



**WILLIAN FERNANDES DE ALMEIDA**

**GOTEJAMENTO POR PULSOS E COBERTURA  
DO SOLO NA FORMAÇÃO DO BULBO  
MOLHADO E PRODUTIVIDADE DA ALFACE  
AMERICANA**

**LAVRAS - MG  
2012**

**WILLIAN FERNANDES DE ALMEIDA**

**GOTEJAMENTO POR PULSOS E COBERTURA DO SOLO NA  
FORMAÇÃO DO BULBO MOLHADO E PRODUTIVIDADE DA  
ALFACE AMERICANA**

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

Orientador

Dr. Luiz Antônio Lima

**LAVRAS - MG  
2012**

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca da UFLA**

Almeida, Willian Fernandes de.

Gotejamento por pulsos e cobertura do solo na formação do bulbo molhado e produtividade da alface americana / Willian Fernandes de Almeida. – Lavras : UFLA, 2013.

79 p. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2012.

Orientador: Luiz Antônio Lima.

Bibliografia.

1. Irrigação. 2. Água no solo. 3. Eficiência no uso da água. 4. *Lactuca sativa*. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 631.432

**WILLIAN FERNANDES DE ALMEIDA**

**GOTEJAMENTO POR PULSOS E COBERTURA DO SOLO NA  
FORMAÇÃO DO BULBO MOLHADO E PRODUTIVIDADE DA  
ALFACE AMERICANA**

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

APROVADA em 27 de novembro de 2012

Dra. Fátima Conceição Rezende	UFLA
Dr. Luiz Fernando Coutinho de Oliveira	UFLA
Dr. Manoel Alves de Faria	UFLA
Dr. José Maria Pinto	EMBRAPA-CPATSA

Dr. Luiz Antônio Lima  
Orientador

**LAVRAS - MG  
2012**

*Aos meus pais (in memoriam) Sérgio e Evany, pelo carinho e educação e  
por terem sido exemplo de dedicação, persistência e fé.*

*A minha Tia Eliana, pelo apoio e orações.*

*Aos meus irmãos e amigos, pela amizade.*

**OFEREÇO E DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

A DEUS, pela vida e por ter me dado inspiração e persistência.

A minha família que, mesmo distante, sempre me apoiou.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Água e Solo, pela oportunidade de cursar o doutorado e pelo desenvolvimento deste trabalho.

À Coordenação de Pessoal de Nível Superior (Capes), pela concessão de recursos financeiros indispensáveis para a realização da pós-graduação.

Ao professor Luiz Antônio Lima, pela orientação, estímulo e confiança depositada. Ao professor Geraldo Magela pelo apoio técnico e material fundamental para o desenvolvimento desta pesquisa.

A todos os professores(as) do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, pelos valiosos ensinamentos.

À Bianca, pelo carinho, compreensão e encorajamento nos momentos difíceis.

Aos colegas de pós-graduação em Engenharia pela cumplicidade, ajuda e amizade durante a realização do mestrado e doutorado.

Aos meus grandes amigos do Ceará, em especial Deilson, Ana Lúcia, Tiago, Ana Sanchez, Beto, Rafael, Rulmennig, Mayara, Jocélio, Cheila, Alexandre a todos os outros que sempre torceram por mim, por mostrarem a importância de uma grande amizade.

Aos colegas Carlinhos, Pedro, Matheus e Michael, pela amizade e ajuda na condução dos experimentos.

Aos amigos de república, Gabriel, Mailton, Leandro, Fábio, Igor e Detomi pela boa convivência e amizade.

À secretária Greice, pela amizade, atenção e disponibilidade.

Aos membros da banca de exame da proposta de tese pelas sugestões e orientações.

“Confia ao Senhor as tuas  
obras e os teus planos serão  
estabelecidos”

**Pv 16.3**

“Um homem precisa viajar. Por sua conta, não por meio de histórias, imagens, livros ou TV. Precisa viajar por si, com seus olhos e pés, para entender o que é seu. Para um dia plantar as suas próprias árvores e dar-lhes valor. Conhecer o frio para desfrutar o calor. E o oposto. Sentir a distância e o desabrigo para estar bem sob o próprio teto. Um homem precisa viajar para lugares que não conhece para quebrar essa arrogância que nos faz ver o mundo como o imaginamos, e não simplesmente como é ou pode ser. Que nos faz professores e doutores do que não vimos, quando deveríamos ser alunos, e simplesmente ir ver.”

**AmyrKlink**

## SUMÁRIO

<b>PRIMEIRA PARTE .....</b>	<b>10</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>13</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>29</b>
<b>SEGUNDA PARTE – ARTIGOS .....</b>	<b>36</b>
<b>ARTIGO 1 Influência do gotejamento por pulsos e da cobertura plástica na distribuição da água e formação do bulbo molhado no solo .....</b>	<b>37</b>
<b>ARTIGO 2 Gotejamento por pulsos e cobertura do solo na produtividade da alface americana .....</b>	<b>56</b>



## RESUMO

O presente trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar o efeito da aplicação de água por gotejamento por pulsos e da cobertura plástica sobre a distribuição de água no solo e sobre a produtividade da alface americana. Para isso, foram realizados dois experimentos em ambiente protegido pertencente ao Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras (UFLA). No primeiro procurou-se comparar a distribuição de água no solo e a consequente formação do bulbo molhado, sob a influência do gotejamento contínuo e por pulsos, com e sem cobertura plástica. Observou-se que o gotejamento por pulsos proporcionou aumento nas dimensões e teor de umidade do bulbo molhado e a interação do gotejamento por pulsos com o uso de cobertura plástica melhora a distribuição e armazenamento da água no solo. No segundo, avaliaram-se os efeitos de lâminas de irrigação aplicadas por gotejamento por pulsos e da cobertura do solo na produtividade da alface americana. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, foram utilizados oito tratamentos e três repetições, perfazendo um total de vinte e quatro parcelas. Os tratamentos constituíram-se do solo com e sem cobertura do solo (plástico dupla face branco/preto) associado a quatro manejos de irrigação. Os manejos de irrigação consistiram na reposição de lâminas de irrigação, com base na evapotranspiração da cultura (ETc) sendo L1 - 50% da ETc, L2 - 75% da ETc e L3 - 100% da ETc todas aplicadas por pulsos e L4 -100% da ETc aplicada de forma contínua (testemunha). A irrigação por pulsos consistiu no parcelamento da lâmina em seis pulsos de irrigação com intervalos de cinquenta minutos de repouso. Foi observado que a irrigação da cultura da alface via gotejamento por pulsos e a cobertura do solo com material plástico proporciona aumento na produtividade e na eficiência no uso da água.

Palavras-chave: Irrigação. Água no solo. Eficiência no uso da água.

## ABSTRACT

The present study was conducted with the objective to evaluate the effects of drip irrigation by pulse application over the water distribution in the soil profile and plastic cover on lettuce yield. For this, there were two experiments at greenhouse of the Engineering Department - Federal University of Lavras (UFLA). At first, it attempted to compare the distribution of soil water and subsequent formation of the wet bulb under influence of continuous drip and per pulses with and without plastic cover. It was observed that drip pulses provided an increase in the size and moisture content of the wet bulb and the interaction of drip pulses with plastic covering improve the distribution and soil water storage. At second, it was evaluated the effects of water depth according to drip irrigation and soil cover on lettuce yield. The experimental design was randomized blocks with eight treatments and three replications, for a total of twenty-four plots. The treatments consisted of soil with and without soil cover (double-side plastic white/black) associated with four irrigation management levels. The irrigation management consisted in the reposition of evapotranspiration ( $ET_c$ ) with water depths  $L_1$  - 50% of  $ET_c$ ,  $L_2$  - 75% of  $ET_c$  and  $L_3$  - 100% of  $ET_c$ , all applied per pulse and  $L_4$  -100 % of  $ET_c$  applied continuously (control). The irrigation per pulses consisted of splitting the water depth into six irrigation pulses at intervals of fifty minutes of rest. It was observed that lettuce irrigation by drip pulses and soil cover with plastic material increased productivity and water use efficiency.

Keywords: Irrigation. Soil water. Water use efficiency.

## **PRIMEIRA PARTE**

## 1 INTRODUÇÃO

A busca por técnicas que aumentem a produtividade e qualidade das culturas com o uso racional dos recursos é cada vez mais intensa. Esse é o principal objetivo da agricultura moderna, que se preocupa em investir cada vez mais em tecnologia para ampliar a produtividade, reduzir custos e melhorar a qualidade do produto de forma sustentável. Surge então, a necessidade de pesquisar a fundo os reais benefícios propiciados pelas principais técnicas utilizadas em várias regiões do país e do mundo e verificar se essas são realmente efetivas para solucionar o desafio de se produzir, sustentavelmente, alimentos para uma população crescente.

Na agricultura irrigada, dentre os vários fatores de produção, o uso dos recursos hídricos deve ser otimizado, permitindo assim potencializar a utilização dos demais fatores. Dessa forma a melhor combinação dos insumos empregados resultará em maiores produtividades e maior eficiência do uso de água e fertilizantes.

Dentre os vários sistemas de irrigação, o gotejamento possui a melhor eficiência de aplicação e quando bem manejado é responsável por uma maior eficiência do uso de água e fertilizantes. Caracterizado pela aplicação da água no solo em pequenas quantidades e com alta frequência, o gotejamento aplica água diretamente sobre a região radicular, mantendo a umidade nessa região, próxima à capacidade de campo. Essa região é conhecida como bulbo molhado, de onde as raízes da planta irrigada absorvem facilmente água e nutrientes.

Recentemente surgiu um novo conceito, a irrigação por pulsos que consiste em uma série de ciclos, em que cada evento consiste de uma fase de irrigação e uma de repouso. Embora os pulsos possam ser aplicados em qualquer método de irrigação, sua utilização principal é no gotejamento.

O gotejamento por pulsos é utilizado em várias culturas e regiões. Seu

uso é principalmente devido aos seus efeitos positivos sobre o aumento da produtividade, melhoria da qualidade dos produtos, economia no uso da água, redução do entupimento de emissores e redução do consumo de energia.

Vale ressaltar que essas pesquisas foram realizadas no exterior (Israel, Egito, Estados Unidos), evidenciando a necessidade de pesquisas para o clima e principalmente para os solos brasileiros.

Outra técnica que visa melhores rendimentos e qualidade na produção de alimentos, além da conservação do solo, é a cobertura com material plástico do solo (*mulching*). Essa prática vem se tornando cada vez mais crescente nos últimos anos, principalmente no cultivo de diversas hortaliças, como alface, pimentão, tomate, pepino, melão e abobrinha. A cobertura do solo favorece o controle de plantas invasoras e a redução de perdas de água por evaporação. Como desvantagens, têm-se o custo do filme plástico e a falta de conhecimento mais específico para o manejo da irrigação, quer seja na estimativa da evapotranspiração para essas condições, ou mesmo na definição de sua frequência.

Uma boa compreensão da distribuição de água no solo e do balanço hídrico da cultura tornou-se cada vez mais importante para o desenvolvimento de práticas modernas e sustentáveis, envolvendo irrigação por gotejamento.

Em face do exposto, foram realizados dois experimentos, um com objetivo de determinar e comparar as frentes de molhamento e a formação do bulbo molhado devido à aplicação da água por gotejamento contínuo e por pulsos, com e sem cobertura do solo; e outro com objetivo de avaliar os efeitos de lâminas de irrigação aplicadas por gotejamento por pulsos e da cobertura do solo na produtividade da alface americana em ambiente protegido.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Gotejamento por pulsos**

Entre os métodos de irrigação existentes, os métodos de irrigação localizada são os que vêm experimentando o maior número de inovações em todo mundo. Suas características de uniformidade de aplicação e redução no consumo de água os tornam extremamente atraentes, principalmente nos dias atuais, em que o mundo discute o tema relacionado ao melhor aproveitamento de água. A principal característica desse método é a aplicação da água apenas nos locais de interesse, os quais podem representar proporções variáveis entre 20 a 80% da área total, o que resulta em grande economia de água, a qual pode ser aplicada por meio de gotejadores.

Alves (1999) relata que, nos locais onde se tem implantado a irrigação localizada por gotejamento, ocorreu uma verdadeira revolução agrícola, pois não se trata somente de um novo sistema de irrigação, com suas vantagens e inconveniências em relação aos sistemas tradicionais por aspersão ou gravidade, mas sim de sistemas que trazem consigo uma nova forma de manejar a cultura, e, além disso, tem revalorizado grandes extensões de terrenos marginais (arenosos, muito acidentados, pouco profundos, etc.) que eram improdutivos em sequeiro e que apresentavam dificuldades na utilização da irrigação por sistemas convencionais.

O gotejamento aplica a água sobre o solo na área de maior absorção das raízes das culturas, com pequena intensidade, porém, com alta frequência, de modo que se mantém a umidade do solo na zona radicular próxima à capacidade de campo. Devido à aplicação de água no solo pelos gotejadores proporcionar uma área molhada com forma circular na superfície e de um bulbo na subsuperfície, apenas uma pequena porção da superfície do solo é molhada, o

que diminui bastante a evaporação direta da água do solo para a atmosfera, quando comparada com a irrigação por aspersão.

A vantagem da economia de água proporcionada pelo gotejamento pode ser perdida caso as culturas sejam excessivamente irrigadas, o que também acarreta a lixiviação de nutrientes valiosos para fora da zona radicular e os tornam indisponíveis para as plantas, ou mesmo trazendo risco de contaminação das águas subterrâneas. Outro problema é que o excesso de água pode ocasionar condições anaeróbias temporárias na zona radicular, impedindo o crescimento e o desenvolvimento das culturas (ZIN EL-ABEDIN, 2006).

Elmaloglou e Diamantopoulos (2008) ressaltam que na irrigação por gotejamento é essencial conhecer os efeitos da técnica de aplicação de água sobre a dinâmica da umidade do solo e na percolação abaixo da zona radicular. Normalmente, o padrão de distribuição da umidade do solo em torno do gotejador depende do volume total de água aplicada, da vazão do gotejador, da localização e da forma de aplicação (superfície, subsuperfície, pontual ou linear), das condições iniciais e limítrofes de umidade do solo, das propriedades físicas do solo e de sua distribuição espacial, da atividade radicular e do manejo da irrigação (ELMALOGLOU; DIAMANTOPOULOS, 2009).

