido entre os meses de março e maio. Já Mota (1999) verificou, na cultivar *Lorca*, em Lavras, MG, 45,6 cm como sendo a circunferência média. O valor verificado no presente trabalho foi de 59,2 cm para a tensão de 15 kPa (Figura 14). Essa tensão assemelha-se aos trabalhos acima citados quanto às lâminas aplicadas ao longo do ciclo. Porém, é importante frisar que não se devem fazer comparações, pois os experimentos foram desenvolvidos em condições ambientais diferentes e com objetivos diferentes.





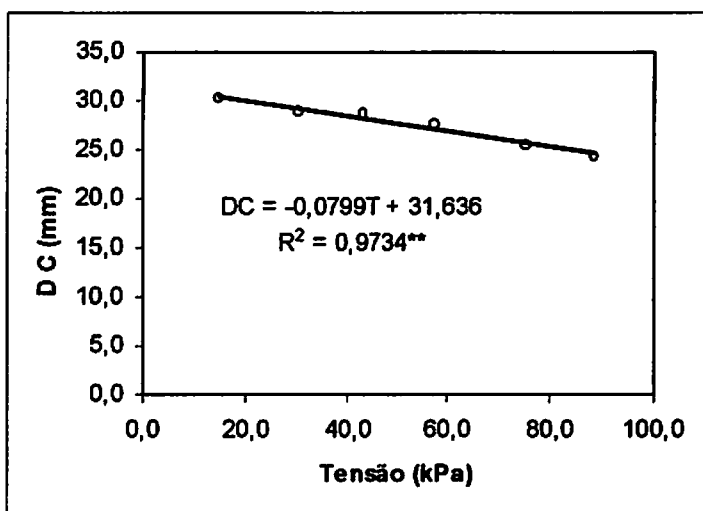
**FIGURA 14** Circunferência da parte comercial (CircPC) de plantas sob influência de diferentes tensões de água no solo. UFLA, Lavras, MG, 2002.

Existe uma relação entre o diâmetro do caule (DC) da alface e o peso comercial, como também entre o diâmetro do caule e o número de folhas internas (Bueno, 1998; Mota, 1999). Sendo assim, esta variável pode ser usada para explicar variações que porventura possam vir a ocorrer no peso comercial das plantas.

O diâmetro do caule das plantas de alface americana, no trabalho em questão, foi influenciado de forma linear e inversa pelas diferentes tensões de água no solo (Figura 15). Para cada unidade de aumento na tensão houve redução de 0,0799 mm no diâmetro do caule, sendo as tensões mais próximas à capacidade de campo as que proporcionaram maiores diâmetros. Observa-se que 97,34% das variações ocorridas nessa variável em função das tensões são explicadas por uma regressão linear.

O DC máximo encontrado no presente experimento foi de 30,44 mm (Figura 15) à tensão de 15 kPa, valor um pouco acima do obtido por Mota (1999), que foi de 28,1 mm.

O diâmetro do caule é uma característica de grande importância para a indústria de *fast food*, pois este é retirado manualmente para posterior fatiamento da cabeça da alface. Quanto mais grosso é o caule mais rápido ele é retirado, aumentando o rendimento industrial (Mota, 1999).



**FIGURA 15** Diâmetro do caule (DC) de plantas sob influência de diferentes tensões de água no solo. UFLA, Lavras, MG, 2002.

#### 4.4 Matéria seca da parte aérea

As tensões de água no solo influenciaram o teor de matéria seca total da parte aérea (TMSPA), bem como o teor de matéria seca da parte comercial (TMSPC) da alface americana, a 1% de significância. Essa influência é explicada por meio da regressão linear simples, a 1% de significância, para as duas variáveis (Tabela 6).

O teor de matéria seca, tanto total, quanto da parte comercial das plantas de alface, aumenta linearmente com o aumento das tensões de água no solo (Figura 16). Como pode ser verificado nas equações apresentadas, incremento um pouco maior foi alcançado para o teor de matéria seca total, o que é explicável pois a matéria seca comercial está incluída na total. O incremento na matéria seca total foi de 0,0177% por unidade de tensão matricial e na matéria seca comercial foi de 0,0173%.

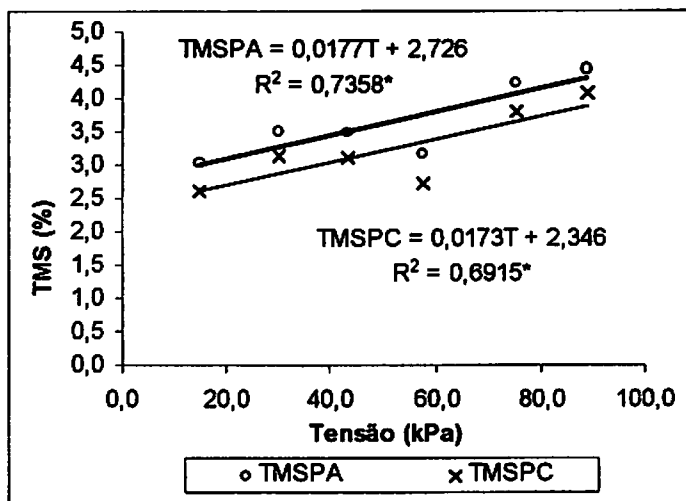
Andrade Júnior (1994) obteve resultados semelhantes aos aqui apresentados para teor de matéria seca total, isto é, houve decréscimo no teor de matéria seca da parte aérea (5,6% a 4,7%) com o aumento das lâminas aplicadas com base nas frações da evaporação no tanque Classe A (0,25 a 1,00). Segundo esse 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, “diluindo” a matéria seca. Realmente, ao se observar o comportamento da matéria fresca da parte comercial (Figura 13) e o do teor de matéria seca comercial (Figura 16), nota-se que mais matéria fresca se teve a tensões próximas à da capacidade de campo, por haver mais água disponível, decrescendo linearmente. Com o teor de matéria seca da parte comercial ocorreu o inverso: subiu de 2,60% à tensão de 15 kPa para 3,89% à tensão de 89,0 kPa.

