

UFRRJ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA AGRÍCOLA E AMBIENTAL

DISSERTAÇÃO

IRRIGAÇÃO AUTOMÁTICA ACIONADA POR
SENSOR DE PRESSÃO DE VAPOR APLICADA NA
PRODUÇÃO DE MUDAS DE ALFACE

ANA CAROLINA MENDES BEZERRA

2017



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA
E AMBIENTAL**

**IRRIGAÇÃO AUTOMÁTICA ACIONADA POR
SENSOR DE PRESSÃO DE VAPOR APLICADA NA
PRODUÇÃO DE MUDAS DE ALFACE**

ANA CAROLINA MENDES BEZERRA

Sob a Orientação do(a) Professor (a)

Leonardo Oliveira Medici

e Coorientação dos (a) Professores (a)

Daniel Fonseca de Carvalho

Camila Ferreira de Pinho

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental, Área de concentração em Sistemas Agrícolas.

Seropédica - RJ

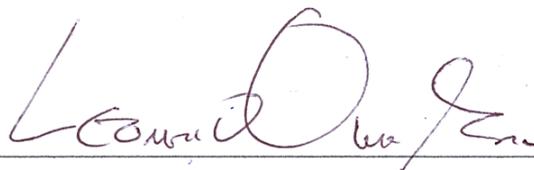
Fevereiro de 2017

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA
E AMBIENTAL

ANA CAROLINA MENDES BEZERRA

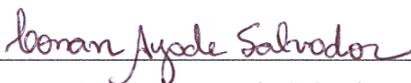
Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental, área de concentração em Sistemas Agrícolas.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM: 16/02/2017.



Dr. Leonardo Oliveira Medici. UFRRJ

(Orientador)



Dr. Conan Ayade Salvador. UFRRJ



Dr^a. Fernanda Reinert Thomé Macrae. UFRJ

M574i

Mendes Bezerra, Ana Carolina, 1989 -
Irrigação automática acionada por sensor
de pressão de vapor aplicada na produção
de mudas de alface / Ana Carolina Mendes
Bezerra. - 2017. 53 f.: il.

Orientador: Leonardo Oliveira Medici.
Coorientador: Daniel Fonseca de
Carvalho.

Dissertação (Mestrado). -- Universidade
Federal Rural do Rio de Janeiro, Programa
de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e
Ambiental, 2017.

1. Acionador simplificado para
irrigação (ASI) - Sensor de Pressão de
Vapor. 2. Irrigação Agrícola. 3. Automação
da irrigação. 4. Cultivo em ambiente
protegido. 5. Cultivo mudas de alface. I.
Oliveira Medici, Leonardo, 1967-, orient.
II. Fonseca de Carvalho, Daniel, 1968-,
coorient. III Universidade Federal Rural
do Rio de Janeiro. Programa de Pós
Graduação em Engenharia Agrícola e
Ambiental. IV. Título.

DEDICATÓRIA

“Cabe ao homem compreender que o solo fértil, onde tudo que se planta dá, pode secar.

Que o chão que dá frutos e flores pode dar ervas daninhas.

Que a caça se dispersa e a terra da fartura pode se transformar na terra da penúria e da destruição.

O homem precisa entender, que de sua boa convivência com a natureza, depende sua

subsistência e que a destruição da natureza é sua própria destruição,

pois a sua essência é a natureza, a sua origem e o seu fim.”

Elizabeth Jhin

Dedico,

À minha mãe, Marcia Cristina Gonçalves Mendes, sua força, amor e dedicação me guiaram e me deram asas para voar.

Ao meu avô, Severino Pio Bezerra (in memoriam), sempre presente em minha memória e coração. Nunca me cansarei de dedicar todas as minhas conquistas a você.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pela vida, por mais esta conquista e por todas que ainda virão.

Aos meus pais, irmãos e todos os familiares por todo apoio e esforço despendido, todo carinho e amor incondicional.

Ao meu orientador Professor Leonardo Oliveira Medici, pela paciência, companheirismo, apoio, orientação e exemplo profissional.

Aos meus co-orientadores Professor Daniel Fonseca de Carvalho, pela orientação, disponibilidade em ajudar, apoio e exemplo profissional; e Camila Pinho de Souza por acreditar em mim, por todo apoio, orientação, exemplo profissional e incentivo desde a graduação.

À Daniela Pinto Gomes e David da Cunha Valença pelo carinho e pela imensa ajuda em vários momentos.

Ao Grupo de Pesquisa Água e Solo em Sistemas Agrícolas (GPASSA), aos colegas de trabalho, especialmente, à Fernanda Gabetto por estar sempre disponível para ajudar.

Aos amigos por todo apoio e companheirismo. Obrigada pelo convívio, amizade, conforto e alegrias que me proporcionaram e proporcionam a todo tempo.

À banca pela disponibilidade em participar e à dedicação na avaliação do presente estudo.

A Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ) por minha formação.

Ao setor de horticultura da UFRRJ.

A todos que torceram e contribuíram, direta ou indiretamente, para o sucesso deste trabalho.

Muito obrigada!

RESUMO

BEZERRA, Ana Carolina Mendes. **Irrigação automática acionada por sensor de pressão de vapor aplicada na produção de mudas de alface**. 2017. 53p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola e Ambiental). Instituto de Tecnologia, Departamento de Engenharia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2017.

A irrigação atua como importante fator de redução de risco e incremento na produção de culturas agrícolas. Porém, devido à crescente escassez hídrica e ao desperdício de água praticado por grande parte dos agricultores, há uma grande preocupação em relação aos impactos negativos dessa técnica, gerando a necessidade de se estabelecer um equilíbrio entre a produtividade agrícola e a preservação dos recursos naturais. Nesse cenário se inserem estudos relacionados com eficiência hídrica por meio de tipos de manejo da irrigação mais sustentáveis. O objetivo desse estudo foi utilizar o sensor do Acionador Simplificado de Irrigação (ASI) na atmosfera para controlar a irrigação de mudas de alface baseando-se na variação de pressão de vapor da água. O desempenho da adaptação foi avaliado por meio do monitoramento de parâmetros na planta, bem como, da eficiência de uso da água (EUA). O acionador foi avaliado com o sensor cerâmico posicionado fora do substrato, na atmosfera adjacente superior as bandejas de produção, buscando correlacionar a água aplicada com o déficit de pressão de vapor observado nesse local. As sementes da cultivar Regina foram semeadas em bandejas de isopor (200 células) com substrato utilizado em cultivo orgânico. Foi utilizado o delineamento experimental de blocos casualizados, em esquema fatorial, onde o fator A foi quatro regulagens do acionador (3,5; 5; 6,5 e 8 kPa) e o fator B as duas épocas de avaliação (de 8 de julho a 8 de agosto e 16 de setembro à 16 de outubro, ambas no ano de 2016), com quatro repetições, totalizando 32 parcelas. Foram avaliados parâmetros referentes ao crescimento e fisiologia da cultura, quais sejam: massa fresca, massa seca, parâmetros de cinética da fluorescência da clorofila *a* e condutância estomática, além da EUA. Os resultados foram submetidos à análise de variância e na presença de interação significativa foi realizada nova análise de variância com desdobramento dos graus de liberdade. Teste de Scott-Knott foi usado para determinação de significância a 5% de probabilidade. As variáveis biométricas e fisiológicas avaliadas apresentaram decréscimo conforme foram aumentadas as tensões de acionamento. A tensão 3,5 kPa mostrou maior potencial para produção de mudas mais vigorosas, apresentando EUA com valor médio de 1,37 g L⁻¹ e produzindo uma muda com aproximadamente 32,4 mL de água na segunda época experimental. O cultivo de mudas de alface mostra-se possível nas duas épocas experimentais. Os resultados mostram a viabilidade do uso do acionador com sensor atmosférico e compatibilidade do volume de água aplicado com o déficit de pressão de vapor da atmosfera observado.

Palavras-Chave: *Lactuca sativa* L.; eficiência de uso da água; ASI.

ABSTRACT

BEZERRA, Ana Carolina Mendes. **Automatic irrigation activated by pressure sensor of vapor applied in the production of lettuce seedlings.** 2017. 53p. Dissertation (Master in Agricultural and Environmental Engineering). Institute of Technology, Department of Engineering, University Federal Rural of Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2017.

Irrigation acts as an important factor to reduce risks and increase productivity in agricultural crops. However, due to increasing water scarcity and the waste of water practiced by many farmers, there is great concern about the negative impacts of this technique on the productive sector, generating the need to establish a balance between agricultural productivity and the preservation of natural resources. In this scenario, studies related to water economics are inserted through more sustainable types of irrigation management. The objective of this study was use the Simplified Irrigation Controller sensor positioned in the atmosphere, to control the irrigation of lettuce seedlings based on the variation of water vapor pressure. The performance of the adaptation was evaluated by monitoring plant parameters, as well as, water use efficiency (WUE). The device was evaluated with the ceramic sensor positioned outside the substrate, in the atmosphere adjacent to the production trays, seeking to correlate the applied water with the vapor pressure deficit (VPD) observed at the experiment site. The seeds of the Regina cultivar were sown in polystyrene trays (200 cells) with substrate used in organic cultivation. A randomized block design was used in a factorial scheme where factor A were four adjustments of the SIC (3.5; 5, 6.5 and 8kPa) and factor B were the two evaluation periods (from July 8 to August 8 and September 16 to October 16, both in 2016) with four replications, totaling 32 plots (experimental units). Parameters related to the growth and physiology of the crop was evaluated, such as: fresh mass, dry mass, water use efficiency, chlorophyll fluorescence parameters and stomatal conductance. The results were submitted to analysis of variance and in the presence of significant interaction a Sliced- analysis was carried out for each factor. Scott-Knott test was used to determine significance with the cut off at 5%. Biometric and physiological variables tested showed a decrease as the tested tensions were increased. The 3.5 kPa tension showed a higher potential for producing more vigorous seedlings, presenting WUE with an average value of 1.37 g L⁻¹ and producing a seedling with approximately 32.4 mL of water in the second experimental period. The cultivation of lettuce seedlings is possible in both experimental periods. The results show the availability of the use of the SIC with atmospheric sensor and compatibility of the applied water volume applied with the observed VPD.