O uso de pequenas taxas de aplicações pelo gotejamento é uma característica comprovadamente desejável para a relação água-solo-planta (MOSTAGHIMI; MITCHELL, 1983). Assim, de forma a obter uma menor taxa de aplicação média (com base no tempo de irrigação total), Karmeli e Peri (1974) sugeriram a aplicação da água de irrigação por pulsos ou intermitente. Essa foi definida, pelos mesmos, como uma série de ciclos, onde cada ciclo consiste de uma fase de irrigação e uma de repouso.

É importante saber diferenciar turno de rega e irrigação por pulsos. Enquanto o primeiro refere-se ao intervalo de tempo (em dias), entre duas irrigações, mesmo que em alguns casos esse intervalo possa ser menor que um

dia, o segundo refere-se à prática de irrigação por um curto período de tempo, seguido por um tempo de repouso e mais um curto período de irrigação subsequente, e esse ciclo de ligado/desligado segue até que toda a água de irrigação seja aplicada. Como exemplo de turnos de rega, sem ser irrigação por pulsos, têm-se os trabalhos de Chaves et al. (2004) e Marouelli e Silva (2006), sendo o primeiro com maior turno de rega de 1/3 de dia, ou seja, três irrigações diárias e o segundo com maior turno de rega de 0,25 dia, ou seja, quatro irrigações por dia. Nesses casos, apesar da alta frequência diária, o intervalo entre irrigação é considerado longo, o que não pode ser considerado pulso, diferentes do trabalho de Bakeer et al. (2009) que testaram as frequências de 2, 3 e 4 irrigações por dia, no entanto com intervalos entre elas de 30 minutos e a compararam com a irrigação contínua (uma por dia).

A irrigação por pulsos está sendo utilizada em todo o mundo, principalmente devido aos seus efeitos positivos sobre o aumento da produtividade, melhoria da qualidade dos produtos, economia no uso da água, redução do entupimento de emissores e redução do consumo de energia, etc. (BAKEER et al., 2009).

Segundo Zin El-Abedin (2006) a aplicação por pulsos da água permite reduzir a taxa média de irrigação para um nível que coincide com condutividade hidráulica do solo e minimiza a percolação abaixo da zona radicular efetiva. Os pulsos podem ser aplicados em qualquer método de irrigação, embora seja aplicado principalmente em sistemas de irrigação por gotejamento.

Trabalhos anteriores, como o de Levin e Van Rooyen (1977), Levin, Van Rooyen e Van Rooyen (1979) e Mostaghimi e Mitchell (1983), constataram uma redução significativa da percolação profunda em solos arenosos ocasionado pela irrigação por pulsos. Já em trabalhos recentes, também realizados através de simulações e modelagem foi observada uma ligeira redução da percolação profunda (ELMALOGLU; DIAMANTOPOULOS, 2007, 2008). A grande



diferença das simulações recentes das anteriores é que foram consideradas a evaporação do solo e a absorção de água pelas plantas, assim como dois tipos de textura (areia franca e franco-siltosa) e duas vazões (2 e 4 l/h). Nessas simulações, os autores observaram que para um mesmo solo, a componente vertical da frente de molhamento foi mais profunda para a menor vazão do que para a maior. Esse fato também observado por Al-Naeem (2008) que, ao aplicar a mesma quantidade de água no solo com emissores de diferentes vazões e sob regime de irrigação por pulsos, o volume de solo molhado aumentou com o incremento da vazão. Resultado semelhante também foi encontrado por Elmaloglou e Malamos (1999). Os últimos sugeriram que para as culturas com sistema radicular raso e maiores espaçamentos entre linhas torna-se mais adequado utilizar pulsos com altas taxas de aplicações; já em culturas com sistema radicular profundo e espaçamento adensado são recomendados pulsos com gotejadores de menor vazão. Dessa forma, o gotejamento por pulsos permite a utilização de gotejadores com maiores vazões e conseqüentemente com maiores orifícios, sendo uma alternativa para a redução dos problemas de entupimento (AL-NAEEM, 2008).

Outro trabalho que relatou o benefício do gotejamento por pulsos sobre o entupimento dos gotejadores foi o de Abdelraouf et al. (2012), realizado com a cultura da batata e com gotejadores com vazão de 2,1 L/h. Os autores observaram que a redução do entupimento foi proporcional ao número de pulsos, sendo essa redução devida à técnica de pulsos criar uma turbulência no fluxo de água, evitando o acúmulo de partículas suspensas no canal do fluxo e nas saídas dos emissores.

No trabalho de Abdelraouf et al. (2012) foi observado que o aumento do número de pulsos melhorou a eficiência de aplicação (relação entre o volume de água armazenada na zona radicular e o volume de água aplicada). Segundo os autores, com o gotejamento por pulsos, o movimento da água foi maior na

direção horizontal do que na vertical. Com um maior volume de solo molhado, houve um maior volume de água armazenado na zona radicular. Resultado semelhante foi observado por Bakeer et al. (2009) cujo volume de solo molhado teve um aumento de 48%, quando se comparou a irrigação por gotejamento contínua com o gotejamento por pulsos. Ainda, segundo Abdelraouf et al. (2012), a eficiência de aplicação aumentou de 89%, sob irrigação por gotejamento contínua, para 94% após a aplicação da água por gotejamento por pulsos (4 pulsos) repondo 100% da ETc, registrando um aumento de 5,3%. Melhorias na eficiência de aplicação também foram observadas por Bakeer et al. (2009) e Zin El-Abedin (2006).

O gotejamento por pulsos foi testado em algumas culturas, em diferentes regiões do mundo, tais como no pimentão em Israel (ASSOULINE et al., 2006), no milho no Egito (ZIN EL-ABEDIN, 2006), no tomateiro nos Estados Unidos (WARNER; HOFFMAN; WILHOIT, 2009) e na batata no Egito (ABDELRAOUF et al., 2012; BAKEER et al., 2009).

Assouline et al. (2006) estudaram os efeitos da irrigação por pulsos (10 pulsos por dia com intervalos de uma hora) na cultura do pimentão em ambiente protegido. Apesar de observarem maior peso da planta e da área foliar nas fases iniciais de crescimento da planta sob irrigação por pulsos, não houve efeito significativo em relação à irrigação contínua no final do experimento. Também observaram que absorção de fósforo foi favorecida pela alta frequência de irrigação.

Zin El-Abedin (2006) realizou um estudo para determinar e avaliar os efeitos do gotejamento contínuo e por pulsos sobre a produtividade e eficiência do uso da água na cultura do milho. O estudo foi realizado em solo argiloso e a irrigação por pulsos consistiu na aplicação de água, baseada na evapotranspiração da cultura, em intervalos de pulsos de 5 min., ou seja, 5 min. Ligado/5 min. desligado até que toda irrigação necessária fosse realizada. Ele

observou que o gotejamento por pulsos proporcionou maior nível de umidade e melhor uniformidade do padrão de distribuição da umidade. Foi observado um aumento significativo da produtividade em 11,8% e do uso eficiente da água em 13,55% através do uso gotejamento por pulsos.

Warner, Hoffman e Wilhoit (2009) aplicaram diferentes lâminas de irrigação (100, 80 e 60 %), baseado na tensão de água no solo por gotejamento contínuo e por pulsos (8 pulsos) na cultura do tomateiro. O gotejamento por pulsos foi capaz de reduzir o uso de água em cerca de 40%, sem afetar a qualidade e a produção do tomateiro.

Abdelraouf et al. (2012) e Bakeer et al. (2009) estudaram o efeito do gotejamento por pulso sobre o rendimento da batata e sobre a eficiência do uso de água. Os resultados indicaram que o rendimento da batata e a eficiência do uso de água foram aumentadas com o gotejamento por pulsos em relação a contínua, sendo os aumentos proporcionais ao número de pulsos. O gotejamento por pulsos (4 pulsos, 100% da ETc) proporcionou um aumento de 40 % sobre a produtividade da cultura em relação ao gotejamento contínuo. A eficiência do uso da água teve um aumento de 65% ao comparar o gotejamento contínuo com o gotejamento por pulsos (4 pulsos; 75% da ETc ), significa que é possível economizar 25% das necessidades de irrigação.

Como desvantagens da irrigação por pulsos, Al-Naeem (2008) relata o aumento dos custos com válvulas automáticas e controladores de irrigação. Em relação aos custos de bombeamento não devem ser afetados, já que a aplicação por pulsos (tempo de funcionamento) é semelhante à utilizada pelo gotejamento contínuo.

Entretanto, a adoção da irrigação por pulsos pode levar a tempos reduzidos de irrigação que podem comprometer o equilíbrio total das pressões na rede hidráulica. Por exemplo, extensos setores poderão ter deficiência de pressão em suas extremidades se os tempos de irrigação forem menores que os

tempos de avanço da água na rede hidráulica. Para corrigir o problema, é possível que o emprego de pequenos setores possam demandar maior quantidade de ramais e, com isso valetas para abrigar os referidos ramais.

## 2.2 Cobertura do solo

A cobertura do solo, também conhecida como *mulching*, consiste na prática agrícola de colocação de diferentes materiais orgânicos e/ou inorgânicos sobre o solo. Os materiais orgânicos mais utilizados são restos vegetais, incluindo os utilizados como adubos verdes; restos de culturas comerciais; produto de capineiras e outros resíduos orgânicos. Os materiais inorgânicos utilizados mais comuns são filmes plásticos fabricados para esse fim e resíduos industriais diversos. De acordo com Borges e Souza (1998), a cobertura do solo é recomendada para praticamente todos os solos, todos os climas e todas as culturas.

Nos últimos anos é crescente o uso dos filmes plásticos para o cultivo de diversas hortaliças, como alface, pimentão, tomate, pepino, melão e abobrinha (SANTOS et al., 2008). A cobertura do solo apresenta vários efeitos benéficos na produção de hortaliças, incluindo o aumento da umidade do solo, já que diminui as perdas por evaporação da água do solo, manutenção da temperatura do solo mais constante, conservação da estrutura do solo, evitando a compactação e erosão, proteção do sistema radicular contra danos de equipamentos, dispensa nas capinas ou redução da aplicação de herbicidas, influência direta sobre as pragas e doenças, proteção dos frutos do contato direto com o solo, e aumento da precocidade das colheitas (ARAÚJO, 1994; ARAÚJO et al., 2003; CÂMARA et al., 2007; CASTELLANE; SALVETTI, 1995; HOCHMUTH; HOCHMUTH; OLSON, 2001). Ainda segundo Clark e Maynard (1992) e Tsekleev, Boyadjieva e Solakov (1993), o *mulching* plástico conserva a

umidade próxima à superfície do solo, aumenta a concentração de raízes na parte mais aquecida e mais fértil do perfil do solo, aumenta a atividade microbiana e a taxa de mineralização do nitrogênio orgânico e, principalmente, evita a lixiviação de nitrato e potássio, importantes para a nutrição das culturas. Outro aspecto positivo a ser destacado é a obtenção de frutos com qualidade visual externa elevada. Como desvantagens, têm-se, entretanto o elevado custo do filme e a falta de conhecimento mais específico para manejo da irrigação, quer seja na estimativa da evapotranspiração para essas condições, quer seja na definição de sua frequência (MARTINS, 1996; SILVA et al., 2005).

Em cultivos de inverno, a cobertura pode manter a temperatura do solo mais elevada, favorecendo o desenvolvimento inicial das plantas, porém na medida em que o índice de área foliar aumenta, o efeito da cobertura do solo passa a ser reduzido (SHEN et al., 2007). Para Ramakrishna et al. (2006), a cobertura do solo com polietileno é capaz de aumentar a temperatura do solo em cerca de 6 °C a 0,05 m de profundidade e de 4 °C a 0,10 m de profundidade, sendo que em geral todos os tipos de cobertura conseguem reduzir ou evitar a evaporação de água, retendo a umidade do solo e pode ainda controlar as plantas daninhas.

Na agricultura irrigada, a cobertura do solo altera a relação solo-água-planta, diminuindo a taxa de evapotranspiração, principalmente nos estágios em que o dossel vegetativo não cobre o solo por completo, reduzindo a frequência de irrigação e, por conseguinte, os custos de operação com o sistema de fornecimento de água (STONE et al., 2006). Os *mulches* plásticos reduzem substancialmente a evaporação de água na superfície do solo, especialmente sob sistemas de irrigação por gotejamento. Associado com a redução na evaporação, em geral, há um aumento na transpiração da vegetação causada pela transferência de calor sensível e radiação da superfície do *mulching* plástico para vegetação adjacente.

Allen et al. (2007) relatam que, normalmente, a evapotranspiração da cultura (ETc) sob *mulching* plástico é aproximadamente 5 a 30% menor que em condições sem cobertura do solo. Embora a taxa de transpiração sob *mulching* possa aumentar em média de 10 a 30% na estação de maior demanda hídrica, se comparado ao solo sem *mulching*, o coeficiente de cultivo diminui em média de 10 a 30% devido à redução de 50 a 80% da evaporação do solo molhado. Geralmente, as taxas de crescimento das culturas e o rendimento aumentam com o uso de *mulches* de plástico (ALLEN et al., 2007).

Coberturas plásticas têm levado ao ganho de produtividade em várias culturas (ALLEN et al., 2007). Mahajan et al. (2007) evidenciaram maior eficiência no uso da água e rendimento para o milho cultivado com a cobertura do solo por plástico, benefícios resultantes de um aumento na temperatura mínima do solo, crescimento inicial acelerado, maior frutificação das plantas e satisfatório controle de plantas daninhas, sem qualquer aplicação de herbicidas.

Nas hortaliças, o uso de coberturas plásticas tem levado ao incremento em crescimento e produtividade em vários cultivos (CANTU et al., 2007; CHAVES et al., 2004; MEDEIROS et al., 2006, NEGREIROS et al., 2005).

Cebula (1995), estudando a cobertura em plantas de pimentão, verificou que a incidência de luz na copa da planta quando teve a cobertura de plástico, dobrou a formação de frutos, qualidade de frutos, e quantidade de frutos na planta quando comparada com plantas sem cobertura.

Rodrigues (2001), utilizando diferentes tipos de cobertura no solo para a cultura de pimentão, observou que as coberturas plásticas proporcionaram maior temperatura no solo, controle de plantas invasoras, maior desenvolvimento das plantas e maior produtividade.

Pereira, Rodrigues e Goto (2000), avaliando diferentes coberturas de solo no período de verão em condições de campo aberto e utilizando a alface

cultivar Verônica, constataram que a cobertura plástica proporcionou maior peso da cabeça e tamanho do pendão.

Na alface americana, Verdial et al. (2001) relataram que a maior produção de massa fresca e seca da parte aérea foi no cultivo com *mulching* plástico de dupla face. Os autores atribuíram o ganho em produtividade a maior quantidade de nutrientes absorvidos pela plantas cultivadas no *mulching* plástico e também pelo aumento na temperatura do solo proporcionado pelos tratamentos com cobertura plástica, o que pode ter favorecido a atividade radicular para absorção de nutrientes.