**TABELA 6** Resumo da análise de variância e de regressão para teor de matéria seca da parte aérea (TMSPA) e teor de matéria seca da parte comercial (TMSPC) de plantas de alface. UFLA, Lavras, MG, 2002.

Fonte de variação	G. L.	Q. M.	
		TMSPA	TMSPC
Bloco	3	0,07 <sup>ns</sup>	0,06 <sup>ns</sup>
Tensão	5	1,31 <sup>**</sup>	1,35 <sup>**</sup>
Resíduo	15	0,18	0,19
Média	-	3,6	3,2
C. V. (%)	-	11,7	13,5
Linear	1	4,83 <sup>**</sup>	4,65 <sup>**</sup>
Quadrática	1	0,43 <sup>ns</sup>	0,48 <sup>ns</sup>
Ln	1	0,45 <sup>ns</sup>	0,67 <sup>ns</sup>
Desvios	2	0,43 <sup>ns</sup>	0,46 <sup>ns</sup>
Resíduo	15	0,18	0,19

<sup>\*\*</sup>significativo a 1% de probabilidade pelo teste F

<sup>ns</sup>não significativo



**FIGURA 16** Teor de matéria seca da parte aérea total (TMSPA) e comercial (TMSPC) de plantas sob influência de diferentes tensões de água no solo. UFLA, Lavras, MG, 2002.

A tendência de ter menores teores de matéria seca nas plantas submetidas a maiores quantidades de água aplicadas também pode ser observada no trabalho desenvolvido por Pinto (1997). Esse autor, com lâmina de 114,6 mm, alcançou matéria seca média na parte comercial de 3,9% e com a de 92,5 mm de 4,3%. Pode-se usar qualquer uma das duas variáveis estudadas (TMSPA ou TMSPC) para se fazer a avaliação, pois ambas correlacionam-se positivamente (Tabela 4A).

Alvarenga (1999) observou que tanto o TMSPA quanto o TMSPC foram reduzidos devido à redução no peso da matéria seca ou ao aumento no peso da matéria fresca.

O teor da matéria seca fornece uma estimativa da quantidade de matéria sólida e de água incluída na produção. Se uma planta ou parte dela tem menor teor de matéria seca, esta planta ou parte apresenta mais água em sua constituição, o que é desejável porque a deixa mais tenra e com melhor sabor, apesar da sua durabilidade pós-colheita ser menor (Alvarenga, 1999). Sendo assim, o fato de a parte comercial das plantas ter menor teor de matéria seca que a total (Figura 16) é vantajoso, principalmente nas tensões mais próximas à da capacidade de campo.

#### **4.5 Produtividade**

As produtividades total e comercial foram significativamente afetadas pelas tensões de água no solo (Tabela 7). As variações ocorridas são explicadas por regressão linear em ambas, a 1% de probabilidade.

O comportamento da produtividade é semelhante ao apresentado pelo peso da matéria fresca da parte comercial, isto é, diminui linearmente com o aumento da tensão (Figura 17). Observa-se, pela equação apresentada nesta figura, que, para um aumento de uma unidade na tensão, há redução na produtividade comercial de  $0,262 \text{ Mg.ha}^{-1}$ . Não poderia ser diferente, uma vez

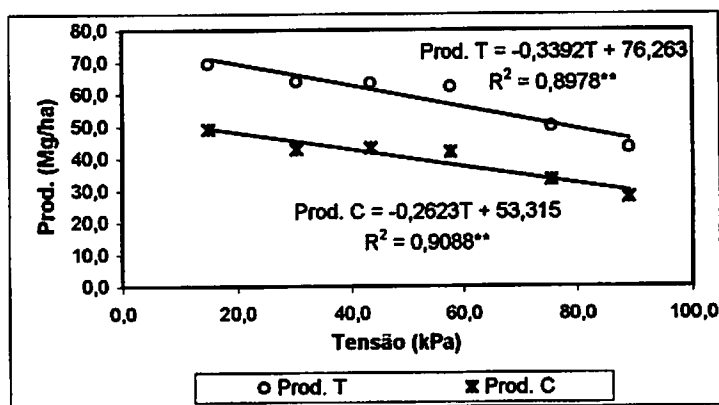
que, no caso da produtividade comercial, é a relação entre a matéria fresca comercial e a área ocupada pela cultura.

**TABELA 7** Resumo da análise de variância e de regressão para produtividade total (Prod. T; Mg.ha<sup>-1</sup>) e produtividade comercial (Prod. C; Mg.ha<sup>-1</sup>) de plantas de alface. UFLA, Lavras, MG, 2002.

Fonte de variação	G. L.	Q. M.	
		Prod. T	Prod. C
Bloco	3	56,72 <sup>ns</sup>	16,16 <sup>ns</sup>
Tensão	5	396,09 <sup>**</sup>	233,97 <sup>**</sup>
Resíduo	15	51,24	34,52
Média	-	58,7	39,7
C. V. (%)	-	12,2	14,8
Linear	1	1777,98 <sup>**</sup>	1063,18 <sup>**</sup>
Quadrática	1	120,51 <sup>ns</sup>	39,53 <sup>ns</sup>
Ln	1	37,30 <sup>ns</sup>	46,44 <sup>ns</sup>
Desvios	2	22,33 <sup>ns</sup>	10,34 <sup>ns</sup>
Resíduo	15	51,24	34,52

<sup>\*\*</sup> significativo a 1% de probabilidade pelo teste F

<sup>ns</sup> não significativo



**FIGURA 17** Produtividade total (Prod T) e comercial (Prod C) de plantas sob influência de diferentes tensões de água no solo. UFLA, Lavras, MG, 2002.