Keywords: *Lactuca sativa* L.; water use efficiency ; SIC.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Esquema montagem acionador simplificado de irrigação com o sensor inserido no solo (a); sensor posicionado na atmosfera (b). 1-cápsula cerâmica, 2-tubo flexível, 3-pressostato, 4-válvula solenoide, 5-fios elétricos, 6-fonte de água, h-desnível do pressostato em relação à vela de filtro..... | 8 |
| Figura 2 - Vistas frontal (a) e lateral (b) da casa de vegetação localizada no Setor de Horticultura, Campus UFRRJ, Seropédica – RJ..... | 9 |
| Figura 3 - Croqui da área experimental..... | 10 |
| Figura 5 - Área Experimental..... | 11 |
| Figura 4 - Bandeja com 200 células. Destaque para a área onde foram cultivadas as mudas: 16 células centrais constituindo a parcela experimental e as demais utilizadas como bordadura..... | 12 |
| Figura 6 - Regulagem do acionador por meio da distância vertical entre a vela e o pressostato: mensuração da distância vertical entre a bandeja e o sensor cerâmico (a); mensuração da distância vertical entre a bandja e o cano PVC de ptoreção do pressostato(b). | 13 |
| Figura 7 - Cano de PVC de proteção do pressostato instalado no interior da casa de vegetação, tornando possível a regulagem das tensões avaliadas. | 13 |
| Figura 8 - Sensor posicionado na atmosfera adjacente superior, com 1 cm da bandeja. | 14 |
| Figura 9 - Sensor fabricado a partir de vela de filtro doméstico. | 15 |
| Figura 10 – Detalhe do sensor apresentando proliferação de algas na superfície de contato com a atmosfera..... | 15 |
| Figura 11 - Acionador mergulhado em solução de sulfato de cobre 100 ppm, antes da instalação na casa de vegetação..... | 16 |
| Figura 12 - Variação da temperatura e umidade relativa do ar na primeira (a e b) e segunda (c e d) épocas experimentais..... | 22 |
| Figura 13 - Déficit de pressão de vapor, Temperatura e UR na primeira (a) e segunda (b) épocas experimentais..... | 22 |
| Figura 14 - Volume total de água aplicado durante a primeira época experimental (leitura hidrômetro), para diferentes tensões de acionamento: 3,5 kPa (a); 5 kPa(b); 6,5 kPa(c); 8 kPa (d). | 24 |
| Figura 15 - Volume total de água aplicado durante a segunda época experimental (leitura hidrômetro), para diferentes tensões de acionamento: 3,5 kPa(a); 5 kPa(b); 6,5 kPa(c); 8 kPa (d). | 25 |
| Figura 16 - Efeito dos tratamentos, sob os parâmetros da fluorescência da clorofila <i>a</i> das plantas de mudas de alface, obtidos através do teste JIP, (centro radarplot = 0,0, máximo = 2,5) em relação ao padrão de variação - controle (linha cheia = 1,0). Primeiro período experimental (a) e segundo período experimental (b). | 31 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Classificação dos valores do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC) | 17 |
| Tabela 2 – Coeficientes de Uniformidade de Christiansen (CUC) obtidos no teste de uniformidade de aplicação na primeira época experimental | 17 |
| Tabela 3 – Coeficientes de Uniformidade de Christiansen (CUC) obtidos no teste de uniformidade de aplicação na segunda época experimental..... | 18 |
| Tabela 4 - Variáveis biométricas médias para as diferentes tensões e durante as duas épocas de cultivo. | 27 |
| Tabela 5 - Condutância estomática para as diferentes tensões e durante as duas épocas de cultivo de mudas de alface..... | 30 |
| Tabela 6 - Variação da eficiência no uso da água para as diferentes tensões e durante as duas épocas de cultivo de mudas de alface. | 32 |

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 3 |
| 2.1 A cultura da Alface (<i>Lactuca sativa L.</i>)..... | 3 |
| 2.2 Cultivo em ambiente protegido..... | 4 |
| 2.3 Relação Planta/Atmosfera..... | 4 |
| 2.4 Relações hídricas da Alface | 5 |
| 2.5 Automação da irrigação | 6 |
| 2.6 Acionador Simplificado para Irrigação (ASI) | 7 |
| 3. MATERIAL E MÉTODOS | 9 |
| 3.1 Localização e Delineamento Experimental | 9 |
| 3.2 Delineamento Experimental | 9 |
| A área experimental utilizada nas duas épocas experimentais pode ser observada na Figura 5. | 11 |
| 3.3 Condições de Cultivo..... | 11 |
| 3.4 Sistema de irrigação, coleta de lâminas e drenagem. | 12 |
| 3.5 Confecção e teste de funcionamento do Acionador automático de irrigação..... | 14 |
| 3.6 Teste de uniformidade e de aplicação | 16 |
| 3.7 Caracterização de temperatura e umidade relativa no interior da casa de vegetação | 18 |
| 3.8 Variáveis analisadas..... | 19 |
| 3.8.1 Análises Biométricas | 19 |
| 3.8.2 Análises Fisiológicas..... | 19 |
| 3.8.2.1 Condutância Estomática | 19 |
| 3.8.2.2 Cinética de Emissão da Fluorescência da Clorofila <i>a</i> | 20 |
| 3.8.3 Eficiência no uso da Água..... | 20 |
| 3.9 Análise Estatística..... | 20 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 21 |
| 4.1 Caracterização Climática no Interior da Casa de Vegetação..... | 21 |

| | | |
|-------|--|----|
| 4.2 | Análise da irrigação | 22 |
| 4.3 | Variáveis Biométricas | 26 |
| 4.4 | Variáveis Fisiológicas | 29 |
| 4.4.1 | Condutância Estomática (gs)..... | 29 |
| 4.4.2 | Cinética de Emissão da Fluorescência da Clorofila <i>a</i> | 30 |
| 4.5 | Eficiência no uso da água (EUA) | 32 |
| 5 | CONCLUSÕES..... | 34 |
| 6 | REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 35 |

1. INTRODUÇÃO

O equilíbrio entre a produtividade agrícola e preservação dos recursos naturais é assunto de extrema importância no cenário atual. O aumento de produtividade obtido quando se compara a agricultura irrigada com a agricultura de sequeiro é incontestável, principalmente em cultivos de olerícolas, que apresentam grande susceptibilidade a estresse hídrico. Assim, o uso de irrigação com manejo adequado atua como importante fator de redução de riscos e incremento da produtividade (DOORENBOS & KASSAM, 1994; FISCHER et al., 2002; TEODORO, OLIVEIRA & MINAMI, 1993).

Segundo a Organização das Nações Unidas para Agricultura e Alimentação - FAO (2013), a agropecuária destaca-se como a atividade humana que demanda maiores quantidades de água, representando cerca de 70% do uso de água doce em todo o mundo. Nesse contexto se insere a relevância da realização de pesquisas que busquem o desenvolvimento de tecnologias de aprimoramento de equipamentos de irrigação, possibilitando um manejo adequado, que garanta maior eficiência na produção de alimentos aliada à maior eficiência no uso da água.

Muitos agricultores irrigam de maneira arbitrária, baseando-se somente em observações visuais. Devido às dificuldades em predizer o momento em que a planta de fato entra em déficit, essa prática gera desperdício de água e pode predispor à redução de produtividade e maior severidade de doenças. Tecnologias de irrigação devem priorizar o manejo racional dos recursos hídricos, baseadas em técnicas que minimizem as perdas de água. (CHARTZOULAKIS & BERTAKI, 2015).

Segundo KRÜGER et al. (1999) e YUAN, SUN & NISHIYAMA (2006) o manejo eficiente da irrigação seria um ponto crítico para se atingir o uso eficiente da água e deve ser feito aplicando quantidade de água suficiente para atender às necessidades hídricas das plantas nas suas diferentes fases de desenvolvimento. Irrigação inadequada pode levar a cultura ao déficit hídrico que, por sua vez, gera perdas na produção. Por outro lado, irrigação excessiva tende também a limitar o desenvolvimento, seja pela lixiviação dos nutrientes para camadas mais profundas do solo, por meio do favorecimento de doenças e limitação do oxigênio (O₂) do solo causando apodrecimento de raízes (LIMA et al., 2010).

Face ao exposto e à crescente escassez hídrica, há uma grande preocupação em relação aos impactos negativos sobre o setor agrícola, o que pode ser caracterizado pela diminuição dos níveis de produtividade. Com isso, estudos relacionados com economia de água proporcionada pelo uso de dispositivos que possibilitam controlar o seu uso ganham destaque.

O acionador simplificado para irrigação (ASI) é um dispositivo desenvolvido por MEDICI et al. (2010), confeccionado com material de baixo custo e fácil obtenção, cujo objetivo principal é facilitar a produção vegetal, aumentando a eficiência no uso da água e garantindo maior independência ao produtor. Estudos com o dispositivo (BATISTA et al., 2013; DIAS et al., 2013; GONÇALVES et al., 2014; GOMES et al., 2014; VALENÇA, 2016), apresentaram resultados auspiciosos, provando que o manejo realizado com aplicação do acionador proporciona produtividades compatíveis com as comerciais aliadas à eficiência no uso da água.

Ao contrário dos estudos anteriores com o ASI, o presente estudo pretendeu testar seu uso com o sensor posicionado na atmosfera próxima a parte aérea das culturas, buscando avaliar o seu funcionamento em resposta à demanda atmosférica por vapor, considerada a

maior responsável pela redução no status hídrico das plantas por meio dos processos de transpiração/assimilação de dióxido de carbono (CO₂).

Dessa forma, o presente trabalho foi realizado com o objetivo de testar a utilização do sensor do Acionador Simplificado de Irrigação (ASI) na atmosfera para controlar a irrigação de mudas de alface baseando-se na variação de pressão de vapor da água. Objetiva-se ainda encontrar a tensão mais adequada à produção de mudas de alface da cultivar Regina e avaliar o funcionamento do ASI diante de condições climáticas distintas, no município de Seropédica-RJ.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A cultura da Alface (*Lactuca sativa L.*)

Pertencente à família Asteracea, a Alface (*Lactuca sativa L.*) é a espécie folhosa mais consumida no Brasil e pode ser caracterizada por sua alta perecibilidade e grande demanda de mercado. Assim, faz-se necessário seu plantio em praticamente todo o território brasileiro, principalmente em regiões localizadas em áreas metropolitanas, e ao longo de todo o ano, de forma a garantir sua presença constante na mesa do consumidor (FILGUEIRA, 1993; SILVA et al., 2000).