### **2.3 Cultura da alface**

Pertencente à família das Asteráceas, a alface (*Lactuca sativa* L.) originou-se de espécies silvestres das regiões do Sul da Europa e da Ásia Ocidental. É uma planta herbácea, muito delicada, com caule reduzido onde as folhas crescem em forma de roseta. Suas folhas são grandes e tenras, podendo ser lisas ou crespas, formando ou não uma cabeça. O sistema radicular é formado por grande ramificação explorando os primeiros 25 cm do solo (FILGUEIRA, 2000).

No Brasil, a alface está entre as dez hortaliças mais apreciadas para consumo *in natura* e, entre as folhosas, é a mais comercializada e consumida, principalmente devido à facilidade de aquisição e por ser produzida o ano inteiro (OLIVEIRA et al., 2004; YURI et al., 2004). Em 2011, o volume de alface comercializado na CEAGESP-SP (Companhia de Entrepostos e Armazéns Gerais de São Paulo) foi de 44.831 toneladas (ANUÁRIO DA AGRICULTURA BRASILEIRA - AGRIANUAL, 2013), o que demonstra a potencialidade dessa hortaliça no mercado brasileiro.

Consumida principalmente em saladas cruas e sanduíches, a alface tem grande importância na alimentação humana, sendo fonte de vitaminas e sais minerais. Por ser altamente perecível, é cultivada próximo aos grandes centros consumidores, fazendo das regiões sul e sudeste as maiores produtoras e consumidoras (LOPES et al., 2005).

Dentre as cultivares existentes, a alface do grupo repolhuda crespa ou tipo americana, vêm adquirindo importância crescente, principalmente na região Sul de Minas Gerais. Seu cultivo visa, principalmente, atender às redes "*fastfood*" de alimentação (MOTA et al., 2003). Essa cultivar se diferencia das demais, por apresentar folhas externas de coloração verde-escuro, folhas internas de coloração amarela ou branca, imbricadas, semelhantes ao repolho, crocantes, com maior vida pós-colheita, possibilitando o transporte a longas distâncias (YURI et al., 2002).

A alface americana se adapta melhor às regiões com temperaturas amenas. Segundo Jackson et al. (1999), a alface requer como temperatura ideal para o desenvolvimento, 23°C durante o dia e 7°C à noite. Temperaturas muito elevadas podem provocar queima das bordas das folhas externas, formar cabeças pouco compactas e também contribuir para ocorrer deficiência de cálcio, conhecida como "*tipburn*". Baixas temperaturas, próximas do congelamento, não provocam danos em plantas jovens, porém o seu desenvolvimento é retardado. Essas condições, no entanto, podem prejudicar plantas próximo ao ponto de colheita, danificando as folhas externas.

Decorrente da sensibilidade da planta às intempéries e às variações climáticas, o seu cultivo em ambiente protegido vem ganhando grande importância nos últimos anos. Além da praticidade no manejo, a limpeza e a versatilidade dessa modalidade de cultivo conferem ótimas condições para reduções na utilização de produtos químicos, menor consumo de água, produção



fora de época, maior produtividade e, conseqüentemente, melhor preço, devido à alta qualidade do produto (FELTRIM et al., 2005).

A alface é uma das hortaliças mais exigentes em água durante o seu período de desenvolvimento, o que influencia de forma decisiva a produtividade e a qualidade comercial da cabeça. Dessa forma 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 (KOETZ et al., 2006a).

Segundo Filgueira (2000) as irrigações devem ser frequentes e abundantes, por causa da ampla área foliar e a evapotranspiração intensiva, bem como ao sistema radicular delicado e superficial e a elevada capacidade de produção. O teor de água útil no solo, ou seja, a percentagem de água disponível utilizada mais facilmente pelas plantas deve ser mantida acima de 80%, ao longo do ciclo da cultura, inclusive durante a colheita. Ainda segundo o mesmo autor, quando irrigadas adequadamente, as folhas são tenras e as cabeças grandes.

Vários experimentos, testando diferentes lâminas de irrigação, foram realizados nas condições de Lavras (MG) com a cultura da alface americana. Dentre esses, podem ser citados Silva et al. (2008) com a cultivar *Raider* em que obtiveram produtividade comercial de 27.004,49 kg ha<sup>-1</sup>, ( $\pm 350$ g/planta) aplicando lâmina de água em torno de 208,03 mm; Santos e Pereira (2004), utilizando a mesma cultivar, obtiveram valores máximos de produtividade total e comercial de 71.180 ( $\pm 950$ g/planta) e 49.380 kg ha<sup>-1</sup> ( $\pm 660$ g/planta), respectivamente, com uma lâmina total de irrigação de 152,7 mm. Já Lima Júnior et al. (2010), com a cultivar *Raider-Plus*, obtiveram a máxima produtividade total de 65.578 kg ha<sup>-1</sup> (830g/planta) para uma lâmina total de 203,9 mm e produtividade da cabeça comercial de 35.308 kg ha<sup>-1</sup> (450g/planta) com uma lâmina de irrigação de 204,3 mm.

Esses estudos demonstram que o peso da planta e a produtividade aumentam linearmente com a quantidade de água aplicada, até se atingir o máximo de produção, a partir do qual há uma queda em função do excesso de umidade no solo.

#### **2.4 Manejo da irrigação**

O manejo da irrigação consiste em manter a disponibilidade adequada de água no solo para o pleno desenvolvimento das culturas. O correto manejo propicia a maximização da produtividade, incremento da qualidade do produto, minimização do custo da água e da energia, aumento da eficiência de fertilizantes, diminuição da incidência de doenças e pragas, e manutenção ou melhoria das condições químicas e físicas do solo (ALBURQUERQUE; DURÃES, 2008). Mesmo sendo comprovados os benefícios do manejo da irrigação, são poucos os produtores irrigantes que o realiza e dão a sua devida importância. Geralmente, os produtores realizam a avaliação do momento de irrigar de forma visual, sem a utilização de um método de manejo que possibilite uma definição mais precisa. Segundo Silveira e Stone (1994), as principais causas para esse fato são: o baixo ou nulo custo da água; baixo custo de energia elétrica, levando em consideração que o seu custo gira em torno de 10% do custo total de produção; carência de dados edafoclimáticos; prioridade das atividades, comumente os produtores priorizam o acompanhamento do desenvolvimento das culturas, as práticas de adubação e do manejo de pragas e doenças; carência de assistência técnica especializada no manejo da irrigação seja por desconhecimento ou por falta de interesse; inacessibilidade dos produtores as metodologias de modo que facilite sua adoção.

Vale ressaltar que a não adoção de um método de manejo correto pode acarretar em excesso ou déficit hídrico, já que a necessidade hídrica de uma

cultura varia de acordo com o estágio vegetativo em que a cultura se encontra e a cultivar utilizada. Há também a influência da variabilidade espacial das propriedades do solo, resultando em ampla variação na disponibilidade de água às plantas, no fluxo de água, ar e solutos no solo.

O manejo de água normalmente é baseado em medidas do solo, da planta e da atmosfera. Os baseados em medidas no solo se fundamentam na determinação direta ou indireta do teor de água, enquanto os baseados em medidas na planta se estabelecem no monitoramento do potencial hídrico, da resistência estomática, da temperatura da folha por meio de termômetro infravermelho e outros; já os baseados em medidas climáticas variam desde simples medidas de evaporação de água de um tanque, como o Tanque Classe A, até complexas equações para estimativa da evapotranspiração (ROCHA; GUERRA; AZEVEDO, 2003). Desses três processos dois são mais utilizados: os baseados nas condições de água do solo e nas condições atmosféricas. A conjugação dos processos via atmosfera e via solo também é utilizada (PEREIRA; ANGELOCCI; SENTELHAS, 2002).

Nos métodos baseados na estimativa da evapotranspiração, as necessidades hídricas da cultura são expressas mediante a taxa de evapotranspiração (ET) em mm/dia ou mm/período. A ET está relacionada à demanda evaporativa do ambiente, que pode ser expressa pela evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ), como forma de predição do efeito do clima sobre o consumo de água da cultura (DOORENBOS; KASSAN, 2000).

Os tanques de evaporação têm sido estudados para quantificar indiretamente a demanda evaporativa do ambiente (BURIOL et al., 2001; KOETZ et al., 2006b; VÁSQUEZ et al., 2005), nos quais a evapotranspiração é determinada multiplicando-se a evaporação do tanque por um coeficiente de correção (coeficiente do tanque, doravante denominado  $K_p$ ) a ser determinado para as condições locais, de acordo com Doorenbos e Kassam (2000). Em

ambiente protegido, tem-se adotado tanques de evaporação com dimensões reduzidas como alternativa para estimativa da evapotranspiração devido à alta eficiência, menores dimensões, apresentando menor custo e a maior facilidade no manejo pelos agricultores (MENEZES JÚNIOR et al., 1999).

Para a determinação do  $K_p$ , levam-se em consideração dados climáticos no interior do ambiente protegido, como umidade relativa e velocidade do vento, como referenciados na equação de regressão de Snyder (1992). Contudo, existem recomendações do uso do  $K_p$  com valor pré-determinado igual a 1,0, como descrito por Evangelista e Pereira (2003).

Nos métodos baseados nas medidas do solo, o tensiômetro é um dos instrumentos mais utilizado, pois fornece, de forma direta, o potencial ou a tensão de água no solo e, de forma indireta, a umidade. Segundo Coelho e Teixeira (2004), o princípio de funcionamento do tensiômetro baseia-se na formação do equilíbrio entre a solução do solo e a água contida no interior do aparelho. O equilíbrio ocorre quando a cápsula porosa entra em contato com o solo e a água do tensiômetro entra em contato com a água do solo. Caso a água do solo esteja sob tensão, ela exerce uma sucção sobre o instrumento, retirando água desse, fazendo com que a pressão interna diminua. Como o instrumento é vedado, ocorre a formação do vácuo; a leitura dessa pressão negativa fornece o potencial matricial da água no solo.

Em comparação com outros métodos de controle de irrigação, o tensiômetro tem como vantagens: o conhecimento em tempo real da tensão de água no solo; utilização do conceito de potencial, medindo diretamente a energia de retenção da água pelo solo; facilidade do uso, desde que convenientemente instalado mantido e interpretado; e custo relativamente baixo e facilmente encontrado no comércio, possibilitando maior aplicação por parte de agricultores irrigantes (AZEVEDO; SILVA, 1999).

O tensiômetro permite leitura de tensão até cerca de 80 kPa. Para tensões maiores, a água, sob vácuo, entra em processo de cavitação, ou seja, começa a haver formação acentuada de bolhas de vapor dentro do sistema, parando de funcionar.

De acordo com Marouelli (2008), como regra geral, se considera as seguintes faixas de tensão matricial de água no solo: faixa de 0 a 10 kPa, solo próximo à saturação e leituras contínuas nessa faixa indicam irrigações em excesso, perda de água por drenagem profunda e deficiência de aeração para as raízes; Faixa de 10 a 20 kPa refere-se ao solo com excelente condição de umidade e boa aeração. Essa faixa de tensão é indicada para culturas altamente sensíveis ao déficit de água, em solos arenosos e/ou irrigação por gotejamento; Faixa de 20 a 40 kPa refere-se ao solo com boa condição de umidade e excelente aeração. Trata-se de uma faixa de tensão indicada para culturas sensíveis ao déficit de água. Faixa de 40 a 70 kPa: solo com limitada condição de umidade e excelente aeração. Faixa de tensão indicada para culturas com tolerância moderada ao déficit de água. Faixa com tensões superiores a 70 kPa: solo com baixa disponibilidade de água e excelente aeração, fora do limite de funcionamento do tensiômetro. Condição indicada apenas para culturas altamente tolerantes ao déficit de água e/ou estádios definidos de desenvolvimento de culturas específicas onde o déficit de água é desejável.

## REFERÊNCIAS

- ABDELRAOUF, R. E. et al. Effect of pulse irrigation on clogging emitters, application efficiency and water productivity of potato crop under organic agriculture conditions. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, Amman, v. 6, n. 3, p. 807-816, 2012.
- AGRIANUAL: anuário da agricultura brasileira. São Paulo: FNP, 2013. 480 p.
- ALBUQUERQUE, P. E. P.; DURÃES, F. O. M. **Uso e manejo de irrigação**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2008. 528 p.
- ALLEN, R. G. et. al. Water requirements. In: HOFFMAN, G. J. et al. **Design and operation of farm irrigation systems**. St. Joseph: ASABE, 2007. Chap. 8, p. 208-288.
- AL-NAEEM, M. A. Use of pulse trickles to reduce clogging problems in trickle irrigation system in Saudi Arabia. **Pakistan Journal of Biological Sciences**, Shanghai, v. 11, n. 1, p. 68-73, 2008.
- ALVES, M. E. B. Respostas do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) a diferentes lâminas de irrigação e fertirrigação. 1999. 94 f. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 1999.
- ARAÚJO, A. P. et al. Rendimento de melão amarelo cultivado em diferentes tipos de cobertura do solo e métodos de plantio. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 1, p. 123-126, mar. 2003.
- ASSOULINE, S. et al. Soil-plant system response to pulsed drip irrigation and salinity: bell pepper case study. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 70, p. 1556-1568, 2006.
- AZEVEDO, J. A. de; SILVA, E. M. da. **Tensiômetro - dispositivo prático para controle da irrigação**. Planaltina: Embrapa Cerrados, 1999. 39 p.
- BAKEER, G. A. A. et al. Effect of pulse drip irrigation on yield and water use efficiency of potato crop under organic agriculture in sandy soils. **Misr Society of Agricultural Engineering**, Cairo, v. 26, n. 2, p. 736-765, 2009.

BORGES, A. L.; SOUZA, L. S. Cobertura vegetal del suelo para el banano. In: Reunión Acorbat, 13., 1998, Quayaquil. **Memorias...** Quayaquil: Conaban/Acorbat, 1998. p. 608-617.

CÂMARA, M. J. T. et al. Produção e qualidade de melão Amarelo influenciado por coberturas do solo e lâminas de irrigação no período chuvoso. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n.1, p. 58-63, jan./fev. 2007.

CANTU, R. R. et al. Cultivo de rúcula em túneis com diferentes tipos de cobertura e *mulching*. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 1, 2007. Suplemento. 1 CD-ROM.