As médias observadas foram 58,7 Mg.ha<sup>-1</sup> para a produtividade total e 39,7 Mg.ha<sup>-1</sup> para a produtividade comercial, semelhantes às obtidas por Mota (1999) com a cultivar Lorca. De acordo com a Figura 17, a produtividade total alcançada com tensões de 15 kPa e 30 kPa foi de 71,18 e 66,09 Mg.ha<sup>-1</sup>, respectivamente e a produtividade comercial para estas tensões foi de 49,38 e 45,45 Mg.ha<sup>-1</sup>. Portanto, os resultados encontrados concordam com Silva & Marouelli (1998) e Carrijo et al. (1999), que indicaram as tensões entre 10 e 30 kPa para o cultivo de hortaliças em ambiente protegido.

Andrade Júnior (1994), de forma indireta, obteve a faixa de tensões de 20,46 kPa a 38,22 kPa ao longo do ciclo da alface, como a que propiciou maior produtividade.

#### 4.6 Sistema radicular

O comprimento das raízes pode dar uma idéia do volume de solo por elas explorado. De acordo com Figueira (2000), o sistema radicular da alface é pivotante, mas, normalmente, a raiz principal desenvolve-se pouco. Isso implica dizer que, tendo todos os fatores necessários para as plantas, como nutrientes, temperatura e umidade adequada, as raízes tendem a se desenvolver pouco e o balanço de energia é mais direcionado para a parte aérea, visando à perpetuação da espécie. Assim, era de se esperar que houvesse diferença entre os tratamentos, tendo as maiores tensões maiores valores de comprimento de raiz devido à “procura” por água que, nesse caso, por ser um fator necessário, deveria ser priorizado, mas isso não aconteceu (Tabela 8). Visualmente, as plantas parecem ter despendido mais energia para o engrossamento do sistema radicular nos tratamentos com maiores tensões em vez do crescimento primário mas, infelizmente, essa variável não foi analisada. Em trabalhos futuros com tratamentos de estresse hídrico pode ser interessante a avaliação do comportamento do diâmetro das raízes da alface.

O comprimento médio (Comp. Raiz) das raízes foi 19,0 cm (Tabela 8). Isso pode ser um indício de que poderia ter sido usado, no controle das irrigações, profundidade efetiva do sistema radicular inferior àquela empregada durante a condução do experimento (30,0 cm). Isso poderia ter contribuído para a aplicação de menores lâminas porém, com maior frequência. Neste sentido, o acompanhamento do crescimento do sistema radicular durante o ciclo da cultura poderia ter sido de grande valia na definição da profundidade dos tensiômetros.

Em parte, o teor de matéria seca pode explicar as variações ocorridas no sistema radicular em função das tensões de água no solo, suprimindo a análise quantitativa que não foi feita para o diâmetro de raiz. Como pode ser observado na Tabela 8, essa variável foi diretamente influenciada pelas tensões.

Apesar de o coeficiente de determinação não ter sido significativo, percebe-se que as raízes das plantas submetidas às maiores tensões tendem a acumular mais matéria seca (Figura 18). Sendo mais grossas, é de se esperar que suas raízes tenham mais matéria seca.

O teor de matéria seca das raízes é a relação entre a massa seca e a massa fresca. Sendo assim, para uma mesma massa fresca, quanto maior o incremento de massa seca maior será o teor de matéria seca. De acordo com a Tabela 3A, a regressão linear pode ser usada para explicar as variações ocorridas na massa seca das raízes em função das diferentes tensões, apesar da análise de variância não ter detectado diferença significativa entre os tratamentos, como será visto no item “eficiência no uso da água”.

Em relação à parte aérea, por ter apresentado um teor médio de matéria seca igual a 3,6% (Tabela 6), o teor de matéria seca do sistema radicular parece ser maior, pois apresentou um valor médio de 24,5% (Tabela 8) indicando haver mais água na parte aérea das plantas.

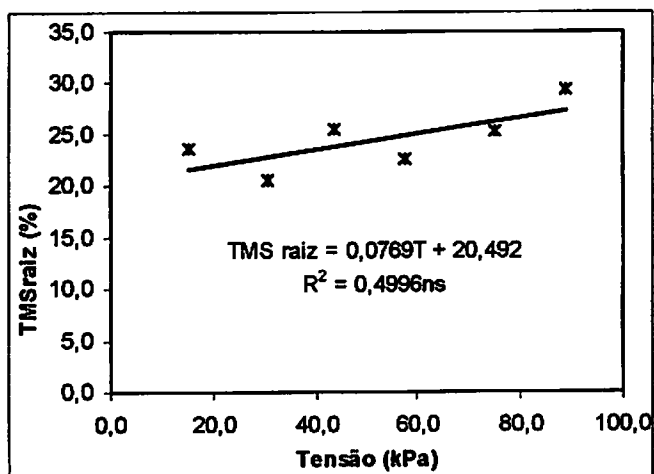


**TABELA 8** Resumo da análise de variância e de regressão para comprimento de raízes (Comp. Raiz; cm) e teor de matéria seca (MS raiz; %) de plantas de alface. UFLA, Lavras, MG, 2002.