Por ser uma planta originária de clima temperado, sua produção é limitada principalmente devido às altas temperaturas encontradas na maior parte das regiões brasileiras em determinadas épocas do ano (HENZ & SUINAGA, 2009; FILGUEIRA, 2003). Temperaturas cálidas e dias longos influenciam negativamente a produção, visto que a espécie, sob estas condições, inicia seu estágio reprodutivo. Resultando, assim, em plantas menores, e, por sua vez, em redução da produtividade (FILGUEIRA, 2003; MINAMI, 1993; OLIVEIRA et al., 2003).

À vista disso, é importante atentar-se para a época de plantio e a escolha da cultivar buscando escolher cultivares melhor adaptadas às condições climáticas da região. Atualmente, existem cultivares melhoradas resistentes ao pendoamento precoce, possibilitando seu plantio em épocas e locais onde as temperaturas são mais elevadas. Entretanto, apesar da existência de cultivares adaptáveis às condições de clima mais quente, FILGUEIRA (2003) ressalta que mesmo as cultivares mais adaptadas apresentam melhor rendimento quando semeadas no período de Outono – Inverno.

Ainda segundo FILGUEIRA (2003), embora tais condições citadas anteriormente se apliquem a cultura da alface de uma maneira geral e não somente à fase de produção de mudas, as condições climáticas encontradas pela planta em suas fases iniciais influenciam diretamente seu desenvolvimento posterior. Contudo, segundo CALLEGARI et al. (2001) e MARQUES et al. (2003) mudas sujeitas a estresses e portanto, com crescimento inferior, não necessariamente influenciam a produção da cultura posteriormente.

2.1 A produção de mudas

A produção de mudas de hortaliças constitui-se numa das etapas mais importantes do sistema de produção, podendo ser citada inclusive como obrigatória. Essa importância pode ser atribuída a diversos fatores como, por exemplo: menor gasto de sementes por área de lavoura; seleção das mudas a serem transplantadas a campo; eliminação das mudas de baixo vigor ou atípicas; e portanto, obtenção de maior uniformidade na lavoura (FILGUEIRA, 2003; MINAMI, 1993; SILVA JÚNIOR et al., 1995).

Importante atentar-se que a produção das mudas depende da correta utilização de fatores como substrato, água e nutrientes. Substrato que permita melhor crescimento e desenvolvimento das plântulas, aplicação de água de maneira adequada, e fornecimento dos nutrientes necessários ao seu desenvolvimento pleno.

Atualmente, é possível encontrar na literatura uma variada gama de trabalhos relacionados à utilização e definição do melhor substrato a ser utilizado na produção de mudas de alface (MEDEIROS et al., 2007; MENEZES JÚNIOR et al., 2000; SILVA et al., 2008; TRANI, 2007). Porém, quando se considera o fornecimento de água na produção de

mudas existe certa carência de literatura, tendendo a aplicarem-se grandes quantidades de água, visto que estresses podem ser determinantes nessa fase da produção vegetal. Essa carência torna-se ainda maior quando se trata de irrigação automática com uso de sensores.

VALENÇA (2016) e DIAS et al. (2013), o primeiro trabalhando com mudas de alface e o segundo com mudas de mamoeiro, podem ser citados como exemplos de trabalhos com mudas e o ASI, ambos os trabalhos pertencentes ao grupo de pesquisa relacionado ao ASI e que apresentaram resultados promissores com relação à aliar o uso eficiente dos recursos hídricos ao crescimento e produção vegetal.

2.2 Cultivo em ambiente protegido

Segundo FILGUEIRA (2003) a alface se encontra entre as hortaliças mais comumente produzidas no interior de casas de vegetação. O cultivo em ambiente protegido atua potencializando a produtividade econômica das culturas, possibilitando ainda, o controle de alguns fatores agroclimáticos.

Dependendo da localidade e época do ano a utilização de casas de vegetação podem ter distintas finalidades, podendo ser adotado com o objetivo de minimizar o efeito negativo de baixas temperaturas no período de inverno ou proteção de excesso de precipitações e radiação em regiões mais quentes (FILGUEIRA, 2003). SEGOVIA et al. (1997) ao comparar o crescimento e desenvolvimento da alface no interior e exterior de casa de vegetação, na região de Santa Maria – RS, constataram a eficiência do cultivo em ambiente protegido proporcionando maior regularidade na oferta da cultura nos meses de inverno. Com relação ao cultivo em regiões que apresentam altas temperaturas e elevada luminosidade, o cultivo protegido nas épocas de verão atua de forma a tentar regularizar a produção da cultura. Dentre as alternativas destaca-se o uso de telas de sombreamento.

É importante salientar que em razão da proteção aos fatores climáticos ofertada pelo cultivo em casa de vegetação, a utilização de sistemas de irrigação é imprescindível em tais cultivos, visto que essa é a única forma de reposição da água utilizada pela cultura (SANTOS & PEREIRA, 2004).

Dentre as vantagens proporcionadas pelo cultivo em ambiente protegido pode-se citar: diminuição na sazonalidade da oferta, possibilitando, assim, que a produção não se restrinja a determinada época do ano; melhor aproveitamento dos fatores de produção principalmente adubos, defensivos e água, e favorecimento da precocidade das colheitas. SEGOVIA et al. (1993) observaram que o efeito da casa de vegetação se exerceu, sobretudo na velocidade de crescimento da planta; otimização das condições ambientais com controle total ou parcial dos fatores climáticos; fixação do homem no campo; aumento da rentabilidade, que pode ser atribuído inclusive a um aumento da qualidade dos produtos obtidos ou ao menor gasto de sementes por unidade de área de lavoura (FILGUEIRA et al., 2003; FILGUEIRA, 1982; MINAMI, 1995)

De uma forma geral, com o objetivo de se obter o sucesso esperado do cultivo em ambiente protegido é importante atentar-se às condições ambientais locais, procedendo a escolha das cultivares e determinação dos tratos culturais de acordo com tais condições.

2.3 Relação Planta/Atmosfera

A transpiração é o processo dominante nas relações hídricas da planta. O processo de transpiração ocorre nas plantas como consequência à necessidade de captação de CO₂ para

realização do processo fotossintético e sua predominância é devida ao grande volume de água que o mesmo envolve (PIMENTEL, 2004; TAIZ & ZEIGER, 2006). Segundo HSIAO & XU (2000), a planta pode transportar, durante seu ciclo, quantidades de água de 200 a 1000 vezes a sua massa seca.

No sistema solo-planta-atmosfera a água tende a deslocar-se do meio de maior potencial hídrico para o de menor potencial. O solo, quando apresenta disponibilidade de água, apresenta maior potencial hídrico; a planta apresenta potencial intermediário e a atmosfera geralmente apresenta potencial hídrico menor que o do solo e da planta. Dessa forma, a água tende a se movimentar solo para a planta e da planta para a atmosfera (ANGELOCCI, 2002; WINTER, 1976).

O potencial hídrico da atmosfera sofre ação direta de variáveis climáticas, sendo mais negativo quanto maiores forem a temperatura e menores forem a umidade relativa (UR) do ambiente em questão, e, afetam a transpiração à medida que alteram o gradiente de vapor d'água entre a planta e o ar (ANGELOCCI, 2002; LEE, 1990). Ao limitar a transpiração em situações de alto déficit de pressão de vapor (DPV), as plantas agem buscando evitar a seca apresentando respostas fisiológicas que resultam de modo indireto, na conservação da água no solo, como se estivessem economizando para períodos posteriores (RYAN et al., 2016).

Variáveis climáticas como temperatura, umidade e radiação solar incidente são consideradas as maiores determinantes nessa variação, controlando o processo transpiratório que, por sua vez, controla o processo de absorção de água do solo (ANGELOCCI, 2002; FRENCH, 1997; WHITLEY et al., 2009). De acordo com TAIZ & ZEIGER (2006) e MOURA (1992) do total de água absorvido pelas plantas, aproximadamente 97% é perdido para atmosfera durante o processo de assimilação de CO₂.

Dessa forma, a adoção de um manejo da irrigação baseado na demanda atmosférica é pertinente e promissora, além de, inclusive, ser amplamente utilizada. O manejo da irrigação no interior de casa de vegetação é uma ferramenta importante para proporcionar suprimento adequado das plantas e, ao mesmo tempo, evitar o desperdício (WANG et al., 2016).

Em estudos realizados no interior de casas de vegetação é comum utilizar-se um tanque evaporímetro padrão de 200 mm como superfície de evaporação. Estudos com pepino (YUAN, SUN & NISHIYAMA, 2006), tomate (LIU et al., 2013) e morango (YUAN, SUN & NISHIYAMA, 2004) foram realizados utilizando-se um tanque evaporímetro de 200 mm como método de programar a irrigação e é equivalente ao Tanque Classe A, método amplamente utilizado para manejo da irrigação (ANDRADE JÚNIOR & KLAR, 1997; MAROUELLI, SILVA & SILVA, 1996; SEGOVIA & LOPES FILHO, 2004).

O presente trabalho apresenta a proposta de utilização de sensores que regulam a irrigação automaticamente de acordo com a variação da pressão de vapor na micro-atmosfera adjacente as bandejas de produção de mudas no interior da casa de vegetação.

2.4 Relações hídricas da Alface

A alface é uma das hortaliças mais exigentes em água, e mesmo uma ligeira deficiência hídrica favorece a formação de tecidos grosseiros, o que não é desejável comercialmente. Deve-se estar atento ao manejo correto da irrigação, pois é sabido que tanto o excesso quanto o déficit causam prejuízos. À vista disso, deve-se irrigar de maneira à

somente suprir a necessidade da cultura, garantindo sua produção com menor custo e reduzindo os impactos sobre o meio ambiente.

Segundo FILGUEIRA (2003) observações em campo de experimentos com irrigação controlada demonstram que o peso da planta, a produtividade por hectare e a qualidade da planta aumentam, linearmente, com a quantidade de água aplicada.

VILA BOAS et al. (2007) ao testar o efeito da reposição de água de 75, 100, 125 e 150% em ambiente protegido em Lavras-MG, verificaram que os resultados de massa fresca total e comercial apresentaram comportamento quadrático. Observou-se que com a aplicação de água referente à lâmina de 150% da reposição houve redução nas massas fresca total e comercial, o que pode ser atribuído à redução da aeração na área de maior concentração das raízes devido ao valor de reposição de água superior a 100%. ANDRADE JÚNIOR & KLAR (1997) também obtiveram resultados com comportamento quadrático para massa fresca por planta, obtendo valor máximo à evaporação de água de um tanque classe A referente a 75% da reposição.