CASTELLANE, P. D.; ARAÚJO, J. A. C. Cobertura do solo com filme de polietileno: vantagens e desvantagens. **SOB Informa**, Itajaí, v. 3, p. 24-27. 1994.

CEBULA, L. Black and transparent mulches in greenhouse production of sweet pepper II light conditions and the generative development of plants. **Folia-Horticulture**, Krakow, v. 7, n.2, p. 59-67, 1995.

CHAVES, S. W. P. et al. Rendimento de alface em função da cobertura do solo e frequência de irrigação. **Caatinga**, Mossoró, v. 17, n. 1, p. 25-31, 2004.

CLARK, G. A.; MAYNARD, D. N. Vegetable production on various bed widths using drip irrigation. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v. 8, n. 1, p. 28-32, 1992.

COELHO, S. L.; TEIXEIRA, A. S. Avaliação do tensiômetro eletrônico no monitoramento do potencial matricial de água no solo. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 536-545, set./dez. 2004.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. 2. ed. Campina Grande: UFPB, 2000. 221 p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33).

ELMALOGLU, S., DIAMANTOPOULOS, E. Effects of hysteresis on redistribution of soil moisture and deep percolation at continuous and pulse drip irrigation. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 96, p. 533-538, 2009.

ELMALOGLU, S.; DIAMANTOPOULOS, E. The effect of intermittent water application by surface point sources on the soil moisture dynamics and on deep

percolation under the root zone. **Computers and electronics in agriculture**, New York, v. 62, p. 266-275, 2008.

ELMALOGLU, S.; DIAMANTOPOULOS, E. Wetting front advance patterns and water losses by deep percolation under the root zone as influenced by pulsed drip irrigation. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 90, p. 160-163, 2007.

ELMALOGLU, S.; MALAMOS, N. Analysis of soil water movement under a trickle surface line source for irrigation design. **ICDI Journal**, Abingdon, v. 48, p. 53-60, 1999.

EVANGELISTA A. W. P.; PEREIRA, G. M. Avaliação de dois tipos de evaporímetros na estimativa da demanda evaporativa do ar (ET) no interior de casa de vegetação, em Lavras-MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 27, p. 1348-1353, 2003.

FELTRIM, A. L. et al. Produção de alface americana em solo e em hidroponia, no inverno e verão, em Jaboticabal, SP. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 4, p. 505-509, Dec. 2005.

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

HOCHMUTH, G. J.; HOCHMUTH, R. C.; OLSON, S. M. **Polyethylene mulching for early vegetable production in North Florida**. 2001. Disponível em: <[http://edis.ifas.ufl.edu/BODY\\_CV213](http://edis.ifas.ufl.edu/BODY_CV213)>. Acesso em: 12 ago. 2012.

JACKSON, L. et al. **Iceberg lettuce production in California**. 1999. Disponível em: <<http://www.ucanr.org/freepubs/docs/7215.pdf>>. Acesso em: 9 jul. 2012.

KARMELI, D.; PERI, G. Basic principles of pulse irrigation. **Journal of the Irrigation and Drainage Division**, New York, v. 100, n. 3, p. 309-319, 1974.

KOETZ, M. et al. Efeito de doses de potássio e da frequência de irrigação na produção da alface-americana em ambiente protegido. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, p. 730-737, 2006a.

KOETZ, M. et al. Produção do meloeiro em ambiente protegido irrigado com diferentes lâminas de água. **Irriga**, Botucatu, v. 11, p. 500-506, 2006b.



LEVIN, I.; VAN ROOYEN, F. C. Soil water flow and distribution in horizontal and vertical directions as influenced by intermittent water application. **Soil Science**, Baltimore, n. 24, p. 355-365, 1977.

LEVIN, I.; VAN ROOYEN, P. C.; VAN ROOYEN, F. C. The effect of discharge rate and intermittent water application by point source irrigation on the soil moisture distribution pattern. **Soil Science Society America Journal**, **Madison**, v. 43, p. 8-16, 1979.

LIMA JÚNIOR, J. A. et al. Comportamento produtivo e econômico da alface americana em função de diferentes lâminas de água. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 11, p. 1161-1167, nov. 2011.

LOPES, J. C. et al. Produção de alface com doses de lodo de esgoto. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23 n. 1, p. 143-147, 2005.

MAHAJAN, G. Effect of plastic mulch on economizing irrigation water and weed control in baby corn sown by different methods. **African Journal of Agricultural Research**, Nairobi, v. 2, n. 1, p. 19-26, Jan. 2007.

MAROUELLI W. A.; SILVA, W. L. C. Irrigação por gotejamento do tomateiro industrial durante o estágio de frutificação, na região de Cerrado. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 24, n. 3, jul./set. 2006.

MAROUELLI, W. A. **Tensiômetros para o controle de irrigação em hortaliças**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2008. 15 p. Circular técnica, 57.

MARTINS, S. R. Desafios da plasticultura brasileira: limites sócio-econômicos e tecnológicos frente as novas e crescentes demandas. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.14, n. 2, p. 133-138, 1996.

MEDEIROS, J. F. et al. Crescimento e produção do melão cultivado sob cobertura de solo e diferentes frequências de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 4, p. 792-797, 2006.

MENEZES JÚNIOR, F. O. G. et al. Estimativa de evapotranspiração em ambiente protegido mediante a utilização de diferentes evaporímetros. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11., 1999, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: SBA, 1999. p. 2130-2136.

MOSTAGHIMI, S.; MITCHELL, J. K. Pulsed trickling effect on soil moisture distribution. **Water Resources Bulletin**, Baton Rouge, v.19, n. 4, p. 605-612, 1983.

MOTA, J. H. et al. Avaliação de cultivares de alface americana durante o verão em Santana da Vargem, MG. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 2, p. 2344-2347, 2003.

NEGREIROS, M. Z. et al. Rendimento e qualidade do melão sob lâminas de irrigação e cobertura do solo com filmes de polietileno de diferentes cores. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, p. 773-779, 2005.

OLIVEIRA, A. C. B. et al. Divergência genética e descarte de variáveis em alface cultivada sob sistema hidropônico. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 26, n. 2, p. 211-217, 2004.

PEREIRA, A. R.; ANGELOCCI, L. R.; SENTELHAS, P. C. **Agrometeorologia: fundamentos e aplicações práticas**. Guaíba: Agropecuária, 2002. 478 p.

PEREIRA, C. Z.; RODRIGUES, D. S.; GOTO, R. Efeito da cobertura do solo na produtividade da alface cultivada no verão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 40; CONGRESSO IBEROAMERICANO SOBRE UTILIZAÇÃO DE PLÁSTICO NA AGRICULTURA, 2; SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO DE PRODUÇÃO DE PLANTAS MEDICINAIS, AROMÁTICAS E CONDIMENTARES, 1., 2000, São Pedro. **Anais...** São Pedro: SOB, 2000. p. 492-493.

RAMAKRISHNA, A. et al. Effect of mulch on soil temperature, moisture, weed infestation and yield of groundnut in northern Vietnam. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 95, p. 115-125, 2006.

ROCHA, O. C.; GUERRA, A. F.; AZEVEDO, H. M. Ajuste do modelo Chistiansen-Hargreaves para estimativa da evapotranspiração do feijão no cerrado. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 263-268, 2003 .

RODRIGUES, D. S. **Lâminas de água e diferentes tipos de cobertura no solo na cultura de pimentão amarelo sob cultivo protegido**. 2001. 122 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

SALVETTI, M. G. **O polietileno na agricultura brasileira**. São Paulo: Poliolefinas, 1995. 154 p.

SANTOS, I. S. et al. Economia de água na irrigação do coqueiro em função de áreas de maior concentração do sistema radicular e cobertura do solo. **Ambi-Água**, Taubaté, v. 3, n. 3, p. 105-113, 2008.

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

SILVA, M. C. C. et al. Produtividade de frutos do meloeiros sob diferentes níveis de salinidade da água de irrigação, com e sem cobertura do solo. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 2, p. 202-205, 2005.

SILVA, P. A. M. et al. Função de resposta da alface americana aos níveis de água e adubação nitrogenada. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, p. 1266-1271, 2008.

SILVEIRA, P. M.; STONE, L. F. **Manejo da irrigação do feijoeiro**: uso do tensiômetro e avaliação do desempenho do pivô central. Brasília: Embrapa-SPI, 1994. 46 p. (Circular Técnica, 27).

SNYDER, R. L. Equation for evaporation pan to evapotranspiration conversions. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, New York, v.118, p. 977-980, 1992.

STONE, L.F. et al. Evapotranspiração do feijoeiro irrigado em plantio direto sobre diferentes palhadas de culturas de cobertura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 4, p. 577-582, abr. 2006.

TSEKLEEV, G.; BOYADJIEVA, N.; SOLAKOV, Y. Influence of photo-selective mulch films on tomatoes in greenhouses. **Plasticulture**, Paris, v. 95, p. 45-49, 1993.

VERDIAL, M. F. et al. Production of iceberg lettuce mulches. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 58, n. 4, p. 737-740, 2001.

WARNER, R.; HOFFMAN, O.; WILHOIT, J. The effects of pulsing drip irrigation on tomato yield and quality in kentucky. 2009. Disponível em: <<http://www.ca.uky.edu/agc/pubs/pr/pr603/pr603.pdf>>. Acesso em: 9 maio 2012.

YURI, J. E. et al. Comportamento de cultivares de alface tipo americana em Boa Esperança. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 2, p. 229-232, 2002.

YURI, J. E. et al. Comportamento de cultivares e linhagens de alface americana em Santana da Vargem (MG), nas condições de inverno. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 2, p. 322-325, abr./jun. 2004.

ZIN EL-ABEDIN, T.K. **Effect of pulse drip irrigation on soil moisture distribution and maize production in clay soil**. 2006. Disponível em: <<http://www.mjae.eg.net/pdf/2006/nov/19.pdf>>. Acesso em: 21 set. 2012.

**SEGUNDA PARTE – ARTIGOS**

**ARTIGO 1 Influência do gotejamento por pulsos e da cobertura plástica na distribuição da água e formação do bulbo molhado no solo**

## RESUMO

Objetivou-se, com este trabalho, estabelecer comparações entre os bulbos molhados formados pelo gotejamento contínuo e por pulsos, com e sem cobertura plástica no final do ciclo da irrigação. O estudo foi conduzido em um Latossolo Vermelho Distroférrico, em Lavras, MG. Em todos os tratamentos, foi aplicado simultaneamente, o volume de  $2,70 \times 10^{-3} \text{ m}^3$  (2,7 L) a uma vazão de  $7,22 \times 10^{-7} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (2,7 L h<sup>-1</sup>). O potencial de água no solo foi realizado através de tensiômetros. Foram realizadas avaliações em cinco momentos (1, 6, 24 e 48 horas após a totalidade da irrigação) e em duas direções (horizontal e vertical), para o gotejamento contínuo e por pulsos, com o solo sem e com cobertura plástica, resultando em cinco tomadas por tratamento, num total de 20 figuras. As figuras foram confeccionadas pela interpolação dos valores da umidade do solo obtidos empregando-se o método da krigagem, utilizando o *software* Surfer 8.0. Através dessas figuras, foi observado que o gotejamento por pulsos proporcionou aumento nas dimensões e teor de umidade do bulbo molhado e a interação do gotejamento por pulsos com o uso de cobertura plástica melhora a distribuição e armazenamento da água no solo.

Palavras-chave: Potencial matricial. Umidade do solo. Tensiômetros.

### ABSTRACT

The objective of this work was to establish comparisons among the wet bulbs formed by continuous and pulse drip irrigation, with and without plastic cover at irrigated soil. The study was conducted in a Distroferric Red Latosol, Lavras-MG. In all treatments were applied simultaneously, the volume of  $2.70 \times 10^{-3} \text{ m}^3$  (2.7 L) at a flow rate of  $7.22 \times 10^{-7} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (2.7 L h<sup>-1</sup>). The soil water potential was measured by tensiometers. Evaluations were made at five time events (1, 6, 24 and 48 hours after the entire irrigation) and in two directions (horizontal and vertical) for the pulsed and continuous drip, considering soil without and with plastic cover, resulting in five bulb maps per treatment level, with a total of 20 maps prepared by interpolating values of soil moisture obtained using the kriging method, through Surfer 8.0 software. It was observed that drip by pulses provided an increase in moisture content and size of wet bulb. The drip interaction by pulses with plastic cover improves the distribution and water storage in the soil.

Keywords: Matricial potential. Soil moisture. Tensiometers.



## 1 INTRODUÇÃO

O gotejamento é caracterizado pela aplicação de água sob o solo na área de absorção das raízes das culturas, com pequena intensidade, porém, com alta frequência, de modo que se mantém a umidade do solo na zona radicular próxima à capacidade de campo. Devido à aplicação de água no solo pelos gotejadores proporcionar uma área molhada com forma circular na superfície, e de um bulbo na subsuperfície, apenas uma pequena porção da superfície do solo é molhada, o que diminui bastante a evaporação direta da água do solo para a atmosfera, quando comparada, por exemplo, com a irrigação por aspersão.

Conforme Elmaloglou e Diamantopoulos (2008) na irrigação por gotejamento é essencial conhecer os efeitos da técnica de aplicação de água sobre a dinâmica da umidade do solo e na percolação sob a zona radicular. As informações sobre a distribuição da água no bulbo molhado são importantes, tanto para o dimensionamento dos sistemas de irrigação como no seu manejo. Já que a determinação do espaçamento entre emissores, a localização de sensores de umidade, e a definição das zonas de diferentes intensidades de absorção de água e nutrientes requerem o conhecimento da dinâmica de água no bulbo molhado.

Maia e Levien (2010) relatam que a forma e diâmetro dos bulbos úmidos dependem do equilíbrio de forças gravitacionais e matriciais e está relacionada, entre outros fatores, à quantidade de água aplicada e à textura do solo. Por exemplo, em solos argilosos em razão da menor taxa de infiltração, a formação de bulbo é maior na dimensão horizontal devido à maior influência do potencial matricial sobre a gravidade.

Estudos recentes mostram que a aplicação da água por pulsos, ou seja, série de ciclos em que cada ciclo consiste de uma curta fase de irrigação e uma curta fase de repouso pode alterar a formação do bulbo molhado. Segundo Zin

El-Abedin (2006), a aplicação da água por pulsos permite reduzir a taxa média de irrigação para um valor que coincide com condutividade hidráulica do solo e minimiza a percolação abaixo da zona radicular efetiva. Os pulsos podem ser aplicados em qualquer método de irrigação mas seu uso é, no entanto, maior em sistemas de irrigação por gotejamento.