Fonte de variação	G. L.	Q. M.	
		Comp. raiz	MS raiz
Bloco	3	4,64 <sup>ns</sup>	20,76 <sup>ns</sup>
Tensão	5	1,82 <sup>ns</sup>	36,60*
Resíduo	15	2,05	12,40
Média	-	19,0	24,5
C. V. (%)	-	7,6	14,4
Linear	1	0,00 <sup>ns</sup>	91,42*
Quadrática	1	1,76 <sup>ns</sup>	33,32 <sup>ns</sup>
Ln	1	2,48 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>
Desvios	2	2,43 <sup>ns</sup>	29,11 <sup>ns</sup>
Resíduo	15	2,05	12,40

\*significativo a 5% de probabilidade pelo teste F

<sup>ns</sup>não significativo



**FIGURA 18** Teor de matéria seca de raízes de plantas sob influência de diferentes tensões de água no solo. UFLA, Lavras, MG, 2002.

#### 4.7 Eficiência no uso da água

A água, por ser um recurso escasso, necessita ser usada de forma racional. A agricultura irrigada, como uma grande consumidora dos recursos hídricos e por estar inserida num mercado cada vez mais competitivo, deve priorizar o manejo adequado desses recursos. Isto se torna mais evidente quando se fala na cobrança pelo uso da água. Quando a água é usada de forma a obter máxima produção e produtos de qualidade, com consumo mínimo, a agricultura, além de se tornar mais competitiva, estará cumprindo seu papel ecológico. A eficiência no uso da água (EUA) é a variável que mostra a relação produção-consumo da cultura.

No presente trabalho, a regressão quadrática pode ser usada para explicar as variações ocorridas com a eficiência no uso da água em função das diferentes tensões (Tabela 9). A análise de variância não detectou diferença significativa entre os tratamentos para essa variável. O desdobramento da soma de quadrados de tratamentos na análise de variância em diferentes efeitos de regressão, ao se tratar de níveis quantitativos, às vezes pode detectar diferenças significativas (Gomes, 2000).

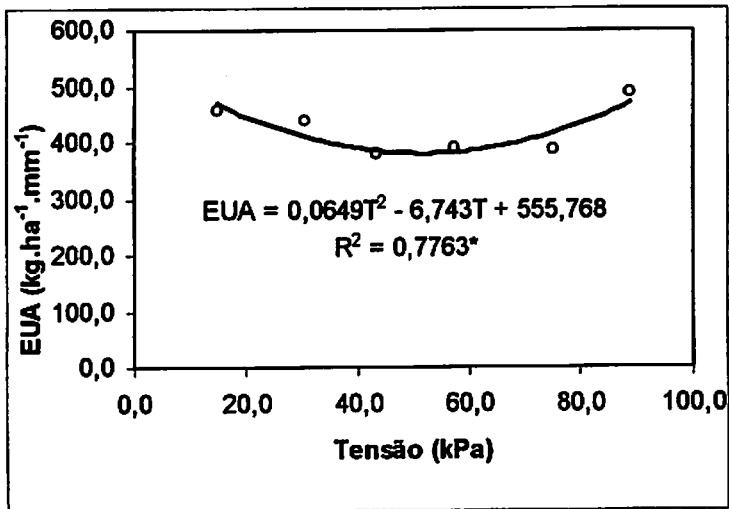
A mínima eficiência no uso da água ( $380,62 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$ ) foi obtida à tensão de 51,95 kPa. Dentro da faixa estudada, os maiores valores de eficiência ( $469,2$  e  $469,7 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$ ) foram encontrados nas tensões de 15,0 e 89,0 kPa, respectivamente (Figura 19). No entanto, ao se analisar a qualidade do produto formado, bem como a produtividade alcançada e as demais variáveis analisadas, podem-se indicar as tensões em torno de 15 kPa como as que proporcionam melhor eficiência no uso da água. No sistema de irrigação por gotejamento, Sammis (1980) verificou na tensão de 20 kPa a eficiência no uso da água variando de  $228 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$  a  $771 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{mm}^{-1}$ , em três anos de cultivo da alface.

**TABELA 9** Resumo da análise de variância e de regressão para eficiência no uso da água (EUA) em alface. UFLA, Lavras, MG, 2002.

Fonte de variação	G. L.	Q. M.
		EUA (kg.ha <sup>-1</sup> .mm <sup>-1</sup> )
Bloco	3	1326,83 <sup>ns</sup>
Tensão	5	7765,94 <sup>ns</sup>
Resíduo	15	3363,04
Média	-	422,3
C. V. (%)	-	13,7
Linear	1	48,60 <sup>ns</sup>
Quadrática	1	30093,33 <sup>**</sup>
Ln	1	5254,68 <sup>ns</sup>
Desvios	2	1716,56 <sup>ns</sup>
Resíduo	15	3363,04

<sup>\*\*</sup> significativo a 1% de probabilidade pelo teste F

<sup>ns</sup> não significativo



**FIGURA 19** Eficiência no uso da água (kg.ha<sup>-1</sup>.mm<sup>-1</sup>) de plantas sob influência de diferentes tensões de água no solo. UFLA, Lavras, MG, 2002.

Andrade Júnior (1994) obteve uma função linear decrescente entre níveis de água aplicados com base em tanque classe A e eficiência no uso da água numa cultivar de alface americana, mostrando que os tratamentos com maior lâmina aplicada tenderam a apresentar menor EUA. Tais resultados são semelhantes aos aqui apresentados, ao se considerar as lâminas aplicadas.

Santos (2002) também observou uma relação quadrática entre diferentes tensões empregadas na cultura do pepino e a eficiência no uso da água. O valor máximo da eficiência foi obtido quando o pepino foi submetido à tensão de 38,73 kPa durante a fase reprodutiva.