SANTOS et al. (2004), porém, encontraram resultados que corroboram com os observados por FILGUEIRA (2003), também na região de Lavras-MG, por meio do manejo da irrigação baseado na tensão do solo e, observaram que a altura e peso da matéria fresca da parte comercial reduziram linearmente em função do aumento da tensão. Melhores resultados referentes à altura de plantas, peso de matéria fresca da parte comercial, folhas mais tenras e melhor eficiência no uso da água foram obtidos com a tensão de 15 kPa, que foi a menor tensão testada no experimento.

Na produção de mudas especificamente, VALENÇA (2016) testando as tensões de 4; 6,5; 9 e 11,5 kPa com o ASI, observou comportamento linear de acordo com as tensões testadas, e obteve resultados até 50% superiores quando foram comparadas as mudas produzidas na tensão de 4 kPa com as de 6,5 kPa. Já com relação às mudas produzidas sob a tensão de água no substrato referente a 11,5 kPa, observou-se morte em 94% das mudas.

Também trabalhando com o ASI, testando as tensões 3, 6 e 9 kPa, com mudas de mamoeiro das cultivares ‘Tainung 01’ e ‘Sunrise Golden’, DIAS et al. (2013) observaram maior eficiência no uso da água nas tensões de 9 kPa e 6,5 kPa respectivamente.

2.5 Automação da irrigação

A automação dos sistemas de irrigação é uma alternativa prática e promissora para programação dos sistemas de irrigação, e tende a se tornar cada vez mais utilizada. A importância do uso de sistemas de irrigação, conforme dito anteriormente, advém do fato de permitir a realização da produção mesmo em regiões com oferta de mão de obra restrita.

A automação se insere neste contexto como método de criar maneiras mais eficientes na aplicação e uso da água. Dentre os benefícios observados na sua utilização pode-se citar: a redução no desperdício no uso da água; redução custos para o produtor, visto que dispensa o uso de mão de obra para o acionamento dos sistemas de bombeamento e para a estimativa de lâminas a serem aplicadas; maior autonomia na aplicação da água nos sistemas do cultivo, permitindo inclusive, que o agricultor se ausente por determinados períodos. Uma das maiores limitações relacionadas aos acionadores automáticos de irrigação seria o custo elevado de instalação (QUEIROZ, 2008), e a manutenção realizada somente por técnico especializado.

O processo de automação pode ser realizado com uso de temporizadores (*timers*) (ALENCAR et al., 2007); aplicativos computacionais (QUEIROZ, 2008); sensores comerciais de umidade no solo como, por exemplo, o Irrigás (CALBO & SILVA, 2001; MAROUELLI, CALBO & CARRIJO, 2003); sensores na planta, por exemplo, o de fluxo de seiva (MARINHO, 2011; VELLAME et al., 2011). Todos apresentam seus benefícios e limitações, mas quanto mais sofisticados mais suas limitações relacionam-se ao alto investimento necessário, fazendo com que sua disponibilidade seja limitada a produtores rurais familiares.

Avanços vêm sendo alcançados nas pesquisas realizadas a respeito do desenvolvimento e uso de dispositivos automáticos e de baixo custo para irrigação. MEDICI et al. (2010) desenvolveram o ASI utilizando materiais comerciais de baixo custo, o que aumenta as possibilidades de acesso a essa tecnologia para o pequeno produtor rural. O sistema opera de acordo com a tensão de água e até o presente momento, as pesquisas relacionadas ao ASI foram realizadas posicionando-se o sensor de tensão no substrato (BATISTA, 2013; DIAS et al, 2013; GONÇALVES, 2014; VALENÇA, 2016).

2.6 Acionador Simplificado para Irrigação (ASI)

O uso do ASI garante maior praticidade e economia na irrigação. É um dispositivo de baixo custo e fácil obtenção, portanto, tende a ocupar um papel de extrema importância em sistemas de irrigação. A avaliação de seu uso com diferentes métodos, tensões e culturas é imprescindível para fazerem-se recomendações técnicas por meio das observações experimentais e ainda, obter dados básicos para futuras pesquisas.

O dispositivo denominado ASI vem se mostrando eficiente na automação da irrigação, possuindo, desta forma, potencial para uso na agricultura. O depósito de pedido de patente do referido dispositivo foi realizado pelo Prof. Dr. Leonardo Oliveira Medici (UFRRJ) em 2007 junto ao Instituto Nacional de Propriedade Intelectual (INPI), recebendo o registro MU 8700270-1. O ASI foi desenvolvido para manter automaticamente a tensão da água entre 0 e 10 kPa.

O Acionador automático é montado utilizando-se pedaços de vela de filtro doméstico (cápsula de cerâmica), que através de um tubo flexível, é acoplada a um pressostato de máquina de lavar roupa (Figura 1). Com o tubo preenchido com água, o pressostato recebe uma pressão de coluna d'água mantendo a corrente elétrica interrompida. Quando a evapotranspiração reduz a umidade do sensor, uma pressão negativa é gerada na vela de filtro, agindo como um sinalizador; esta pressão será transmitida ao pressostato através do tubo flexível, conforme o Princípio de Pascal, fazendo com que o fornecimento de água para a irrigação seja acionado eletricamente.

A partir do momento que a irrigação for acionada, haverá entrada de água na cápsula cerâmica, igualando o valor da pressão negativa para o valor da pressão atmosférica. Além disso, a entrada de água na cápsula também aumentará a pressão no pressostato que desligará o sistema de irrigação.

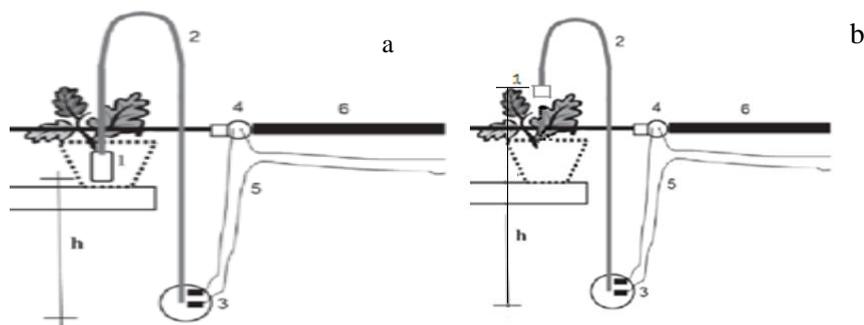


Figura 1 - Esquema montagem acionador simplificado de irrigação com o sensor inserido no solo (a); sensor posicionado na atmosfera (b). 1-cápsula cerâmica, 2-tubo flexível, 3-pressostato, 4-válvula solenoide, 5-fios elétricos, 6-fonte de água, h-desnível do pressostato em relação à vela de filtro.

Fonte: Adaptado de Medici et al. (2010).

O manejo da irrigação pode ser feito baseado em fatores relacionados ao solo, planta ou atmosfera. O potencial matricial do solo é um critério usado de forma majoritária para realização do manejo da irrigação, pois reflete de forma eficiente a exigência da planta e o manejo é feito de acordo com mudanças no status hídrico do solo.

A utilização do ASI se mostrou promissora, posicionado o sensor no solo. BATISTA et al. (2013) trabalhando com plantas de alface observaram que o sistema é eficiente no manejo da irrigação, e promove o crescimento das plantas e economia no uso da água, garantindo assim maior eficiência no uso da água de acordo com a tensão recomendada para a cultura, região e época do ano. GONÇALVES et al. (2014) também trabalhando com alface e o ASI observou que o uso do acionador é viável e economicamente vantajoso quando comparado a outros sistemas de irrigação.

Buscando facilitar o uso do sensor na irrigação de mudas um dos objetivos do presente estudo é testar o uso do acionador automático de irrigação posicionando-se o sensor na atmosfera. Com o sensor posicionado na atmosfera adjacente a bancada de produção, a cápsula cerâmica perderia umidade em função do déficit de pressão de vapor neste ambiente, e comunicaria a redução na pressão interna ao pressostato, que atuaria ligando a irrigação.

Entre as vantagens do seu posicionamento na atmosfera está o fato que, no caso de irrigação de mudas, devido às dimensões reduzidas das células de bandeja, para utilização do equipamento desenvolvido é necessário fazer-se adaptações, exigindo-se a confecção de sensores de pequena dimensão. E, devido às pequenas dimensões da célula de produção pode não haver um contato adequado entre o substrato e a cápsula cerâmica, o que é fundamental para a correta medição da tensão de água no meio de produção. Outra vantagem está na maior mobilidade das bandejas de produção, o que não seria possível no caso da utilização do sensor localizado no substrato.

A limitação está no fato do sensor não estar medindo a tensão de água no sistema radicular, não obtendo a necessidade hídrica exigida pela planta via solo/substrato, o que seria recomendado tradicionalmente. Contudo, tendo em vista a especificidade do sistema de produção de mudas hortícolas, com células de produção de pequeno volume e capacidade de retenção de água, o uso de um sensor de déficit de pressão de vapor acoplado nas proximidades da parte aérea da planta, pode atuar ligando o sistema de irrigação e mantendo as plântulas com teor de água elevado no substrato. Para verificação dessa adaptação no uso tradicional do ASI é que se desenvolveu o presente estudo.

3. MATERIAL E MÉTODOS

No ano de 2016 foram realizados experimentos de produção de mudas de alface (*Lactuca sativa L. cv Regina*) em duas épocas para produção das mudas, a primeira de 8 de julho à 8 de agosto e a segunda 16 de outubro à 16 de novembro.

3.1 Localização e Delineamento Experimental

Os experimentos foram conduzidos em casa de vegetação de 35 m de comprimento e 8 m de largura, coberta com plástico agrícola (Figuras 2a e 2b), localizada no Campus da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, no setor de Horticultura do Instituto de Agronomia, em Seropédica-RJ, Brasil (latitude 22°48'00''S longitude 43°41'00''W e altitude de 33 m).