Trabalhos realizados através de simulações e modelagem comprovaram uma ligeira redução da percolação profunda em solos, areia franca e franco-siltoso (ELMALOGLU; DIAMANTOPOULOS, 2007, 2008).

Abdelraouf et al. (2012) observaram que o aumento do número de pulsos melhorou a eficiência de aplicação (relação entre o volume de água armazenada na zona radicular e o volume de água aplicada). Segundo os autores, com o gotejamento por pulsos, o movimento da água foi maior na direção horizontal do que na vertical. Com um maior volume de solo molhado na zona radicular, houve um maior volume de água armazenado na zona radicular. Resultado semelhante foi observado por Bakeer et al. (2009) cujo volume de solo molhado teve um aumento de 48% quando se comparou a irrigação por gotejamento contínuo com o gotejamento por pulsos.

Outra prática utilizada na agricultura irrigada e responsável pela alteração da relação solo-água-planta é a cobertura do solo, já que é capaz de diminuir a taxa de evapotranspiração, aumentando o turno de rega de irrigação e, por conseguinte, os custos de operação com o sistema de fornecimento de água (STONE et al., 2006). A cobertura do solo com plásticos reduzem substancialmente a evaporação de água na superfície do solo, especialmente sob sistemas de irrigação por gotejamento, aumentando a eficiência do uso de água. A cobertura conserva a umidade próxima à superfície do solo, forçando as raízes a se concentrarem na camada mais aquecida e mais fértil do perfil (SAMPAIO; ARAÚJO, 2001).

Apesar de se conhecer os efeitos da cobertura plástica sobre a redução da transpiração do solo e da alteração da temperatura do solo, são poucos os trabalhos que investigam a movimentação da água do solo em condições reais. O mesmo pode ser constatado para a irrigação por pulsos em que a maioria dos estudos foi realizada em regiões e solos diferentes.

Este trabalho teve como objetivo avaliar e comparar os bulbos de irrigação e verificar a tendência de caminhamento da água no solo influenciada pela aplicação da água por gotejamento contínuo e por pulsos, com o solo com e sem cobertura.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em julho de 2012 em ambiente protegido situado na área experimental do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, em Lavras, MG, localizada entre as coordenadas geográficas: 21° 13' 48" de latitude Sul, 44° 58' 36" de longitude Oeste e altitude de 902 m.

De acordo com a classificação de Köppen a região apresenta clima Cwa, ou seja, clima temperado chuvoso (mesotérmico), com inverno seco e verão chuvoso, 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 (DANTAS; CARVALHO; FERREIRA, 2007).

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho Distroférico de textura argilosa e suas características físico-hídricas estão representadas na Tabela 1.

A densidade do solo foi determinada pelo método do anel volumétrico, dividindo-se a massa de solo seco em estufa a 105°C pelo volume do anel utilizado para coleta da amostra. A análise granulométrica e a densidade de partículas foram realizadas no Departamento de Ciências do Solo da UFLA.

Tabela 1 Resultados das características físicas do solo da área experimental

Camada (cm)	Granulometria (dag kg <sup>-1</sup> )			Ds (kg dm <sup>-3</sup> )	Dp (kg dm <sup>-3</sup> )	P (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )
	Areia	Silte	Argila			
0-20	8	30	62	0,97	2,82	0,656
20-40	8	28	64	0,99	2,86	0,654
40-60	7	24	69	0,99	2,86	0,654

p = Porosidade; Ds = Densidade do solo; Dp = Densidade das partículas

A determinação dos pontos da curva de retenção de água foi realizada pelo método do funil de placa porosa (funil de Haines) para os pontos de 2, 4, 6, 8 e 10 kPa e na câmara de Richards para os pontos de 33, 100, 500 e 1500 kPa.

O ajuste da curva foi realizado de acordo com a metodologia proposta por van Genuchten (1980), pela qual a relação entre a umidade do solo e a tensão matricial pode ser descrita por:

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

em que:

$\theta(h)$  – umidade do solo ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) para um dado valor de h;

$\theta_r$  – umidade residual do solo ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ );

$\theta_s$  – umidade de saturação do solo ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ );

$\alpha$ , n e m – parâmetros de ajuste do modelo;

h – potencial matricial (kPa.).

O ajuste do modelo foi feito com o auxílio do programa *Soil Water Retention Curve - SWRC* (DOURADO NETO et al., 2000).

A condutividade hidráulica do solo saturado (K) foi determinada por meio de permeâmetro de carga constante com o uso de amostras indeformadas saturadas previamente por capilaridade. Considerou-se, para efeito de cálculo, o valor estabilizado após cinco leituras iguais. Utilizou-se a equação de Darcy para o cálculo da condutividade hidráulica do solo saturado:

$$K_s = 600 \cdot \frac{(Q \cdot L)}{(A \cdot h \cdot t)} \quad (2)$$

em que:

$K_s$  = condutividade hidráulica do solo saturado ( $\text{mm h}^{-1}$ );

$Q$  = volume de água coletada no intervalo de tempo “t” ( $\text{cm}^3$ );

$L$  = altura do cilindro (cm);

$A$  = área da seção transversal do cilindro (cm<sup>2</sup>);

$h$  = altura da lâmina d'água sobre a amostra (cm);

$t$  = intervalo de tempo entre as coletas (min).

Na Tabela 2 estão demonstrados os parâmetros da curva de retenção, os valores médios obtidos para a condutividade hidráulica saturada do solo e os valores de capacidade de campo e ponto de murcha permanente do solo estudado.

Tabela 2 Parâmetros da equação de retenção de água e valores médios de capacidade de campo (CC) e ponto de murcha permanente (PMP) e condutividade hidráulica saturada ( $K_0$ )

Parâmetros					$r_{aj}^2$
$\alpha$	$\theta_s$	$\theta_r$	$n$	$m$	
0,5521	0,621	0,276	18,8906	0,0243	0,98
CC (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )		PMP (cm <sup>3</sup> cm <sup>-3</sup> )		$K_0$ (cm h <sup>-1</sup> )	
0,433		0,276		15,03	

O sistema de irrigação utilizado consistiu em motobomba, filtro de disco 120 *mesh* de ¾", válvulas solenoides acionadas por 24VAC e controlador de irrigação da marca *RainBird*<sup>®</sup> modelo E-9c. O gotejador utilizado foi autocompensante, tipo botão, com vazão de  $7,22 \times 10^{-7} \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$  (2,7 L h<sup>-1</sup>).

Para o monitoramento do movimento da água no solo foi instalada uma bateria com 20 tensiômetros, formando uma malha na região compreendida entre 10 e 40 cm de distância do ponto de emissão do gotejador na horizontal e a cada 10 cm, até a profundidade de 50 cm na vertical. Os tensiômetros foram distribuídos ao longo dos planos cortantes ao bulbo molhado, passando pelo ponto de emissão, de maneira que a projeção desses planos em um único plano produziu a vista lateral conforme a Figura 1.

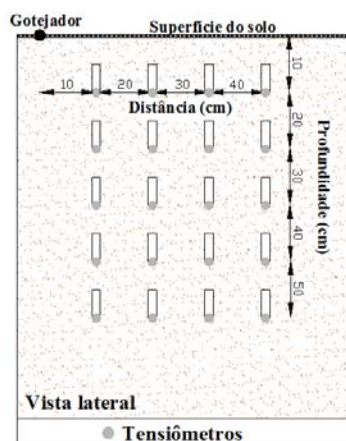


Figura 1 Modelo ilustrativo da disposição dos tensiômetros no solo

O monitoramento do conteúdo de água no solo foi realizado antes e após a irrigação (1, 6, 24 e 48 horas). No caso da irrigação por pulsos, foram realizadas seis irrigações de 10 minutos com intervalos de 50 minutos entre os pulsos e as leituras foram realizadas 1 hora após a aplicação da totalidade dos pulsos. Para a realização do monitoramento dos tratamentos com o solo coberto, foi instalado sobre a superfície do solo, um filme plástico, com espessura de 30 micra, de dupla face (branco/preto), com dimensões de 1m x1m, de forma a cobrir todos os tensiômetros instalados no solo.

Para que as leituras fossem realizadas sem ser comprometidas pelo limite de leitura dos tensiômetros, as irrigações foram realizadas quando o solo estava com a tensão média de -24 kPa ou seja umidade média abaixo de  $0,39 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ . Esse valor foi escolhido também por ser o valor limite de tensão de algumas culturas irrigadas por gotejamento, como por exemplo, a alface (SANTOS; PEREIRA, 2004; SILVA; MAROUELLI, 1998).

Foram realizadas avaliações em cinco momentos (1, 6, 24 e 48 horas após a totalidade da irrigação) e em duas direções (horizontal e vertical), para o

gotejamento contínuo e por pulsos, com o solo sem e com cobertura plástica, resultando em cinco tomadas por tratamento, num total de 20 gráficos.

Na elaboração desses gráficos fez-se necessária a fixação de alguns valores para que se padronizassem as figuras, facilitando a comparação entre mesmas. Os valores de umidade do solo com base em volume foram limitados a 0,46 e 0,35  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$  (valor máximo e mínimo, respectivamente, verificado neste trabalho). A mesma relação entre cores e valores de umidade foi utilizada em todos os gráficos. Se em determinado gráfico, por exemplo, a cor verde correspondeu a 0,38  $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$  de umidade do solo, em outro gráfico, independente de qualquer escala, essa cor representou o mesmo valor de umidade. A partir dessa padronização foi possível visualizar e comparar o comportamento da água aplicada ao solo entre os tratamentos.

As figuras foram confeccionadas pela interpolação dos valores da umidade do solo obtidos empregando-se o método da krigagem, utilizando o *software Surfer 8.0* (GOLDEN SOFTWARE, GOLDEN, CO, EUA).



### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Figuras 2 e 3 estão representados os valores de umidade do solo com base em volume, influenciada pela irrigação por gotejamento contínuo e por pulsos, sem e com cobertura plástica, em cinco diferentes instantes (antes, 1, 6, 24 e 48 horas após a irrigação). Nessas figuras, observa-se de que maneira a água aplicada se distribuiu no solo permitindo claramente a visualização dos bulbos de irrigação formados no solo.

Verifica-se inicialmente que, antes da irrigação, o solo apresenta a umidade máxima de  $0,38 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ . Após a irrigação total, constatou-se que o volume molhado apresentou um formato próximo ao de uma semiesfera, com dimensões limitadas pela isolinha de  $0,39 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ . Nessa avaliação observou-se que existem zonas com umidade superior a capacidade de campo ( $0,433 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$ ), evidenciando que ainda não ocorreu a total distribuição da água no solo.

Na avaliação realizada seis horas após a irrigação verificou-se que o formato e dimensões dos bulbos foram mais perceptíveis devido à distribuição da umidade. Nessa avaliação foi verificado que a irrigação contínua proporcionou bulbos com formato elíptico, tendo a maior concentração de água no centro do bulbo. Já com a utilização do gotejamento por pulsos, foi observado um bulbo mais alongado horizontalmente, tendendo a um formato retangular e uma maior concentração de umidade na camada superficial do solo. O uso da cobertura do solo também influenciou na distribuição de água no solo, principalmente quando associado ao gotejamento por pulsos, nesse caso foi observado um acréscimo no movimento horizontal e uma maior expansão do bulbo, que apresentou formato retangular. No caso do gotejamento contínuo com *mulching* observou-se acréscimo no movimento horizontal e uma maior concentração da umidade na camada superficial.

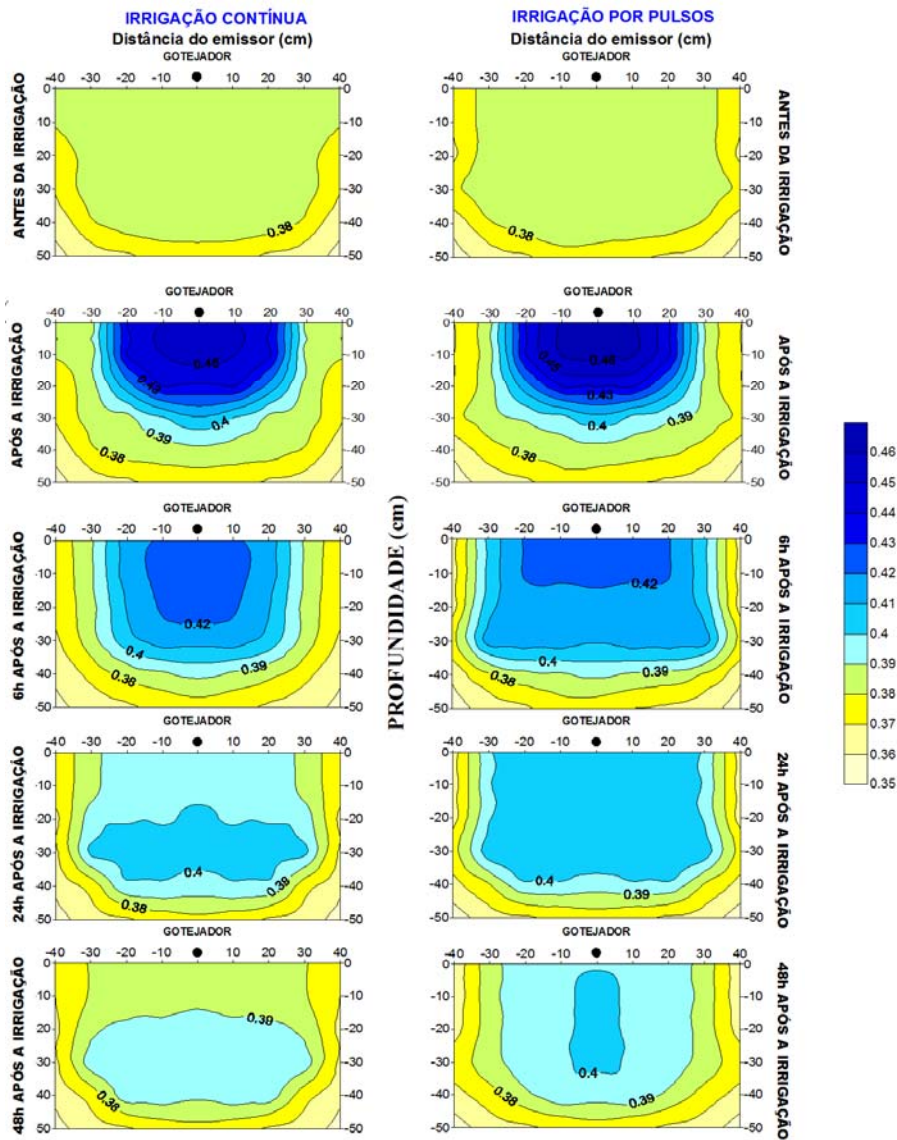


Figura 2 Representação gráfica da distribuição da umidade do solo com base em volume ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ), antes da irrigação, após a irrigação, 6, 24 e 48 horas após a irrigação contínua e por pulsos sem cobertura plástica