## 5.0 CONCLUSÕES

Diante das condições em que o experimento foi desenvolvido e dos resultados obtidos para a cultura da alface americana, pôde-se concluir que:

- para a obtenção de maiores produtividades (total e comercial), plantas mais altas, com maior número de folhas internas, maior peso de matéria fresca da parte comercial, maior diâmetro de caule e plantas com folhas mais saborosas, as irrigações devem ser realizadas quando as tensões de água no solo a 0,15 m de profundidade estiverem em torno de 15 kPa;
- a produtividade da cultura reduziu-se linearmente em função do aumento da tensão da água no solo no intervalo entre 15 e 89 kPa. O mesmo aconteceu com a altura de plantas, número de folhas internas, peso da matéria fresca da parte comercial e diâmetro de caule;
- a melhor eficiência no uso da água com produtos de melhor qualidade foi obtida quando a irrigação era feita com tensão em torno de 15 kPa (469,2 kg.ha<sup>-1</sup>.mm<sup>-1</sup>), a 0,15 m de profundidade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRIANUAL 2002 - Anuário da Agricultura Brasileira. São Paulo: FNP, 2002. Alface, p. 138-140.

ALLEN, R. Calibration for the watermark 200SS soil water potential sensor to fit the 7-19-96 "calibration #3" table from irrometer. Univ. Idaho, oct. 2000. Disponível em: <[http://www.kimberly.uidaho.edu/water/swm/Calibration\\_Watermark2.htm](http://www.kimberly.uidaho.edu/water/swm/Calibration_Watermark2.htm)>. Acesso em: 10 maio 2002.

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. Dissertação (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 na 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 Agrônômicas, Botucatu, SP.

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

AZEVEDO, J. A.; SILVA, E. M. da.; RESENDE, M.; GUERRA, A. F. Aspectos sobre o manejo da irrigação por aspersão para o cerrado. Planaltina: EMBRAPA/CPAC, 1986. 52 p. (EMBRAPA/CPAC. Circular Técnica, 16).

AYERS, R. S.; WESCOT, D. W. A qualidade da água na agricultura. Tradução de GHEIY, H. R.; MEDEIROS, J. F.; DAMASCENO, F. A. V. Campina Grande: UFPB, 1991. 218 p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 29).

- ✧ BERNARDO, S. **Manual de Irrigação**. 6. ed. Viçosa: UFV. Imprensa Universitária, 1995. 657 p.
- BOUYOUCOS, G. J. Soil moisture measurement improved. **Agriculture Engineering**, St. Joseph, v. 42, n. 3, p. 136-138, Mar. 1961.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Normais Climatológicas: 1961-1990**. Brasília: SPI/EMBRAPA, 1992. 84 p.
- BUENO, C. R. **Efeito da adubação nitrogenada em cobertura via fertirrigação por gotejamento para a cultura da alface tipo americana em ambiente protegido**. 1998. 54 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia). Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- CABELLO, F. P. **Riegos localizados de alta frecuencia (RLAF) goteo, micro aspersión, exudación**. 3. ed. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 1996. 511 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, L. G. de; SAMPAIO, S. C.; SILVA, A. M. da. Determinação da umidade na capacidade de campo *in situ* de um Latossolo Roxo Distrófico. **Engenharia Rural**, Piracicaba, v. 7, n. 1, p. 1-97, dez. 1996.
- 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, 2000.
- COELHO, A. F. S. **Qualidade de alface americana (*Lactuca sativa* L.) minimamente processada**. 2001. 104 p. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 42; CONGRESSO LATINO AMERICANO DE HORTICULTURA, 11., 2002, Uberlândia, MG. Resumos. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 20, n. 2, jul. 2002. Suplemento 1.
- CONTI, J. H. **Caracterização de cultivares de alface (*Lactuca sativa* L.) adaptadas aos cultivos de inverno e verão**. 1994. 107 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.

**COSTA, C. C. da. Estudo da susceptibilidade de tubos gotejadores ao entupimento por precipitados químicos de Ferro. 2000. 85 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.**

\* **CULTIVO protegido: uma tecnologia que viabiliza alta eficiência da irrigação é aplicável em qualquer região brasileira. ITEM, Brasília, n. 52/53, p. 10-12, jan./jun. 2002.**

**DEMATTÊ, J. B. I.; CASSIANO SOBRINHO, F.; MENDONÇA, J. R.; CASTELLANE, P. D.; PERECIN, D. Influência de irrigação por gotejamento e aspersão sobre desenvolvimento e produção da cultura da alface (*Lactuca sativa* L.) cv. 'Brasil 48'. Científica, São Paulo, v. 9, n. 2, p. 207-213, 1981.**

**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. Avaliação de métodos de determinação da evapotranspiração, no interior de casa de vegetação, em Lavras-MG. 1999. 79 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.**

**FERNANDES, H. S.; MARTINS, R. S. Cultivo de alface em ambiente protegido. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 20, n. 200/201, p. 56-63, set./dez. 1999.**

**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: UFV, 2000. 402 p.**



FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA  
- FIBGE. Censo agropecuário. Rio de Janeiro, 1996. Disponível em:  
<<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/horti/default.asp>>. Acesso em: 14 set. 2002.

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.

GOMIDE, R. L. Monitoramento para manejo da irrigação: instrumentação,  
automação e métodos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA  
AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas. *Simpósio... Poços de Caldas*:  
UFLA/SBEA, 1998. p. 133-238.

✧ 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*, Campinas, v. 4, n. 1, p. 14-18, jan./abr. 2000.

GORNAT, B.; SILVA, W. L. V. Sistemas de controle e automação da irrigação.  
*ITEM*, Brasília, n. 41, p. 20-24, abr. 1990.

GRANULAR matrix sensors. 2002. Oregon State University, Malheur  
Experiment Station. Disponível em: <<http://www.cropinfo.net/granular.htm>>.  
Acesso em: 25 set. 2002.

✧ 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.; TESTELAF, R. Análise de crescimento da alface (*Lactuca  
sativa* L.) submetida a diferentes lâminas de água, aplicadas através da irrigação.  
*Ecosistema*, Espírito Santo do Pinhal, v. 21, p. 62-65, dez. 1996.