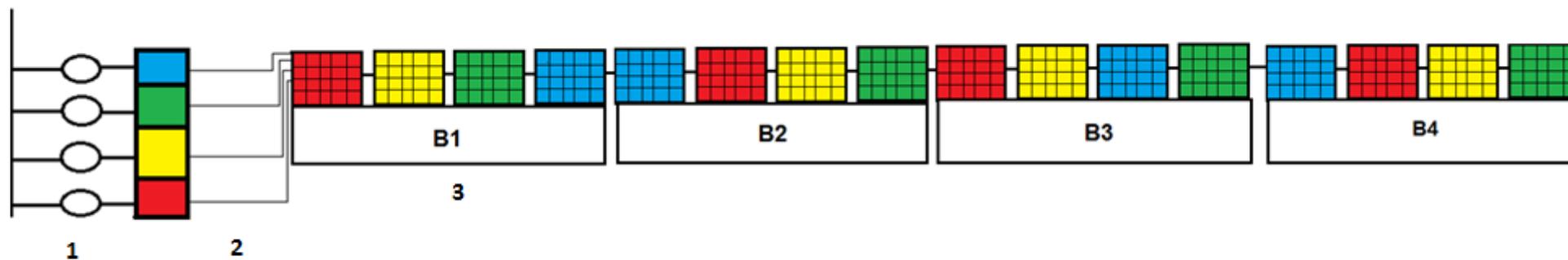
O clima da região é classificado Aw pela classificação de Köppen, com precipitações e temperaturas elevadas no verão e inverno seco com temperaturas amenas. A região apresenta precipitação média anual de 1213 mm e temperatura anual média de 24,5 °C (CARVALHO et al., 2006).



Figura 2 - Vistas frontal (a) e lateral (b) da casa de vegetação localizada no Setor de Horticultura, Campus UFRRJ, Seropédica – RJ.

3.2 Delineamento Experimental

Foi utilizado o delineamento experimental blocos casualizados, em esquema fatorial, onde o fator A foi as 4 regulagens do acionador (3,5; 5; 6,5 e 8 kPa) e o fator B as 2 épocas de avaliação (8 de julho à 8 de agosto e 16 de outubro à 16 de novembro), com 4 repetições, totalizando 32 parcelas (unidades experimentais), conforme pode-se observar na Figura 3.



Época 1: ■ 3,5 kPa; ■ 5 kPa; ■ 6,5 kPa; ■ 8 kPa.

Época 2: ■ 6 kPa; ■ 3,5 kPa; ■ 8 kPa; ■ 6,5 kPa.

Legenda: 1 – Hidrômetro; 2 – Sistema hidráulico de irrigação; 3- Bloco experimental.

Figura 3 - Croqui da área experimental.

A área experimental utilizada nas duas épocas experimentais pode ser observada na Figura 4.



Figura 4 - Área Experimental.

3.3 Condições de Cultivo

Foram usadas sementes da cultivar Regina categoria S2, com potencial germinativo de 85% e 99,9% de pureza (Super seed/ Agristar – São Paulo/ SP). Vale ressaltar que a cultivar Regina é selecionada para regiões com temperaturas elevadas, portanto, propícia para o cultivo na região de Seropédica - RJ. Foi utilizado substrato comercial orgânico para plantas composto por: Turfa de Sphagno, Vermiculita expandida, calcário dolomítico, gesso agrícola e fertilizante NPK (traços), do fabricante Carolina Padrão (Carolina Soil do Brasil – Santa Cruz do Sul/RS). Não foi feita qualquer aplicação de nutrientes adicional.

A semeadura foi realizada em bandejas de isopor de 200 células, mas somente a parcela das 16 células centrais foi utilizada (Figura 5). Foram colocadas quatro sementes por célula e cerca de sete dias após a semeadura foi realizado o desbaste, restando uma plântula em cada célula.

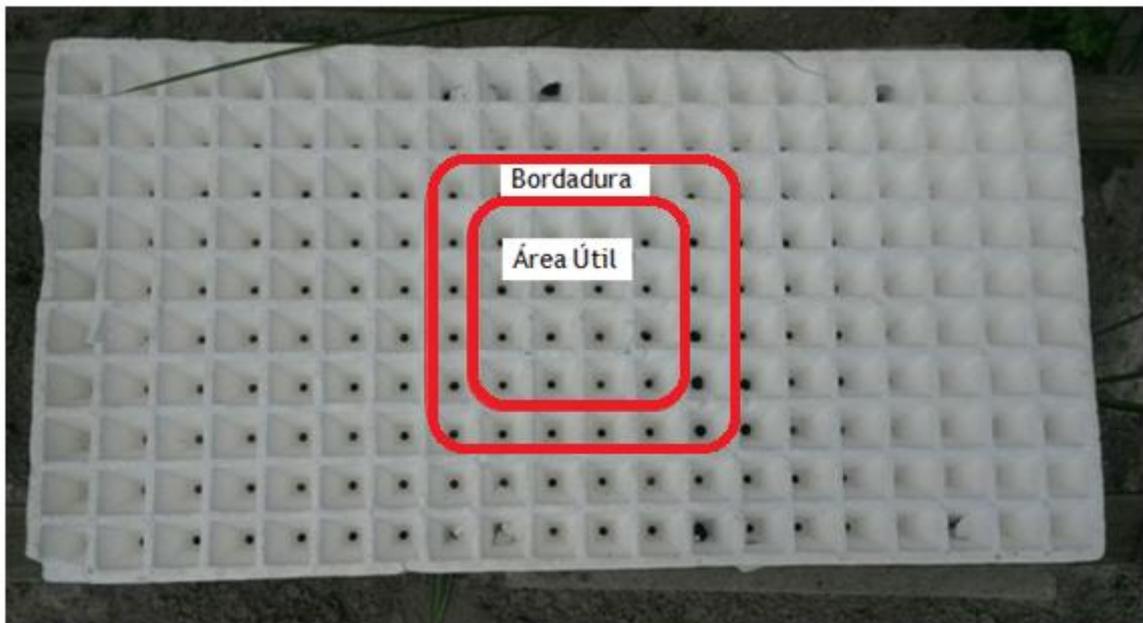


Figura 5 - Bandeja com 200 células. Destaque para a área onde foram cultivadas as mudas: 16 células centrais constituindo a parcela experimental e as demais utilizadas como bordadura.

3.4 Sistema de irrigação, coleta de lâminas e drenagem.

O sistema de irrigação utilizado foi o sistema de microaspersão, com microaspersores da fabricante Rain Bird, modelo XS-90, com vazão que pode ser regulado de 0 a 120 L h⁻¹. Cada bandeja recebeu irrigação por um microaspersor, instalado a 0,75 metros na direção perpendicular central da bandeja de produção.

Um acionador foi instalado em cada uma das quatro parcelas do primeiro bloco e a irrigação dos tratamentos correspondentes dos demais blocos correspondentes era comandada por esse acionador. A regulação do ASI é feita pelo desnível entre o sensor e o pressostato (Figura 6a, 6b e 7). Os desníveis entre o sensor e o pressostato utilizados foram de 35, 50, 65 e 80 cm, correspondente às tensões de 3,5; 5; 6,5 e 8 kPa.

Com objetivo de garantir maior uniformidade na germinação, a quantidade de água necessária à sua ocorrência, até os sete dias após a sementeira, foi fornecida por irrigações manuais no período da manhã. Neste mesmo período os acionadores automáticos se encontravam ligados fornecendo irrigação suplementar e todos estavam regulados para 3,5 kPa. Após esse período os tratamentos foram diferenciados. Esse procedimento ocorreu nos dois períodos experimentais.

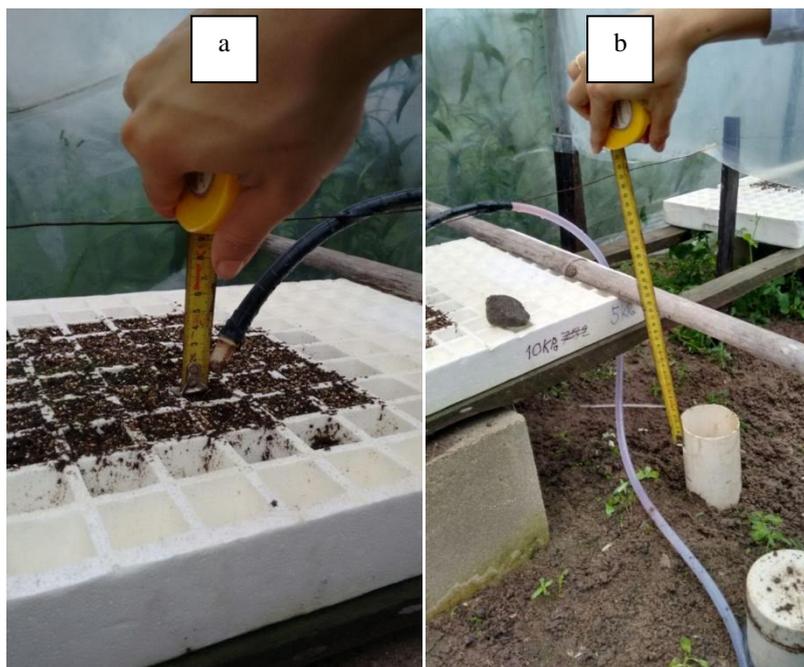


Figura 6 - Regulagem do acionador por meio da distância vertical entre a vela e o pressostato: mensuração da distância vertical entre a bandeja e o sensor cerâmico (a); mensuração da distância vertical entre a bandeja e o cano PVC de proteção do pressostato(b).



Figura 7 - Cano de PVC de proteção do pressostato instalado no interior da casa de vegetação, tornando possível a regulagem das tensões avaliadas.

Foram inseridos dois tubos falcon 50 mL (Smedica – Marsala/TP) na parte inferior de cada bandeja, atuando como coletores em duas células. Uma dessas células foi preenchida com substrato e muda, com o objetivo de quantificar a ocorrência de possível drenagem, e a outra célula permaneceu vazia tendo a função de quantificar a lâmina aplicada diariamente. Além disso, foi instalado um hidrômetro na entrada de cada linha para controlar o volume de água aplicado nos tratamentos.

As lâminas e volumes de água dos coletores e do hidrômetro foram coletados diariamente na parte da manhã com o propósito de controlar a água aplicada em todo o

cultivo. A escolha das células da área útil para inserção dos tubos para drenagem e coleta de lâmina irrigada foi realizada aleatoriamente em cada uma das 16 bandejas do experimento.