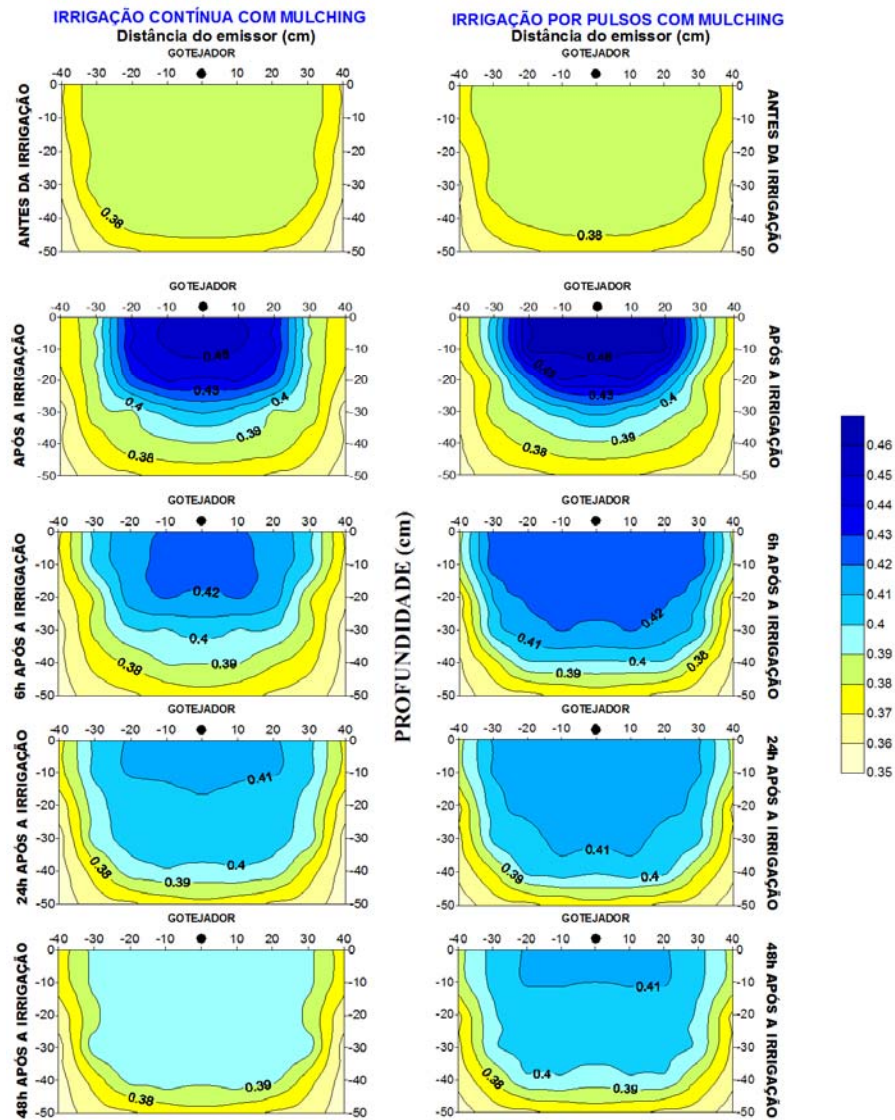


Figura 3 Representação gráfica da distribuição da umidade do solo com base em volume ( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ ), antes da irrigação, após a irrigação, 6, 24 e 48 horas após a irrigação contínua e por pulsos com cobertura plástica

As diferenças entre os bulbos formados, sem e com cobertura, podem ser explicadas em virtude de que quando o solo não é coberto, a umidade se move por ação capilar para a superfície e evapora; já o uso da cobertura plástica reduz a evaporação do solo, melhorando a infiltração e a retenção de água. Vale também ressaltar que em razão da condensação da água à noite, devido a inversões de temperatura, há um favorecimento da umidade próxima da superfície do solo (BLACK et al., 1994; ACHARYA; HATI; BANDYOPADHYAY, 2005).

As diferenças obtidas entre o gotejamento contínuo e por pulsos podem ser explicadas em razão dos pulsos da água reduzirem a taxa média de irrigação para um valor que coincide com condutividade hidráulica do solo, favorecendo assim a distribuição de água no solo (ZIN EL-ABEDIN, 2006). Favorecimento do movimento horizontal do bulbo devido ao gotejamento por pulsos foi observado tanto por Abdelraouf et al. (2012) como por Bakeer et al. (2009) que observaram um aumento, no volume de solo molhado, de 48% quando se comparou a irrigação por gotejamento contínua com o gotejamento por pulsos.

Na avaliação realizada 24 horas após a irrigação verificou-se que, com o gotejamento contínuo a maior concentração da umidade foi encontrada abaixo dos 20 cm de profundidade; também foi observado um alongamento do bulbo nessa região. Já a irrigação por pulsos proporcionou uma umidade mais uniforme no perfil do solo, sendo sua dimensão de pouco mais de 30 cm na horizontal e pouco mais de 40 cm na vertical. Em relação à interação do gotejamento contínuo com a cobertura do solo verificou-se que houve uma maior manutenção da umidade próximo da superfície do solo, além de uma maior uniformidade na distribuição da mesma, comprovando que a cobertura plástica modifica a formação do bulbo molhado. Já a interação do gotejamento por pulsos com a cobertura plástica proporcionou os melhores resultados, tanto

em relação ao armazenamento quanto à distribuição de água e manteve um maior volume de solo com maior umidade.

Na última avaliação, realizada 48 horas após a irrigação verifica-se que no caso da irrigação contínua há apenas uma concentração de umidade na camada de 20-40 cm de profundidade. Com a irrigação por pulsos verificou-se, nessa avaliação, a redução na largura do bulbo e uma concentração de umidade abaixo do emissor na camada de 0-30 cm. Ao contrário do que ocorreu com o gotejamento contínuo e sem cobertura, os pulsos e a cobertura mantiveram o armazenamento de água na camada de 0-40 cm. Já o gotejamento por pulsos com cobertura plástica manteve uma maior umidade do solo, conforme pode ser visualizado na Figura 3. A distribuição da umidade nesse instante foi similar a encontrada pelo gotejamento contínuo com cobertura às 24 horas após a irrigação. Isso demonstra que a irrigação por pulsos e sua interação com a cobertura plástica pode proporcionar aumento do tempo de armazenamento de água no solo.

#### 4 CONCLUSÕES

- a) O gotejamento por pulsos proporcionou aumento nas dimensões e teor de umidade do bulbo molhado.
- b) O uso de cobertura plástica reduz as perdas de água do solo.
- c) O gotejamento por pulsos com o uso de cobertura plástica melhora a distribuição e armazenamento da água no solo.

## REFERÊNCIAS

- ABDELRAOUF, R. E. et al. Effect of pulse irrigation on clogging emitters, application efficiency and water productivity of potato crop under organic agriculture conditions. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, Amman, v. 6, n. 3, p. 807-816, 2012.
- ACHARYA, C. L.; HATI, K. M.; BANDYOPADHYAY, K. K. Mulches. In: HILLEL, D. (Ed.). **Encyclopedia of Soil in the Environment**. Amsterdam: Elsevier, 2005. p. 521-532.
- BAKEER, G. A. A. et al. Effect of pulse drip irrigation on yield and water use efficiency of potato crop under organic agriculture in sandy soils. **Misr Journal of Agricultural Engineering**, Cairo, v. 26, n. 2, p. 736-765, 2009.
- BLACK, R. J. et al. **Mulches for the landscape**. Gainesville: University of Florida, 1994. 4 p. Disponível em: <<http://edis.ifas.ufl.edu/mg251>>. Acesso em: 18 out. 2012.
- DANTAS, A. A. A.; CARVALHO, L. G.; FERREIRA, E. Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1862-1866, nov./dez. 2007.
- DOURADO NETO, D. et al. Software to model soil water retention curves (SWRC, version 2.00). **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.57, p.191-192, 2000.
- ELMALOGLU, S.; DIAMANTOPOULOS, E. The effect of intermittent water application by surface point sources on the soil moisture dynamics and on deep percolation under the root zone. **Computers and electronics in agriculture**, Toowoomba, v. 62, p. 266-275, 2008.
- ELMALOGLU, S.; DIAMANTOPOULOS, E. Wetting front advance patterns and water losses by deep percolation under the root zone as influenced by pulsed drip irrigation. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 90, p. 160-163, 2007.
- MAIA, C. E.; LEVIEN, S. L. A. Estimativa de dimensões de bulbo molhado em irrigação por gotejamento superficial aplicando modelo de superfície de resposta. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 6, p. 1302-1308, 2010.

SAMPAIO, R. A.; ARAÚJO, W. F. Importância de cobertura plástica do solo sobre o cultivo de hortaliças. **Agropecuária Técnica**, Areia, v. 22, n. 1/2, p. 1-12, 2001.

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

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

STONE, L. F. et al. Evapotranspiração do feijoeiro irrigado em plantio direto sobre diferentes palhadas de culturas de cobertura. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 41, n. 4, p. 577-582, abr. 2006.

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

ZIN EL-ABEDIN, T. K. **Effect of pulse drip irrigation on soil moisture distribution and maize production in clay soil**. 2006. Disponível em: <<http://www.mjae.eg.net/pdf/2006/nov/19.pdf>>. Acesso em: 21 set. 2012.



**ARTIGO 2 Gotejamento por pulsos e cobertura do solo na produtividade da alface americana**

## RESUMO

Um experimento foi conduzido em ambiente protegido na Universidade Federal de Lavras com a cultura da alface americana cv. *Raider- Plus*. O objetivo do trabalho foi avaliar os efeitos de lâminas de irrigação aplicadas por gotejamento por pulsos e da cobertura do solo sobre a produtividade e eficiência do uso da água. O delineamento experimental foi o de blocos ao acaso, foram utilizados oito tratamentos e três repetições, perfazendo um total de vinte e quatro parcelas. Os tratamentos constituíram-se do solo com e sem cobertura do solo (plástico dupla face branco/preto) associado a quatro manejos de irrigação. Os manejos de irrigação consistiram na reposição de lâminas de irrigação, com base na evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ) sendo  $L_1$  - 50% da  $ET_c$ ,  $L_2$  - 75% da  $ET_c$  e  $L_3$  - 100% da  $ET_c$  todas aplicadas por pulsos e  $L_4$  -100% da  $ET_c$  aplicada de forma contínua (testemunha). A irrigação por pulsos consistiu no parcelamento da lâmina em seis pulsos de irrigação com intervalos de cinquenta minutos de repouso. Foi observado que a irrigação da cultura da alface via gotejamento por pulsos e a cobertura do solo com material plástico proporciona aumento na produtividade e na eficiência no uso da água.

Palavras-chave: Eficiência do uso da água. Ambiente protegido. Lâminas de irrigação.

### ABSTRACT

An experiment was conducted in a greenhouse at the Federal University of Lavras cultivated with lettuce cv. Raider-Plus. The objective of this study was to evaluate the effects of irrigation water depths applied by drip pulses and soil cover on the productivity and efficiency of water use. The experimental design was randomized blocks with eight treatments and three replications, for a total of twenty-four plots. The treatments consisted of soil with and without soil cover (double-side plastic white/black) associated with four irrigation management levels. Irrigation management consisted in reposition of irrigation depths based on crop evapotranspiration ( $ET_c$ ) with  $L_1$  - 50% of  $ET_c$ ,  $L_2$  - 75%  $ET_c$  and  $L_3$  - 100%  $ET_c$  all pulsed; and  $L_4$ -100 %  $ET_c$  applied continuously (control). Irrigation by pulses consisted of splitting the depths into six irrigation pulses with intervals of fifty minutes of rest. It was observed that irrigation of lettuce crop by drip pulses and soil cover with plastic material increased productivity and efficiency in water use.

Keywords: Water use efficiency. Greenhouse. Water depth.

## 1 INTRODUÇÃO

A busca por técnicas que aumentem a produtividade e qualidade das culturas com o uso racional dos recursos é cada vez mais intensa. Esse é o principal objetivo da agricultura moderna que se preocupa em investir cada vez mais em tecnologia para ampliar a produtividade, reduzir custos e melhorar a qualidade do produto de forma sustentável.

Recentemente tem-se estudado a técnica de irrigação por pulsos que consiste na prática de um curto período de irrigação, seguido de uma fase de repouso e outro curto período de irrigação, e esse ciclo se repete até que toda a lâmina necessária seja aplicada.

A irrigação por gotejamento por pulsos foi testada em algumas culturas, em diferentes regiões do mundo, tais como no pimentão em Israel (ASSOULINE et al., 2006), no milho no Egito (ZIN EL-ABEDIN, 2006), no tomateiro nos Estados Unidos (WARNER; HOFFMAN; WILHOIT, 2009) e na batata no Egito (ABDELRAOUF et al., 2012; BAKEER et al., 2009). Nesses estudos foram verificados efeitos positivos sobre o aumento da produtividade, melhoria da qualidade dos produtos, economia no uso da água, redução do entupimento de emissores, etc.

Outra técnica de importante contribuição para a produção de alimentos é a cobertura do solo que visa, principalmente, o controle de plantas invasoras e a redução de perdas de água por evaporação. Também facilita a colheita e a comercialização, uma vez que o produto é mais limpo e sadio. Entretanto, ao se cobrir o solo, parâmetros importantes do microclima são alterados, como a temperatura do solo, o que influencia na evaporação da água ali presente e no crescimento de microrganismos, fatores esses que, diretamente, também influenciam no consumo de água e no crescimento e desenvolvimento da cultura (GONÇALVES; FAGNANI; PERES, 2005). A cobertura do solo vem se

tornando cada vez mais crescente nos últimos anos, principalmente no cultivo de diversas hortaliças, como a alface americana.

A alface americana vem adquirindo importância crescente, principalmente na região Sul de Minas Gerais. Seu cultivo visa, principalmente, atender às redes "*fastfood*" de alimentação (MOTA et al., 2003). Essa cultivar se diferencia das demais, por apresentar folhas externas de coloração verde-escuro, folhas internas de coloração amarela ou branca, imbricadas, semelhantes ao repolho, crocantes, com maior vida pós-colheita, possibilitando o transporte a longas distâncias (YURI et al., 2002).