IRMAK, S.; HAMAN, D. Z. Performance of the watermark<sup>®</sup> granular matrix sensor in sandy soils. *Applied Engineering in Agriculture*, St. Joseph, v. 17, n. 6, p. 787-795, Nov. 2000.

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

LARSON, G. F. Electrical sensor for measuring moisture in landscape and agricultural soils. U.S. Patent 4 531 087. Jul. 23 1985.

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

✂ MAROUELLI, W. A.; SILVA, W. L. de C. e.; 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 sócio-econômicos e tecnológicos frente as novas e crescentes demandas. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v. 14, n. 1, p. 133-138, maio 1996.

MOTA, J. H. **Efeito do Cloreto de Potássio via fertirrigação na produção de alface americana em cultivo protegido.** 1999. 46 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

MURAYAMA, S. J. *Horticultura.* 2. ed. Campinas: Instituto Campineiro, 1983. 322 p.

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

PAVAN, M. A.; KUROZAWA, C. Doenças da alface. In: KINATI, H.; AMORIM, A.; BERGAMIN FILHO, A.; CAMARGO, L. E. A.; REZENTE, A. M. (Org.) **Manual de fitopatologia: doenças de plantas cultivadas.** 3. ed. São Paulo: Ceres, 1997. v. 2, p. 18-25.

PINTO, J. P. **Efeito de tipos de coberturas de polietileno preto na evapotranspiração e na produção da cultura de alface.** 1997. 55 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

QUALIDADE é fundamental. Circuito Agrícola, São Paulo, n. 3, p. 6-7, jul. 1998.

QUEIROZ, T. M. de.; CARVALHO, J. de A.; SANTANA, M. J. de.; LEDO, C. A. da S. Resposta da alface americana (*Lactuca sativa* L.) irrigada sob diferentes níveis de umidade no solo. In.: CONGRESSO DE PÓS-GRADUAÇÃO DA UFLA, 10., 2001, Lavras. Anais... Lavras: Associação de pós-graduandos, 2001. CD-ROM.

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.

SANDERS, D. C. Lettuce production. [1999?]. Disponível em: <<http://www.ces.ncsu.edu/depts/hort/hil/hil-11.html>>. Acesso em: 14 set. 2002.

✚ SANTOS, D. S. dos. Efeitos da tensão de água no solo, na cultura do pepino (*Cucumis sativus* L.), utilizando sistema de irrigação automatizado. 2002. 60 p. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) - 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.

SHOCK, C. C.; FEIBERT, E. B. G.; JADERHOLM, S. A comparison of six soil moisture sensors. 2002. Oregon State University, Malheur Experiment Station, Spetial Report 1038:262-267. Disponível em: <<http://www.cropinfo.net/AnnualReports/2001/Popsensortest01.htm>>. Acesso em: 25 set. 2002.

- SILVA, E. L. da; MARTINEZ, L. F.; YITAYEW, M. Relação entre coeficientes de cultura e graus-dia de desenvolvimento da alface. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 17, n. 2, p. 134-142, jul. 1999.
- SILVA, V. F.; BEZERRA NETO, F.; NEGREIROS, M. Z.; PEDROSA, J. F. Comportamento de cultivares de alface em diferentes espaçamentos sob temperatura e luminosidade elevadas. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 18, n. 3, p. 183-187, dez. 2000.
- \* 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, Poço 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.
- YURI, J. E. Avaliação de cultivares de alface americana em duas épocas de plantio em dois locais do Sul de Minas Gerais. 2000. 51 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.
- 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.
- \* 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.
- \* 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.

## ANEXOS

### Página

TABELA 1A	Valores de tensão de água no solo (kPa) observados em duas profundidades nos tratamentos T1, T2 e T3 ao longo do ciclo da alface americana e lâminas de água aplicadas (LB). UFLA, Lavras, MG, 2002.....	75
TABELA 2A	Valores de tensão de água no solo (kPa) observados em duas profundidades nos tratamentos T4, T5 e T6 ao longo do ciclo da alface americana e lâminas de água aplicadas (LB). UFLA, Lavras, MG, 2002.....	77
TABELA 3A	Resumo da análise de variância e de regressão para a matéria fresca (MF raiz; g) e matéria seca (MS raiz; g) de raízes de alface. UFLA, Lavras, MG, 2002.....	78
TABELA 4A	Estimativa dos coeficientes de correlação entre variáveis analisadas da alface americana, cv. <i>Raider</i> , sob diferentes tensões de água no solo. UFLA, Lavras, MG, 2002.....	79

**TABELA 1A** Valores de tensão de água no solo (kPa) observados em duas profundidades nos tratamentos T1, T2 e T3 ao longo do ciclo da alface americana e lâminas de água aplicadas (LB). UFLA, Lavras, MG, 2002.