O acionador foi testado posicionando-se o sensor na atmosfera adjacente superior a bandeja de produção e a cápsula cerâmica ficou posicionado a uma distância de 1 cm da bandeja de produção (Figura 8), seu acionamento sendo regulado pela tensão de vapor da atmosfera que, como se sabe, é a de potencial mais negativo no sistema solo-planta-atmosfera.



Figura 8 - Sensor posicionado na atmosfera adjacente superior, com 1 cm da bandeja.

3.5 Confeção e teste de funcionamento do Acionador automático de irrigação.

Foram confeccionados microsensores nas dimensões de aproximadamente 4 cm de comprimento e 1cm de diâmetro superior em formato parabólico. Estes sensores foram fabricados a partir de uma vela de filtro doméstico comercial que foi cortada em pequenos pedaços. Com a utilização de uma mini furadeira e uma broca de 0,3 mm foi realizado um furo na parte central superior com profundidade de 2,7 cm (Figura 9). Após essa etapa os sensores foram lixados até obtenção do tamanho desejado, de maneira que todos os sensores utilizados tivessem um tamanho similar.

O principal teste realizado foi o teste de tempo de desligamento do acionador. Os sensores atingiram tempo de desligamento de 5s. Caso o teste alcance tempo superior pode-se diminuir o tempo de resposta do sensor realizando o lixamento da superfície do mesmo, de maneira a reduzir o volume poroso da cápsula cerâmica.

O teste acima citado é realizado com o acionador devidamente montado, preenchido com água e aplica-se um desnível entre o pressostato e a cápsula cerâmica. Dessa forma, ao sensor perder água na forma de vapor para a atmosfera gera-se uma pressão negativa no pressostato, que atingido valor correspondente ao desnível aplicado liga-se a irrigação, verificado por um sinal sonoro. A partir de então, coloca-se o pressostato e a vela a uma distância de aproximadamente 30 cm, conforme vem sendo testado nos experimentos anteriores realizados pelo grupo. Logo após, o sensor é inserido em um recipiente com água a qual ao ser succionada para o interior dos poros do sensor aumenta a pressão hidráulica do sistema, reestabelecendo o equilíbrio das pressões no sensor no pressostato, e desligando o aparelho. O tempo de desligamento refere-se ao tempo que o sistema leva para desligar, ou em outras palavras, o tempo que a tensão entre a vela e o pressostato é anulada.

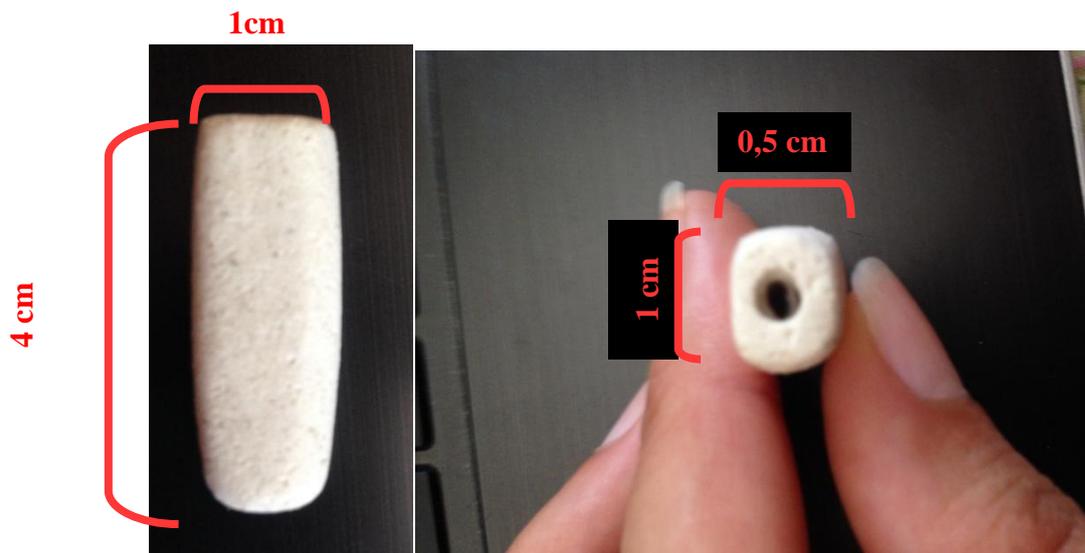


Figura 9 - Sensor fabricado a partir de vela de filtro doméstico.

Um problema encontrado na utilização do ASI com o sensor posicionado no ar diz respeito ao entupimento dos poros dos sensores com algas (Figura 10). Tal fato ocorreu devido à presença de luz, água e nutrientes no sensor, o que acabou gerando uma superestimativa da lâmina necessária. Visto que, com a presença das algas o sensor demorava um tempo muito maior para absorver a água perdida pelo acionador. Tal observação foi feita durante a etapa de ensaios preliminares com a utilização do sensor do ASI no ar e o problema foi sanado realizando-se o preenchimento do aparelho com solução de Sulfato de Cobre, reconhecidamente um algicida utilizado em piscinas na concentração de 100 ppm (Figura 11). A densidade da solução de Sulfato de cobre utilizada foi de $1,039 \text{ g L}^{-1}$.



Figura 10 – Detalhe do sensor apresentando proliferação de algas na superfície de contato com a atmosfera.



Figura 11 - Acionador mergulhado em solução de sulfato de cobre 100 ppm, antes da instalação na casa de vegetação.

3.6 Teste de uniformidade e de aplicação

Com o objetivo de garantir uniformidade na aplicação de água entre as bandejas de mesmo tratamento foi realizado teste preliminar à sementeira. O teste consistiu na utilização de quatro tampas de tubos Falcon dispostas de maneira quadricular sobre as arestas da área útil, que continha as 16 células de produção monitoradas em todas as bandejas de todos os tratamentos. A seguir, o sistema de irrigação foi acionado por 5 minutos e o volume de água coletado nas tampas em cada bandeja mensurada com a utilização de uma proveta graduada. Os volumes foram comparados uns com os outros. Estipulou-se a variação máxima de 10% entre as bandejas de mesmo tratamento, de forma a tentar obter a menor variação possível.

Em seguida, utilizando os mesmos coletores utilizados no teste anterior, foi realizado o teste de uniformidade de aplicação baseado no teste descrito por Christiansen (1942). O sistema de irrigação foi acionado durante 20 minutos, e depois de decorrido o período, os volumes interceptados pelos coletores foram aferido separadamente e registrados. Com os dados coletados foi calculado o Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC), segundo equação a seguir:

$$CUC = 100 \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^N |L_i - L_m|}{N L_m} \right)$$

Onde:

CUC - Coeficiente de uniformidade de Christiansen (%);

L_i - Lâmina obtida no i -ésimo coletor (mL);

L_m - Lâmina média de todas as observações (mL);

N - Número de coletores.

A interpretação dos valores baseou-se na metodologia mostrada por Mantovani (2001), conforme pode ser verificado na Tabela 1 abaixo:

Tabela 1 - Classificação dos valores do Coeficiente de Uniformidade de Christiansen (CUC)

| Classificação | CUC (%) |
|----------------------|----------------|
| Excelente | >90 |
| Bom | 80-90 |
| Razoável | 70-80 |
| Ruim | 60-70 |
| Inaceitável | <60 |

Fonte: MANTOVANI (2001)

Os valores obtidos pelo teste de uniformidade de Christiansen referentes aos dois períodos experimentais estão apresentados nas tabelas a seguir:

Tabela 2 – Coeficientes de Uniformidade de Christiansen (CUC) obtidos no teste de uniformidade de aplicação na primeira época experimental

| <i>Bandeja</i> | <i>Valores do CUC (%)</i> | | | |
|----------------|---------------------------|--------------|---------------|--------------|
| | 3,5kPa | 5kPa | 6,5kPa | 8 kPa |
| B1 | 94,23 | 96,23 | 97,14 | 96,34 |
| B2 | 98,29 | 97,52 | 95,37 | 96,04 |
| B3 | 95,63 | 94,74 | 96,61 | 97,52 |
| B4 | 96,45 | 95,67 | 93,9 | 94,1 |
| Média | 96,15 | 95,04 | 95,76 | 95,99 |

Tabela 3 – Coeficientes de Uniformidade de Christiansen (CUC) obtidos no teste de uniformidade de aplicação na segunda época experimental

| <i>Bandeja</i> | <i>Valores do CUC (%)</i> | | | |
|----------------|---------------------------|--------------|----------------|--------------|
| | 3,5 kPa | 5 kPa | 6,5 kPa | 8 kPa |
| B1 | 96,8 | 98 | 95,09 | 96,67 |
| B2 | 95,09 | 94,18 | 96,15 | 92,72 |
| B3 | 95,81 | 91,06 | 93,69 | 93,88 |
| B4 | 96 | 95,15 | 96,46 | 94,27 |
| Média | 95,93 | 94,59 | 95,35 | 94,39 |

Conforme se pode observar nos dados tabelados, o CUC de ambos os períodos experimentais e todos os tratamentos encontraram-se dentro da faixa considerada excelente por MANTOVANI (2001). Segundo ZOCOLER (2005) valores de CUC inferiores a 80% nos sistemas de irrigação por aspersão só podem ser admitidos em raras situações, como por exemplo, em situações onde a precipitação pluvial tem participação significativa durante o cultivo.

3.7 Caracterização de temperatura e umidade relativa no interior da casa de vegetação

A caracterização do ambiente no interior da estufa foi feita pela medida das temperaturas e umidade relativa do ar (UR). Os dados foram registrados por um Termohigrômetro Datalogger, modelo IP-747RH Temperatura e Umidade USB (Impac), instalado na parte central da casa de vegetação onde o experimento foi conduzido.

Calculou-se a temperatura média, máxima e mínima, e, umidade relativa média, máxima e mínima diária a partir dos valores medidos de 30 em 30 min. Foi calculado também o déficit de pressão de vapor do ar (DPV_{ar}) com os dados medidos e utilizando-se as seguintes equações, propostas por JONES (1992):

(a) Pressão de Vapor de Saturação (e_s)

$$e_s = 0,618 \times e^{\left(\frac{17,27 \times T}{T+273,3}\right)} [kPa]$$

Onde: e - inverso do logaritmo natural;
T - Temperatura média diária do ar (°C).