A produção da alface ao longo do ano passa por períodos com condições meteorológicas pouco favoráveis. Uma das alternativas existente para minimizar o efeito das adversidades agroclimáticas é o cultivo em ambiente protegido. Essa técnica objetiva a obtenção de maior produtividade com melhor qualidade do produto final durante todo ano através da maior proteção quanto aos fenômenos climáticos como geadas, excesso de chuvas, diminuição da temperatura noturna, proteção do solo contra lixiviação e redução dos custos com fertilizantes e defensivos e a amenização das possíveis infestações de pragas e doenças, que podem aumentar o custo de produção da cultura e eventualmente produzir danos ao meio ambiente.

Em relação ao consumo hídrico, a alface é uma cultura exigente em água e ao se tratar de cultivo protegido, é imprescindível o emprego da irrigação, uma vez que essa é a única forma de repor a água consumida pela cultura. Dessa forma, o manejo adequado da irrigação é importante não apenas por suprir as necessidades hídricas das plantas, mas também por minimizar problemas como doenças e lixiviação de nutrientes, bem como gastos desnecessários com água e energia (KOETZ et al., 2006).

Visto as exigências hídricas da alface e os benefícios relatados pelos estudos sobre o gotejamento por pulsos e a cobertura do solo, foi realizada a

presente pesquisa com o objetivo de avaliar os efeitos de lâminas de irrigação aplicadas por gotejamento por pulsos, sem e com cobertura do solo, em ambiente protegido, na produtividade da alface americana e na eficiência do uso da água.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Caracterização da área

O experimento foi conduzido em casa de vegetação (modelo arco), coberta com filme plástico transparente de 0,15 mm de espessura e instalada na área experimental do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras (UFLA), no período compreendido entre maio e julho de 2011, situado nas coordenadas geográficas 21° 13' 48" de latitude Sul, 44° 58' 36" de longitude Oeste e altitude de 902 m.

De acordo com a classificação de Köppen a região apresenta clima Cwa, ou seja, clima temperado chuvoso (mesotérmico), com inverno seco e verão chuvoso, 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 (DANTAS; CARVALHO; FERREIRA, 2007).

Os dados meteorológicos no interior da casa de vegetação foram obtidos de uma estação agrometeorológica portátil e automática, marca DAVIS, modelo VANTAGE PRO 2, instalada no centro da casa de vegetação (2 m de altura), com monitoramento constante da temperatura e umidade relativa do ar.

O solo da área experimental foi classificado como Latossolo Vermelho Distroférrico, cuja análise granulométrica revelou valores médios de 68 dag kg<sup>-1</sup> de argila, 22 dag kg<sup>-1</sup> de silte e 10 dag kg<sup>-1</sup> de areia. A natureza química da área foi caracterizada conforme Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA (1997), sendo as análises realizadas no laboratório de solos do Departamento de Ciência do Solo (DCS-UFLA), após coleta de amostra na área experimental antes do preparo inicial do solo na profundidade de 0,0 a 0,30 m (Tabela 1).

Tabela 1 Características químicas do solo antes da adubação

pH	M.O.	P	Ca	Mg	H+Al	SB	CTC
	g dm <sup>-3</sup>	mg dm <sup>-3</sup>	-----mmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup> -----				
					--		
6,8	26,1	11,88	38,3	5,4	14,8	14	31
V	K	B	Cu	Fe	Mn	Zn	
%	-----mg dm <sup>-3</sup> -----						
				-			
45,9	98	0,1	8,5	59	55	0,3	

## 2.2 Preparo do solo

A área foi preparada com uma aração e uma gradagem, sendo em seguida levantados canteiros com 1,2 m de largura, 1,50 m de comprimentos e 0,15 m de altura com auxílio de enxada. Na ocasião foi realizada a incorporação da adubação fosfatada, seguindo as recomendações da Comissão de Fertilidade de Solos do Estado de Minas Gerais: 5<sup>a</sup> Aproximação (GOMES; SILVA; FAQUIN, 1999), que também serviu como base para adubação de plantio com N, K<sub>2</sub>O e B.

As coberturas com plástico de dupla face (branco/preto) foram colocadas nos canteiros um dia antes do início dos tratamentos, face preta instalada para baixo, em contato com o solo,

## 2.3 Preparo das mudas e transplante

A alface tipo americana utilizada foi a cultivar *Raider-Plus* da *Semmins Vegetable Seeds*. O material se caracteriza por apresentar um ciclo de 85 dias. A planta de tamanho grande e compacta e possui folhas mais duras com coloração verde clara. É indicada para os cultivos de inverno e ideal para mercados frescos e processamento.



A semeadura foi realizada no dia 16/04/2011, em bandejas de isopor contendo 200 células, preenchidas com substrato comercial “*Plantimax HT*”. Foram realizadas duas pulverizações com inseticidas piretroides e fungicidas à base de oxiclreto de cobre. As mudas foram conduzidas em ambiente protegido durante 25 dias, quando no dia 10 de maio de 2011 foram transplantadas manualmente para os canteiros previamente umedecidos. As mudas foram espaçadas 0,30 x 0,30 m, totalizando 78.740 plantas por hectare.

Durante o período de aclimação das mudas, com duração de 7 dias, foram realizadas aplicações de água correspondentes à 100% da ETc, estimadas com base nas leituras do minitanque evaporímetro instalado no interior do ambiente protegido.

#### **2.4 Sistema de irrigação**

O sistema de irrigação instalado foi o gotejamento, sendo os emissores autocompensantes do tipo “*in-line*”, ou seja, emissores inseridos no tubo durante o processo de extrusão, modelo *NAAN PC* com vazão nominal de 1,6 L h<sup>-1</sup> e distanciados a 0,30 m entre si. O tubo gotejador (DN 16 mm) ficou posicionado na parcela de forma a atender duas fileiras de plantas, trabalhando com pressão de serviço em torno de 140 kPa, que era regulada por meio de uma válvula reguladora de pressão inserida no cabeçal de controle, antes das válvulas de comando elétrico (solenoides). Foi utilizada uma válvula para cada tratamento; tais válvulas eram acionadas por meio de um Controlador Lógico Programável (*RAIN BIRD*), previamente programado, em cada irrigação, para funcionar o tempo necessário visando repor a lâmina de água necessária.

Os canteiros (1,5 x 1,2 m) foram irrigados por duas linhas laterais de gotejamento paralelas ao maior comprimento, espaçadas 0,60 m entre si e 0,30 m entre gotejadores, totalizando 10 pontos de aplicação por parcela (Figura 1).

Foram realizados testes para determinar a vazão média do gotejador e o coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD). Foram encontrados os valores de 1,86 L h<sup>-1</sup> para vazão e 0,99 para o CUD, mostrando alta uniformidade de distribuição de água nas parcelas.

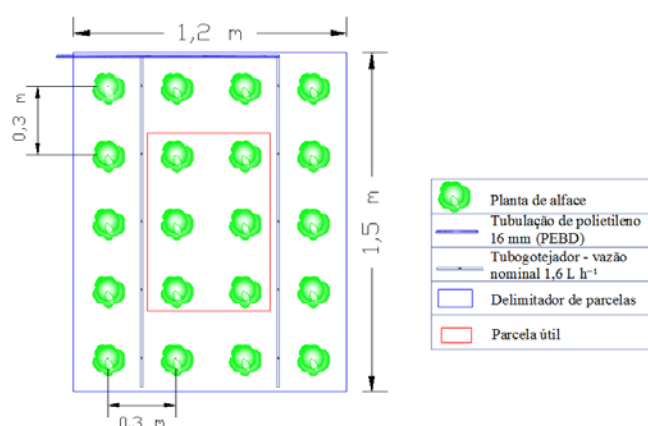


Figura 1 Parcela experimental com o sistema de irrigação

## 2.5 Caracterização dos Tratamentos

O delineamento estatístico adotado foi o de blocos ao acaso (DBC), em esquema fatorial  $(2 \times 3 + 2) \times 3$  (cobertura x gotejamento por pulsos + duas testemunhas) com três repetições, sendo utilizados oito tratamentos, perfazendo um total de 24 parcelas. Cada parcela experimental foi composta de quatro linhas de plantas espaçadas de 0,30 m entre linhas e 0,30 m entre plantas, num total de 20 plantas por parcela (Figura 1).

Os tratamentos constituíram-se do solo sem e com cobertura (plástico dupla face branco/preto) associado a quatro lâminas de reposição de irrigação. Os manejos de irrigação consistiram na reposição de lâminas de irrigação necessária (LIN), com base na evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>) sendo L1 -

100% da ETc aplicada de forma contínua (testemunha), L2 - 100% da ETc aplicada por pulsos, L3 - 75% da ETc aplicada por pulsos e L4 - 50% da ETc aplicada por pulsos. A irrigação por pulsos consistiu no parcelamento da LIN em seis pulsos de irrigação com intervalos de cinquenta minutos (irrigação/repouso). Os pulsos iniciaram às nove horas da manhã e tiveram a duração necessária para aplicar um sexto da lâmina de água programada. As irrigações foram programadas com controle do tempo por um controlador eletrônico e válvulas solenoides.

## 2.6 Manejo da irrigação

A lâmina de água aplicada, com turno de rega de dois dias, foi calculada de acordo com a Eq. 1. Foi utilizado um minitanque evaporimétrico (tanque classe A reduzido) para a estimativa da evaporação conforme recomendado pelos estudos realizados por Medeiros, Pereira e Folegatti (1997). O valor adotado de Kp igual a 1 atende as recomendações de Evangelista e Pereira (2003). O Kc adotado (0,60, 0,8, 1,05 e 1,0) foi o recomendado por Marouelli, Silva e Silva (1996).

$$LIN = \frac{EVm.Kp.Kc}{Ea} \quad (1)$$

em que:

LIN = lâmina de irrigação necessária, mm;

EVm = evaporação do minitanque medida no período, mm;

Kc = coeficiente da cultura;

Kp = coeficiente do tanque;

Ea = eficiência de aplicação de água do sistema adotado (0,95).

Obtiveram-se as diferentes lâminas de irrigação para cada tratamento mediante diferentes tempos de funcionamento das linhas de gotejadores. Esse tempo foi obtido a partir da Eq. 2.

$$T_i = \frac{LIN.sp.slp}{e.q} \quad (2)$$

em que:

$T_i$  = tempo de irrigação para cada tratamento, h;

$Sp$  = espaçamento entre plantas, 0,30 m;

$Slp$  = espaçamento entre linhas de plantas, 0,30 m;

$e$  = número de emissores por planta (0,5);

$q$  = vazão média do gotejador, 1,86 L h<sup>-1</sup>.

## 2.7 Adubação de cobertura e tratos culturais

Nas adubações de cobertura, pós-transplântio, parceladas em três aplicações (15, 30 e 45 dias), foram aplicados um total de 280 g de K<sub>2</sub>O e 560 g de N na área total (parcelas), na forma de solução, aplicada com o auxílio de uma seringa, pontualmente no solo na região do gotejador, tendo-se utilizado como fontes o cloreto de potássio e o nitrato de cálcio.

Com o objetivo de se prevenir deficiências nutricionais que poderiam surgir durante o desenvolvimento da cultura, foram feitas três aplicações de fertilizante foliar (*Nitrofoska A*) durante todo ciclo da alface (12, 28 e 37 DAT). Esse fertilizante possui em sua fórmula as seguintes concentrações de nutrientes: 10% de N, 4% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 7% de K<sub>2</sub>O, 0,02% de B, 0,05% de Cu e 0,02% de Mn.

Quanto ao controle fitossanitário, foram realizadas duas pulverizações com inseticidas piretroides e fungicidas à base de oxicloreto de cobre durante o

período experimental. As plantas invasoras presentes nos tratamentos sem cobertura do solo foram retiradas manualmente.

## **2.8 Variáveis de produção avaliadas**

Neste estudo avaliou-se a produtividade total e da cabeça comercial, (obtida após retirada das folhas externas com coloração amarelada e/ou com sintomas de queimadura em suas bordas), bem como a eficiência do uso da água para cada tratamento (relação entre a produtividade e o volume total de água utilizada na produção). Para isso, no dia 10 de julho de 2011 realizou-se a colheita de seis plantas de cada parcela experimental, totalizando 18 plantas por tratamento.

Após a colheita, as plantas foram pesadas, sendo, em seguida, levadas à estufa de ventilação forçada a 65 °C durante 72 h, para obtenção da massa constante. As massas fresca e seca das plantas foram determinadas utilizando uma balança com 0,01g de precisão.

Os dados relativos aos experimentos foram submetidos à análise de variância (Anova). Quando significativo pelo teste F, os dados médios foram comparados pelo teste de Scott Knott ao nível de 5% de probabilidade, com a finalidade de verificar a existência de alguma diferença significativa entre os tratamentos. Todas as análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do programa estatístico SISVAR versão 4.6 (FERREIRA, 2003).

## **2.9 Eficiência do uso da água**

As eficiências no uso da água (EUA) pela cultura da alface americana nos sistemas de plantio com e sem utilização de cobertura do solo foram obtidas

em kg de massa fresca de alface produzida por m<sup>3</sup> de água aplicada pela irrigação (Equação 3):

$$EUA = \frac{P}{I} \quad (3)$$

em que,

P = produtividade da cultura, em kg ha<sup>-1</sup>;

I = lâmina aplicada pela irrigação, em mm.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Caracterização climática

As variações de umidade relativa do ar e de temperatura do ar ocorridas durante a condução do experimento estão demonstradas na Figura 1. Verifica-se que a umidade média do ar e a temperatura média durante o período experimental foram de 65,3% e 18,3°C, respectivamente. Os valores médios de temperatura ocorridos estão na faixa considerada como adequada ao bom desenvolvimento da alface (15 e 20 °C) conforme citado por Santana, Almeida e Turco (2009).

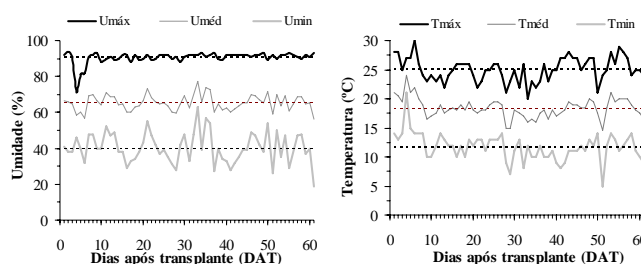


Figura 2 Valores máximos, mínimos e médios da umidade relativa do ar e da temperatura do ar no interior do ambiente protegido

#### 3.2 Lâminas aplicadas

Na Tabela 1 estão elucidados os valores acumulados das lâminas de irrigação aplicada para as diferentes porcentagem da ETc estudadas, durante o período experimental.