DAT	T1 (15kPa)			T2 (30,4kPa)			T3 (43,4kPa)		
	Prof. (cm)		LB	Prof. (cm)		LB	Prof. (cm)		LB
	15	30	(mm)	15	30	(mm)	15	30	(mm)
4					10,0			14,3	
5	9,5	9,8		10,1	11,6		9,8	11,6	
6	9,5	11,0		9,5	11,5		10,1	12,3	
7	9,5	10,6		9,5	11,8		10,8	11,1	
8	10,1	12,0		10,1	12,1		9,8	11,8	
9	11,5	12,3		10,8	12,8		11,1	13,1	
10	10,5	14,0		10,5	12,0		10,5	12,3	
11	11,1	12,0		11,1	14,6		12,1	13,0	
12	10,5	11,6		11,1	11,6		9,8	13,6	
13	4,8	5,3		10,1	6,1		5,5	6,8	
14	7,8	6,0		5,8	6,5		6,8	8,5	
15	7,8	7,0		8,1	8,5		9,5	10,6	
16	8,8	7,0		8,8	8,8		10,1	10,8	
17	12,1	8,0		10,8	11,5		11,5	11,6	
18	14,5	10,3	7,3	12,8	10,0		14,8	12,3	
19	6,8	5,3		13,1	11,6		16,5	13,5	
20	8,5	5,6		17,1	11,0		20,5	14,6	
21	11,8	8,0		17,8	12,8		23,8	16,3	
22	15,8	10,6	9,0	24,1	15,3	21,2	28,5	18,0	
23	6,5	5,3		30,1	5,1		36,8	19,3	
24	8,5	6,3		6,8	5,6		43,1	20,5	27,3
25	14,8	7,6	7,9	8,1	7,8		5,5	7,3	
26	6,5	4,0		11,8	8,0		9,1	9,8	
27	9,5	5,3		13,5	8,1		11,8	11,6	
28	11,5	9,0		15,1	11,1		15,8	13,5	
29	14,5	9,0	6,0	20,1	12,3		19,5	14,5	
30	8,5	6,3		26,1	14,1	20,4	25,5	16,5	
31	9,5	7,3		29,5	5,3		35,5	17,8	
32	13,8	10,0	6,1	6,0	7,1		47,8	20,3	28,2
33	10,1	9,0		6,8	7,6		7,5	7,3	
34	14,5	10,3	7,3	9,1	7,5		9,8	8,8	
35	7,5	5,6		11,1	10,0		12,5	11,3	
36	11,5	9,3		14,1	13,1		19,1	13,8	
37	15,5	9,3	7,4	18,5	13,0		21,1	15,1	
38	10,1	8,3		20,1	15,6	21,3	32,1	17,1	
39	13,8	9,0	5,1	29,8	8,6		43,5	18,0	26,5

...continua...

TABELA 1A, Cont.

DAT	T1 (15kPa)			T2 (30,4kPa)			T3 (43,4kPa)		
	Prof. (cm)		LB	Prof. (cm)		LB	Prof. (cm)		LB
	15	30	(mm)	15	30	(mm)	15	30	(mm)
40	11,1	9,0		8,1	9,3		7,8	8,3	
41	15,8	12,6	10,5	9,8	10,5		10,8	11,0	
42	4,8	3,0		14,5	13,1		13,1	13,1	
43	9,8	8,0		15,8	14,8		19,5	15,0	
44	15,5	11,3	9,2	22,8	19,1	23,6	30,5	18,0	
45	8,5	7,6		32,1	6,0		39,1	18,1	25,4
46	10,5	8,3		5,5	7,8		7,5	8,6	
47	15,8	11,3	9,6	7,5	8,5		10,1	10,1	
48	7,8	7,3		9,8	11,6		14,8	12,8	
49	7,8	5,6		14,5	10,1		14,1	12,1	
50	11,8	9,0		13,8	12,5		20,8	14,5	
51	15,5	10,0	8,1	15,1	14,6		25,5	15,5	
52	7,5	5,6		20,8	16,5		33,5	16,8	
<b>Total</b>	-	-	<b>93,4</b>	-	-	<b>86,4</b>	-	-	<b>107,3</b>

**TABELA 2A** Valores de tensão de água no solo (kPa) observados em duas profundidades nos tratamentos T4, T5 e T6 ao longo do ciclo da alface americana e lâminas de água aplicadas (LB). UFLA, Lavras, MG, 2002.

DAT	T4 (57,7kPa)			T5 (75,5kPa)			T6 (89,0kPa)		
	Prof. (cm)		LB	Prof. (cm)		LB	Prof. (cm)		LB
	15	30	(mm)	15	30	(mm)	15	30	(mm)
4									
5	9,8	12,3							
6	9,8	12,0							
7	9,1	11,0							
8	9,8	13,3							
9	11,5	13,6							
10	11,1	15,0							
11	11,8	15,6		13,5	14,0		12,0	12,5	
12	10,8	15,0		14,0	15,0		12,3	13,0	
13	5,8	4,6		12,0	12,5		0,0	2,7	
14	7,5	4,0		12,0	12,0		0,7	4,7	
15	10,1	6,0		13,3	13,5		2,0	6,7	
16	10,1	7,0		13,7	14,0		16,7	15,3	
17	11,8	7,6		14,3	14,5		17,0	16,3	
18	14,8	10,0		15,3	15,5		16,3	17,3	
19	16,1	10,6		15,7	16,5		16,7	18,3	
20	20,1	14,0		16,7	17,0		17,3	19,0	
21	22,8	14,6		18,0	17,5		18,0	19,7	
22	26,8	14,6		20,3	19,0		20,3	21,3	
23	36,8	21,0		26,0	20,5		22,7	22,7	
24	43,5	24,0		30,0	21,5		26,3	23,7	
25	49,5	26,3		35,0	23,0		32,0	25,5	
26	57,5	30,3	32,3	39,7	26,5		40,0	27,0	
27	6,1	3,3		42,0	27,5		44,0	28,5	
28	8,5	4,3		51,0	36,5		54,0	31,5	
29	10,5	6,0		54,0	43,0		57,5	35,0	
30	11,8	8,3		62,0	47,0		60,5	41,0	
31	15,8	10,3		67,0	52,0		62,0	45,0	
32	21,3	13,0		76,0	56,0	37,3	65,5	50,0	
33	27,8	14,6		6,5	11,0		69,0	58,0	
34	34,8	17,3		11,3	12,5		74,0	64,0	
35	46,3	22,3		12,3	14,0		80,0	72,5	
36	60,3	33,8	33,2	13,7	15,0		83,3	81,0	
37	3,8	1,3		14,0	16,0		89,0	88,0	39,9
38	6,8	4,6		15,7	18,0		1,3	16,3	
39	10,5	6,6		17,7	20,0		6,0	16,7	

...continua...