(b) Pressão Parcial de Vapor (e_a)

$$e_a = e_s \times \left(\frac{UR}{100} \right) [kPa]$$

Onde: UR - Umidade relativa média do ar (%)

(c) Déficit de Pressão de Vapor do ar (DPV_{ar})

$$DPV = e_s - e_a [kPa]$$

3.8 Variáveis analisadas

3.8.1 Análises Biométricas

As variáveis biométricas avaliadas foram: Massa Fresca da Parte Aérea (MFPA), Massa Seca da Parte Aérea (MSPA), Altura (H) e Número de Folhas (NF). Todas as variáveis foram analisadas para as mudas da unidade experimental de cada bandeja no final do experimento. Descrições adicionais são apresentadas nos subitens abaixo:

Massa Fresca da Parte Aérea (MFPA) - Obtida por meio da pesagem das mudas, logo após a coleta, em balança analítica de cinco casas decimais da marca Bioprecisa FA – 2194 N.

Massa Seca da Parte Aérea (MSPA) - Material foi acondicionado, separadamente, em sacos de papel e levado a estufa de circulação forçada a 60 °C, por período necessário à completa evaporação da água, até que o peso se mantivesse constante. Posteriormente, todo o material foi pesado em balança analítica de cinco casas decimais da marca Bioprecisa FA – 2194 N.

Altura (H) – A altura foi determinada com auxílio de uma régua graduada em milímetros e foi determinada a partir da região do coleto até a gema apical.

Número de Folhas – contagem das folhas presentes na parte aérea da planta.

3.8.2 Análises Fisiológicas

3.8.2.1 Condutância Estomática

Os dados de condutância estomática (gs) em ambos os experimentos foram mensurados aos 25 dias após a semeadura. A medição foi realizada utilizando o Leaf Porometer (Decagon Devices, 2365 NE Hopkins Court Pullman, WA 99163). A mensuração dos dados foi feita próxima às 12 h, com o objetivo de mensurar a condutância no horário de maior demanda de vapor d'água na atmosfera.

3.8.2.2 Cinética de Emissão da Fluorescência da Clorofila *a*

Os parâmetros da cinética de emissão da fluorescência transiente da clorofila *a* das plantas foram avaliados, em ambos os experimentos, aos 28 dias após a semeadura. A medição foi realizada utilizando fluorômetro portátil (HandyPEA, Hansatech, King's Lynn, Norfolk, UK).

As mensurações foram realizadas no terço médio das folhas jovens completamente expandidas, no período da manhã, e realizadas 20 min após a adaptação das folhas ao escuro. A emissão de fluorescência foi induzida em uma área de 4 mm de diâmetro da folha pela exposição da amostra a um pulso de luz saturante numa intensidade de $3.000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. A partir das intensidades de fluorescência foram calculados os parâmetros estabelecidos pelo Teste JIP conforme metodologia proposta por STRASSER & STRASSER (1995).

3.8.3 Eficiência no uso da Água.

A eficiência no uso da água (EUA) é igual à razão entre a taxa de assimilação de CO_2 e a taxa de perdas de H_2O , ou agronomicamente, à razão entre a massa seca de planta produzida pela massa de água consumida (KRAMER & BOYER, 1995). A EUA foi calculada pela razão entre a massa seca de parte área (g) e o volume de água aplicado nas parcelas (L).

3.9 Análise Estatística

Os resultados obtidos foram submetidos à análise da variância à significância de 5% ($p \leq 0,05$). Na presença de interação significativa foi realizada nova análise de variância com desdobramento dos graus de liberdade. Teste de Scott-Knott foi usado para determinação de significância a 5% de probabilidade. Os dados foram analisados com o auxílio do programa estatístico SISVAR.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização Climática no Interior da Casa de Vegetação.

As temperaturas médias diárias observadas no interior da casa de vegetação foram de 24,13°C e 28,3 °C para a primeira e segunda época de plantio, respectivamente (Figuras 12a e 12c). Segundo SEGOVIA (1997), a faixa de temperatura citada para obtenção de rendimento máximo situa-se entre 15°C e 24°C, o que caracteriza a temperatura observada na primeira época de plantio. Já LIMA JÚNIOR et al. (2010) consideram que a planta tolera até temperatura máxima de 30°C.

Durante os períodos de condução experimental pode-se observar também temperaturas máximas elevadas como 49°C na primeira época experimental e 51,5°C na segunda (Figuras 12a e 12c). Porém, verificou-se que a temperatura não constituiu fator limitante à produção, o que pode ter ocorrido em decorrência da tolerância à temperaturas mais elevadas da cultivar utilizada.

As temperaturas mínimas registradas foram de 10,8 e 15,8°C na primeira e segunda época experimental, respectivamente (Figuras 12a e 12c), o que não configura cenário de adversidade. Segundo SEGOVIA et al. (1997) somente temperaturas inferiores a 10°C caracterizaria época pouco favorável ao desenvolvimento da cultura.

Na segunda época de plantio, porém, houve uma limitação na fase de germinação das sementes. Tal fato pode ser atribuído às temperaturas muito altas registradas na fase e alta intensidade luminosa. Após a instalação de tela de sombreamento, com o objetivo de reduzir a temperatura e a elevada luminosidade incidente sobre as bandejas, a germinação ocorreu sem maiores adversidades.

Com relação à umidade relativa do ar registrou-se o valor médio de 67,75% na primeira época de plantio e 71,73% na segunda. O maior e menor valor registrado no primeiro período experimental foram de 96,00 e 15,90%, enquanto no segundo período experimental foram registrados valores máximo e mínimo de 98,00 e 16,50% (Figuras 12b e 12d).

Segundo LIMA JÚNIOR et al. (2010) a UR deve situar-se entre 60 e 80%, e portanto, ambas as épocas apresentaram UR favorável ao desenvolvimento das plantas. Embora, quando considerando máximas e mínimas diárias os valores de UR se encontram fora da faixa ótima. Aparentemente tal discrepância também não teve efeito limitante no crescimento das plantas no presente estudo.

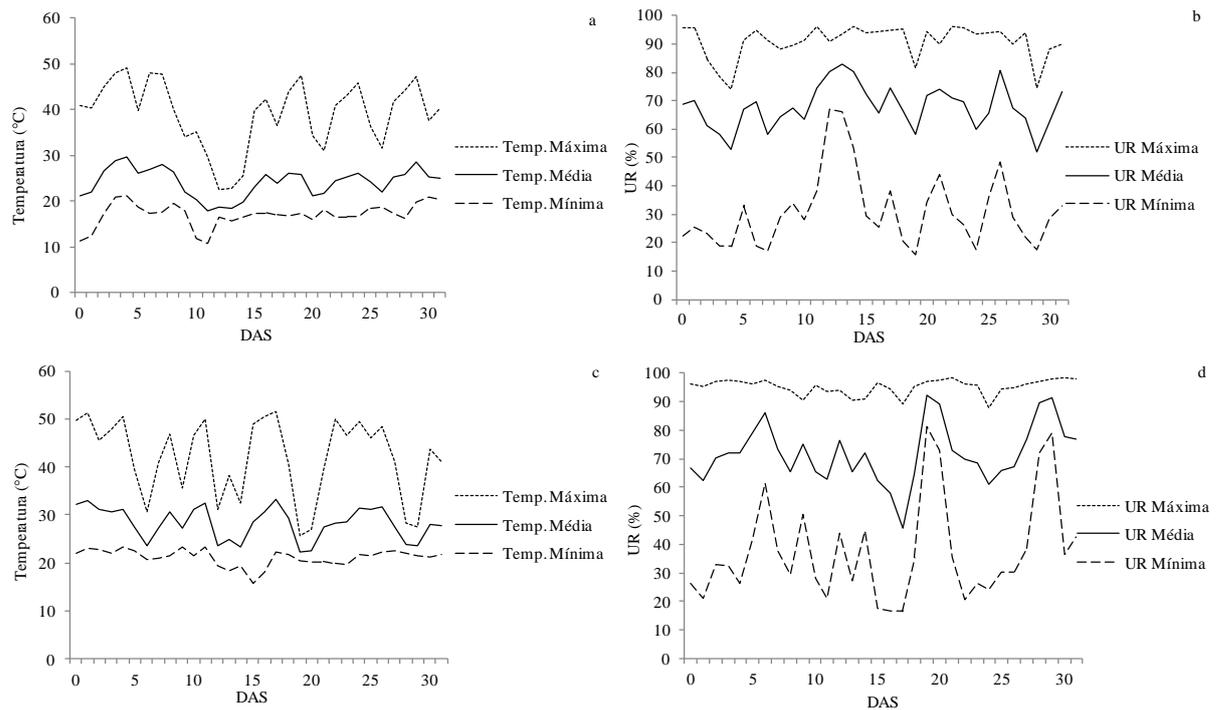


Figura 12 - Variação da temperatura e umidade relativa do ar na primeira (a e b) e segunda (c e d) épocas experimentais.

O déficit de pressão de vapor atmosférico (DPV) variou de 1,99 e 0,37 kPa na primeira época experimental (Figura 13a) e de 2,82 e 0,22 na segunda época experimental (Figura 13b).

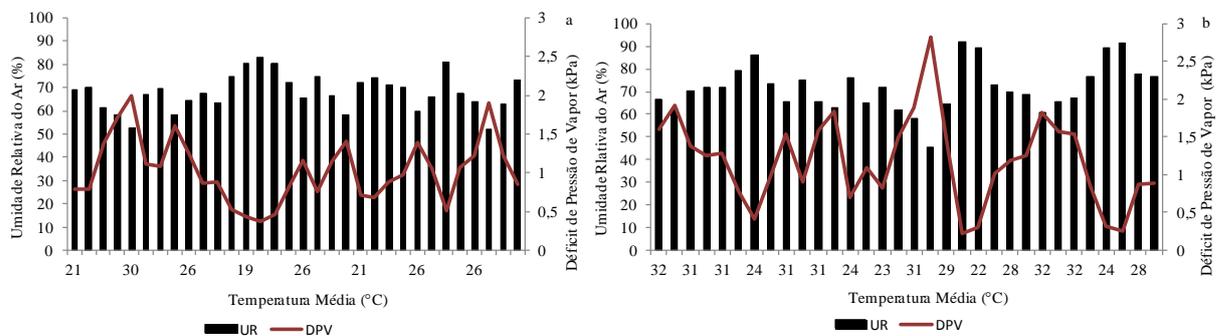


Figura 13 - Déficit de pressão de vapor, Temperatura e UR na primeira (a) e segunda (b) épocas experimentais.