Tabela 1 Lâminas de irrigação aplicada (mm) na cultura da alface americana cv. *Raider-Plus* cultivada em ambiente protegido e irrigada por gotejamento contínuo e por pulsos, sem e com cobertura

Tratamento (% ETc)	Lâmina inicial (mm)	Lâmina diferenciada (mm)	Lâmina total (mm)
100-contínuo	24	127,32	151,32
100-pulsos	24	127,32	151,32
75-pulsos	24	95,49	119,49
50-pulsos	24	63,66	87,66

### 3.3 Produtividade comercial e total

A análise de variância (Tabela 2) identificou que não houve diferença significativa entre blocos e efeito significativo a nível de 1% de probabilidade das lâminas aplicadas, da cobertura e da interação lâmina x cobertura. A não significância encontrada entre blocos é devido, provavelmente, a inexistência de heterogeneidade dos fatores edafoclimáticos no interior do ambiente protegido.

Tabela 2 Resumo da análise de variância, para as variáveis produtividade comercial (PC) e produtividade total (PT) da alface americana cultivada com e sem cobertura e sob o efeito de diferentes lâminas de irrigação via gotejamento por pulsos e contínuo

Causa de variação	GL	Quadrado médio	
		PC	PT
Blocos	2	0,16 <sup>ns</sup>	3,72 <sup>ns</sup>
Lâminas (L)	3	38,29 <sup>**</sup>	50,02 <sup>**</sup>
Cobertura (C)	1	499,05 <sup>**</sup>	704,49 <sup>**</sup>
L x C	3	81,66 <sup>**</sup>	140,97 <sup>**</sup>
Resíduo	14	3,26	6,23
CV (%)		6,14	5,43
Média Geral		32,03	46,03

Significativo a 0,01 (\*\*) de probabilidade; (<sup>ns</sup>) não significativo pelo teste F

A Tabela 3 representa a comparação entre as médias das produtividades comercial e total da alface americana para os diferentes tratamentos de irrigação



e cobertura estudados, conforme o Teste de Tukey, a nível de 5% de probabilidade ( $p < 0,05$ ).

Tabela 3 Médias das produtividades comercial e total da alface americana em função da interação dos fatores (cobertura x irrigação)

Tratamentos (% ET <sub>c</sub> )	Produtividade Comercial (Mg ha <sup>-1</sup> )		Produtividade Total (Mg ha <sup>-1</sup> )	
	Sem Cobertura	Com Cobertura	Sem Cobertura	Com Cobertura
	50-Pulsos	19,47 Bb	38,91 Aa	30,04 Bb
75-Pulsos	31,52 Ab	38,71 Aa	44,75 Ab	53,78 Aa
100-Pulsos	28,14 Ab	36,45 Aba	42,16 Aa	50,71 ABb
100-Contínuo	30,74 Aa	32,28 Ba	45,50 Aa	46,87 Ba

\*Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, maiúscula na coluna e minúscula na linha, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Observa-se que, sem o uso de cobertura, não houve diferença significativa das produtividades comercial e total entre os tratamentos em que a lâmina de irrigação de 100% da ET<sub>c</sub> foi aplicada por gotejamento contínuo e os tratamentos em que aplicou-se 100% e 75% da ET<sub>c</sub> por pulsos. Significa que o gotejamento por pulsos, apesar de não incrementar a produtividade, auxiliou na economia de 25% de água sem prejudicar a produtividade da cultura. Resultados similares foram obtidos por Abdelraouf et al. (2012) e Bakeer et al. (2009), ao compararem o gotejamento contínuo com o gotejamento por pulsos na cultura da batata. Esses autores constaram que o gotejamento por pulsos proporcionou também uma economia de 25% das necessidades de irrigação reais.

Já o tratamento que se aplicou 50%ET<sub>c</sub> sem cobertura foi o que teve o pior desempenho e diferiu estatisticamente dos demais, mostrando que a reposição de água nesse tratamento não foi suficiente para suprir as necessidades hídricas da cultura.

Em relação às produtividades obtidas com a utilização de cobertura do solo (Tabela 3), verifica-se que as maiores produtividades comercial e total (38,91 e 54,44 Mg ha<sup>-1</sup>) foram obtidas pelo tratamento onde se aplicou 50% da

lâmina por gotejamento por pulsos, não diferindo estatisticamente dos tratamentos em que se aplicou 75 e 100% da lâmina por gotejamento por pulsos, mas diferindo do tratamento em que 100% da lâmina foi aplicada por gotejamento contínuo. Constata-se então, que a interação do gotejamento por pulsos e da cobertura plástica proporcionou uma economia de água de 50%.

Ressalta-se ainda que, exceto para o tratamento em que a lâmina foi aplicada por gotejamento contínuo, a utilização da cobertura plástica aumentou a produtividade em relação ao solo descoberto, comprovando que a interação do gotejamento por pulsos e do *mulching* favorece a produtividade e a economia de água.

O aumento da produtividade ocasionado pela cobertura do solo está relacionado a fatores como maior controle de ervas daninhas e da temperatura do solo, redução da evaporação de água no solo, menor lixiviação e volatilização de nitrato (ALMEIDA et al., 2009; SOUZA; RESENDE, 2003; ZRIBI; FACI; ARAGÜES, 2011). De modo geral, a presença da cobertura do solo promove melhorias nas condições microbiológicas do ambiente e torna os primeiros centímetros do solo mais adequado para a proliferação de raízes superficiais (Sediyama& Prates, 1986), e devido à irrigação por pulsos fornecer água em maior frequência nessa camada, o que provavelmente favoreceu a produtividade.

Warner, Hoffman e Wilhoit (2009) ao compararem o gotejamento contínuo e por pulsos, também verificaram que o segundo foi capaz de reduzir o uso de água em cerca de 40%, sem afetar a qualidade e a produção do tomateiro.

### **3.4 Eficiência do Uso da Água (EUA)**

A síntese da análise de variância da eficiência do uso da água para a produtividade comercial e total encontra-se na Tabela 4 e permite verificar que as lâminas de irrigação aplicadas, a cobertura do solo e a interação entre as

lâminas de irrigação e a cobertura do solo afetaram significativamente ( $p < 0,01$ ) a eficiência do uso de água.

Tabela 4 Resumo da análise de variância, para as variáveis eficiência do uso da água para a produtividade comercial (EUA PC) e total (EUA PT) da alface americana com e sem cobertura e sob o efeito de diferentes lâminas de irrigação via gotejamento contínuo e por pulsos

Causa de variação	GL	Quadrado médio	
		EUA PC	EUA PT
Blocos	2	0,35 <sup>ns</sup>	4,95 <sup>ns</sup>
Lâminas (L)	3	224,12 <sup>**</sup>	438,29 <sup>**</sup>
Cobertura (C)	1	450,06 <sup>**</sup>	672,04 <sup>**</sup>
L x C	3	125,43 <sup>**</sup>	230,64 <sup>**</sup>
Resíduo	14	2,45	5,82
CV (%)		5,97	6,43
Média Geral		26,21	37,52

Significativo a 0,01 (<sup>\*\*</sup>) de probabilidade; (<sup>ns</sup>) não significativo pelo teste F

Na Tabela 5 estão demonstrados os dados médios relativos à eficiência do uso de água obtidos na colheita, considerando as diferentes lâminas de água aplicadas de forma contínua (testemunha) e por pulsos no cultivo com e sem utilização de cobertura do solo.

Tabela 5 Eficiência do uso da água para a produtividade total (EUA) da alface americana em função da interação dos fatores (cobertura x irrigação)

Tratamentos (% ET <sub>c</sub> )	Lâmina (mm)	EUA Produtividade Comercial (kg m <sup>-3</sup> )		EUA Produtividade Total (kg m <sup>-3</sup> )	
		Sem Cobertura	Com Cobertura	Sem Cobertura	Com Cobertura
		50-Pulsos	89,66	22,21 Bb	44,15 Aa
75-Pulsos	120,49	26,39 Ab	32,59 Ba	37,47 Ab	45,03 Ba
100-Pulsos	151,32	18,59 Bb	24,09 Ca	27,86 Cb	33,51 Ca
100-Contínuo	151,32	20,32 Ba	21,34 Ca	30,07 BCa	30,97 Ca

\*Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente entre si, maiúscula na coluna e minúscula na linha, pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Nota-se que, sem o uso da cobertura, o tratamento que obteve o melhor resultado, em termos de eficiência no uso da água, tanto para a produtividade comercial quanto total, foi o tratamento em que se foi aplicada a lâmina de 75% da ETc por gotejamento por pulsos. Já com o uso da cobertura, a maior eficiência do uso da água (34,27 e 62,10 kg m<sup>-3</sup>, produtividade comercial e total respectivamente) foi obtida no tratamento em que se foi aplicada a lâmina de 50% da ETc por gotejamento por pulsos. Verificou-se também que à medida que as lâminas de irrigação aumentaram, houve queda na eficiência do uso de água. Comportamento semelhante, com a cultura da alface, foi verificado por Lima Júnior et al. (2010) e Vilas Boas et al. (2007), que observaram que a EUA decresceu com o incremento na lâmina aplicada.

Em trabalhos sem a utilização da irrigação por pulsos, Lima Júnior et al. (2010), trabalhando com a mesma cultivar de alface americana, com solo descoberto, encontraram valor máximo de eficiência do uso da água de 56,31 kg m<sup>-3</sup> com a aplicação da lâmina de irrigação de 74,53 mm. Já Geisenhof (2008), também trabalhando com a alface americana cv. *Raider-Plus*, com cobertura plástica, obteve valor de EUA máxima de 47,44 kg m<sup>-3</sup> para a tensão de 50,3 kPa.

Vale ressaltar que o tratamento com a melhor EUA pode apresentar produção inferior ao padrão comercial. No entanto conforme observado a interação do gotejamento por pulsos com a cobertura resultou na maior produção e conseqüentemente na maior eficiência do uso da água, diferentemente dos trabalhos citados acima.

## CONCLUSÕES

- A irrigação da cultura da alface via gotejamento por pulsos e a cobertura do solo com material plástico proporciona aumento na produtividade e eficiência no uso da água.

## REFERÊNCIAS

- ABDELRAOUF, R. E. et al. Effect of pulse irrigation on clogging emitters, application efficiency and water productivity of potato crop under organic agriculture conditions. **Australian Journal of Basic and Applied Sciences**, Amman, v. 6, n. 3, p. 807-816, 2012.
- ALMEIDA, D. et al. Carbono, nitrogênio e fósforo microbiano do solo sob diferentes coberturas em pomar de produção orgânica de maçã no sul do Brasil. **Bragantia**, Campinas, v. 68, n. 4, p. 1069-1077, 2009.
- ASSOULINE, S. et al. Soil-plant system response to pulsed drip irrigation and salinity: bell pepper case study. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 70, p. 1556-1568, 2006.
- BAKEER, G. A. A. et al. Effect of pulse drip irrigation on yield and water use efficiency of potato crop under organic agriculture in sandy soils. **Misr Society of Agricultural Engineering**, Cairo, v. 26, n. 2, p. 736-765, 2009.
- DANTAS, A. A. A.; CARVALHO, L. G.; FERREIRA, E. Classificação e tendências climáticas em Lavras, MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 31, n. 6, p. 1862-1866, nov./dez. 2007.
- EVANGELISTA, A. W. P.; PEREIRA G. M. Avaliação de dois tipos de evaporímetros na estimativa da demanda evaporativa do ar (ET) no interior de casa de vegetação, em Lavras-MG. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 27, p. 1348-1353, 2003.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de métodos de análises de solo**. 2. ed. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura e do Abastecimento, 1997. 212 p.
- FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. **Revista Symposium**, Lavras, v. 6, p. 36-41, 2008.
- GEISENHOF, L. O. **Produção de alface americana utilizando *mulching* dupla face, sob diferentes tensões de água no solo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.

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

GONÇALVES, A. O.; FAGNANI, M. A.; PERES, J. G. Efeitos da cobertura do solo com filme de polietileno azul no consumo de água da cultura da alface cultivada em estufa. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 3, p. 622-631, 2005.

KOETZ, M. et al. Efeito de doses de potássio e da frequência de irrigação na produção da alface-americana em ambiente protegido. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 3, p. 730-737, 2006.

LIMA JÚNIOR, J. A. et al. Efeito da irrigação sobre o rendimento produtivo da alface americana, em cultivo protegido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 8, p. 797- 803, 2010.

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

MEDEIROS, J. F.; PEREIRA, F. A. C.; FOLEGATTI, M. V. Comparação entre a evaporação em tanque classe A padrão e o mini-tanque, instalados em estufa e estação meteorológica In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEREOLOGIA, 1., 1997, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: [s. n.], 1997. p. 228-230.

MOTA, J. H. et al. Avaliação de cultivares de alface americana durante o verão em Santana da Vargem, MG. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 2, p. 2344-2347, 2003.

SANTANA, C. V. S.; ALMEIDA, A. C.; TURCO, S. H. N. Produção de alface roxa em ambientes sombreados na região do Submédio São Francisco - BA. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Campina Grande, v. 4, n. 3, p. 1-6, 2009.

SEDIYAMA, G. C.; PRATES, J. E. O microclima: possibilidades de modificação. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 12, p. 38-42, 1986.

SOUZA, J. L.; RESENDE, P. **Manual de horticultura orgânica**. Viçosa, MG: Aprenda Fácil, 2003. 564 p.

VILAS BOAS, R. C. et al. Efeito da irrigação no desenvolvimento da alface crespa, em ambiente protegido, em Lavras, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 11, n. 4, p. 393-397, 2007.

WARNER, R.; HOFFMAN, O.; WILHOIT, J. The effects of pulsing drip irrigation on tomato yield and quality in kentucky. 2009. Disponível em: <<http://www.ca.uky.edu/agc/pubs/pr/pr603/pr603.pdf>>. Acesso em: 9 maio 2012.

YURI, J. E. et al. Comportamento de cultivares de alface tipo americana em Boa Esperança. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 20, n. 2, p. 229-232, 2002.

ZIN EL-ABEDIN, T.K. **Effect of pulse drip irrigation on soil moisture distribution and maize production in clay soil**. 2006. Disponível em: <<http://www.mjae.eg.net/pdf/2006/nov/19.pdf>>. Acesso em: 21 set. 2012.

ZRIBI, W.; FACI, J. M.; ARAGÜES, R. Efectos del acolchado sobre la humedad, temperatura, estructura y salinidad de suelos agrícolas. **ITEA**, Zaragoza, v. 107, n. 2, p. 148-162, 2011.