TABELA 2A, Cont.

DAT	T4 (57,7kPa)			T5 (75,5kPa)			T6 (89,0kPa)		
	Prof. (cm)		LB	Prof. (cm)		LB	Prof. (cm)		LB
	15	30	(mm)	15	30	(mm)	15	30	(mm)
40	11,8	6,6		20,3	22,5		10,0	18,7	
41	16,8	12,0		26,0	26,5		11,7	20,0	
42	19,8	11,3		31,0	30,5		13,7	22,5	
43	26,8	15,3		38,0	38,0		17,5	25,5	
44	39,3	24,3		44,0	42,5		21,0	27,5	
45	45,8	26,8		49,0	47,5		26,0	31,0	
46	54,8	37,3	32,9	51,0	50,5		31,0	33,0	
47	5,3	4,3		55,0	55,0		37,0	42,0	
48	7,8	6,3		61,0	60,0		41,0	47,0	
49	7,5	4,6		66,0	63,5		43,0	49,0	
50	10,1	8,0		73,0	68,5		45,0	56,0	
51	12,5	8,6		75,0	74,5	38,2	49,0	60,0	
52	15,1	10,6		11,0	11,0		52,0	67,0	
<b>Total</b>	-	-	<b>98,4</b>	-	-	<b>75,4</b>	-	-	<b>39,9</b>

TABELA 3A Resumo da análise de variância e de regressão para a matéria fresca (MF raiz; g) e matéria seca (MS raiz; g) de raízes de alface. UFLA, Lavras, MG, 2002.

Fonte de variação	G. L.	Q. M.	
		MF raiz	MS raiz
Bloco	3	34,42*	0,28 <sup>ns</sup>
Tensão	5	14,38 <sup>ns</sup>	3,56 <sup>ns</sup>
Resíduo	15	9,61	1,84
Média	-	21,9	5,3
C. V. (%)	-	14,1	25,8
Linear	1	25,16 <sup>ns</sup>	9,75*
Quadrática	1	1,04 <sup>ns</sup>	1,96 <sup>ns</sup>
Ln	1	0,05 <sup>ns</sup>	0,00 <sup>ns</sup>
Desvios	2	22,82 <sup>ns</sup>	3,03 <sup>ns</sup>
Resíduo	15	9,60	1,84

\*significativo a 5% de probabilidade pelo teste F

<sup>ns</sup>não significativo

**TABELA 4A** Estimativa dos coeficientes de correlação entre variáveis analisadas da alface americana, cv. *Raider*, sob diferentes tensões de água no solo. UFLA, Lavras, MG, 2002.

	NFE	NFI	MFPC	CircPC	DC	TMS <sub>tot</sub>	TMS <sub>PC</sub>	TMS <sub>r</sub>	Prod. T	Alt
NFI	-0.93 <sup>**</sup>									
MFPC	-0.97 <sup>**</sup>	0.96 <sup>**</sup>								
CircPC	-0.93 <sup>**</sup>	0.94 <sup>**</sup>	0.96 <sup>**</sup>							
DC	-0.99 <sup>**</sup>	0.94 <sup>**</sup>	0.98 <sup>**</sup>	0.93 <sup>**</sup>						
TMS <sub>tot</sub>	0.91 <sup>**</sup>	-0.89 <sup>**</sup>	-0.96 <sup>**</sup>	-0.97 <sup>**</sup>	-0.92 <sup>*</sup>					
TMS <sub>PC</sub>	0.88 <sup>*</sup>	-0.88 <sup>*</sup>	-0.95 <sup>**</sup>	-0.96 <sup>**</sup>	-0.89 <sup>*</sup>	0.99 <sup>**</sup>				
TMS <sub>r</sub>	0.66 <sup>ns</sup>	-0.80 <sup>*</sup>	-0.72 <sup>ns</sup>	-0.82 <sup>*</sup>	-0.72 <sup>ns</sup>	0.72 <sup>ns</sup>	0.71 <sup>ns</sup>			
Prod. T	-0.98 <sup>**</sup>	0.96 <sup>**</sup>	0.99 <sup>**</sup>	0.98 <sup>**</sup>	0.98 <sup>**</sup>	-0.96 <sup>**</sup>	-0.95 <sup>**</sup>	-0.76 <sup>ns</sup>		
Prod. C	-0.97 <sup>**</sup>	0.96 <sup>**</sup>	1.00 <sup>**</sup>	0.96 <sup>**</sup>	0.98 <sup>**</sup>	-0.96 <sup>**</sup>	-0.95 <sup>**</sup>	-0.72 <sup>ns</sup>	0.99 <sup>**</sup>	0.96 <sup>**</sup>
Alt	-0.99 <sup>**</sup>	0.90 <sup>*</sup>	0.96 <sup>**</sup>	0.92 <sup>**</sup>	0.98 <sup>**</sup>	-0.91 <sup>*</sup>	-0.88 <sup>*</sup>	-0.60 <sup>ns</sup>	0.96 <sup>**</sup>	0.96 <sup>**</sup>

<sup>\*\*</sup> e <sup>ns</sup> significativo a 1% e 5%, respectivamente, pelo teste t

<sup>ns</sup> não significativo

NFE = número de folhas externas; NFI = número de folhas internas; MFPC = matéria fresca da parte comercial (g);

CircPC = circunferência da parte comercial (cm); DC = diâmetro do caule (mm); TMS<sub>tot</sub> = teor de matéria seca da parte aérea (%);

TMS<sub>PC</sub> = teor de matéria seca da parte comercial (%); TMS<sub>r</sub> = teor de matéria seca de raízes; Prod. T = produção total (Mg.ha<sup>-1</sup>);

Prod. C = produção comercial (Mg.ha<sup>-1</sup>); Alt = altura das plantas (cm).