4.2 Análise da irrigação

A partir dos sete dias após a semeadura, os tratamentos foram diferenciados e os acionadores instalados nas regulagens de 3,5; 5; 6,5 e 8 kPa. A diferenciação entre os tratamentos provocou diferentes regimes de irrigação. Interessante observar que a aplicação de água na maior parte das vezes apresentou picos nos dias em que o déficit de pressão de vapor no interior da casa de vegetação se encontrava mais alto, em ambas as épocas, ilustrando a maior demanda da atmosfera nesses dias (Figuras 14 e 15).

Uma das maiores preocupações na adoção da utilização do sensor na atmosfera foi relacionada à alta demanda evapotranspirométrica da atmosfera. Como a tendência do movimento é sempre para o potencial mais negativo, que sempre é o potencial da atmosfera, seria possível que o acionador ficasse ligado continuamente. No entanto, tal fato não foi observado na prática e inclusive verificou-se ausência de drenagem em todos os tratamentos durante todo o período experimental, demonstrando o funcionamento adequado do sistema. Tal fato pode ser explicado sabendo-se que o sensor cerâmico ao receber a água, a retém em seu interior por um determinado período de tempo até que a tensão regulada pelo acionador seja atingida, sendo esse tempo tanto maior quanto maior a tensão em questão. Em outras palavras, determinado período de tempo para que o volume de água “perdido” para a atmosfera movimente o diafragma do pressostato e só assim acione o sistema novamente.

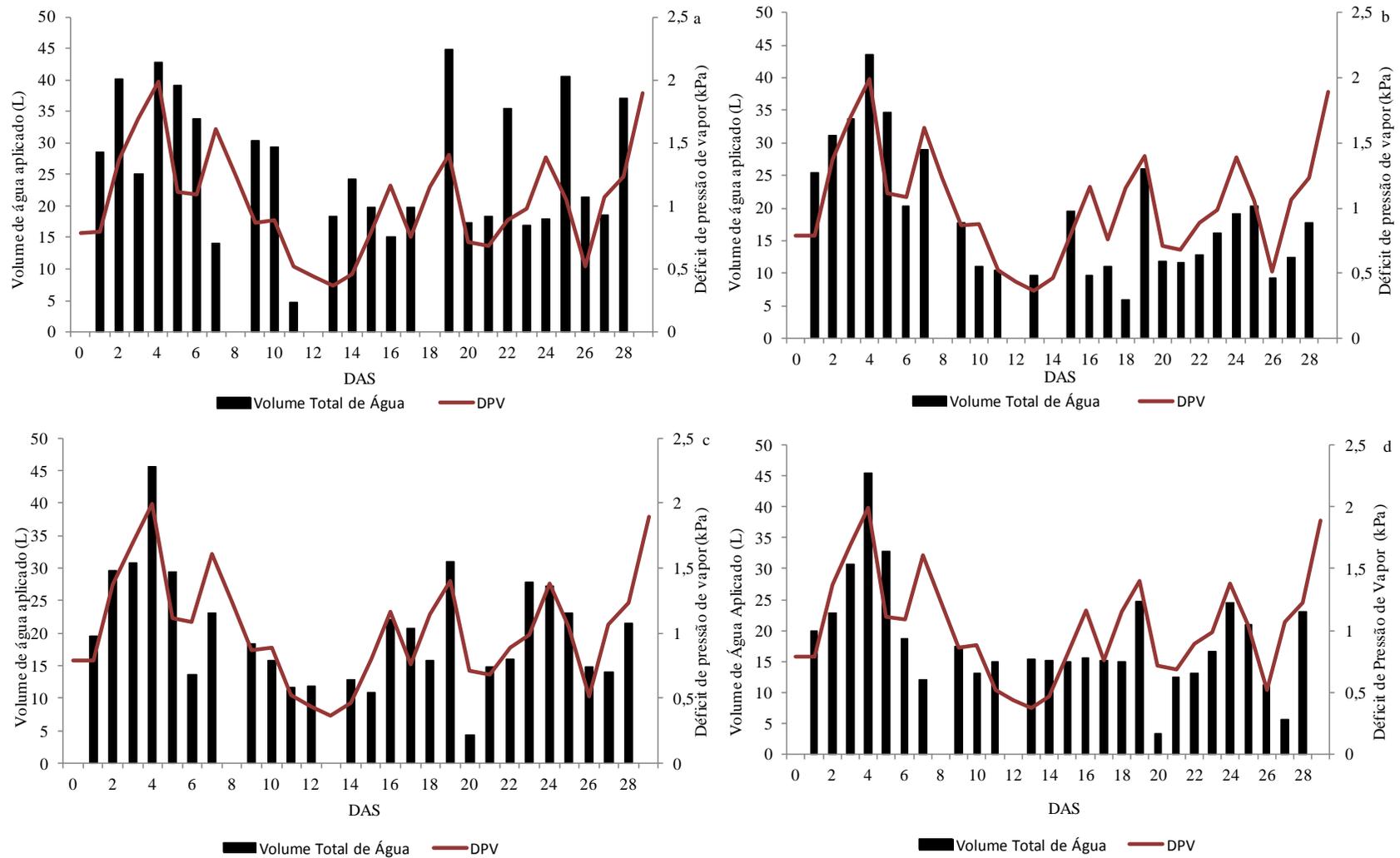


Figura 14 - Volume total de água aplicado durante a primeira época experimental (leitura hidrômetro), para diferentes tensões de acionamento: 3,5 kPa (a); 5 kPa(b); 6,5 kPa(c); 8 kPa (d).

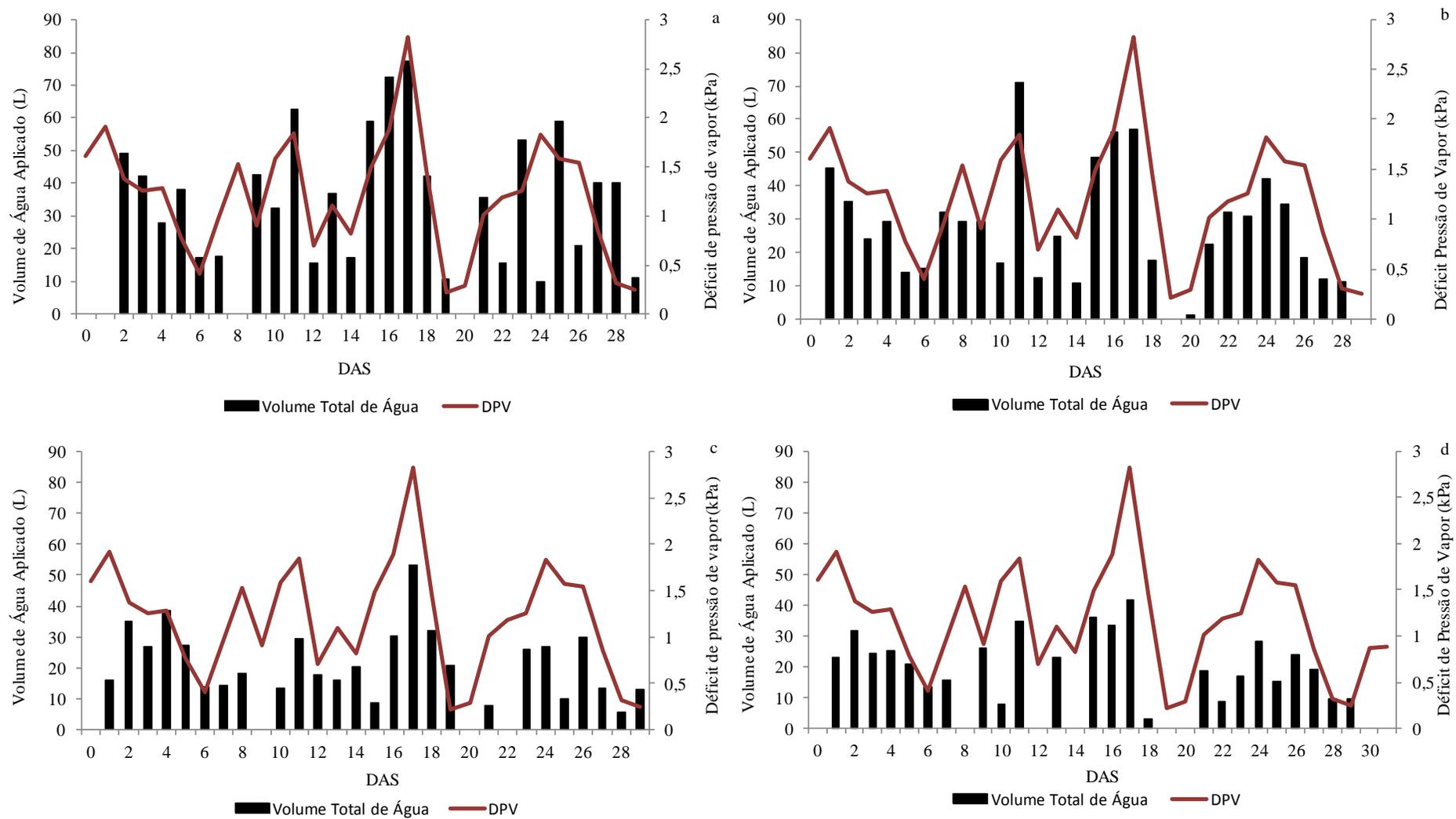


Figura 15 - Volume total de água aplicado durante a segunda época experimental (leitura hidrômetro), para diferentes tensões de acionamento: 3,5 kPa(a); 5 kPa(b); 6,5 kPa(c); 8 kPa (d).

Na primeira época experimental os volumes aplicados e utilizados para produzir uma muda nas regulagens de 3,5; 5,0; 6,5 e 8,0 kPa foram em média 30,7 mL, 28,6 mL, 27,1 mL e 23,9 mL, respectivamente. Na segunda época experimental, os volumes foram de, respectivamente, de 32,4 mL, 26,8 mL, 25,7 mL e 20,1 mL. Observa-se que maiores tensões de acionamento proporcionaram menores volumes de água às plantas, conforme esperado.

4.3 Variáveis Biométricas

Todas as variáveis biométricas (MFPA, MSPA, Altura e número de folhas) apresentaram redução significativa conforme se aumentou a tensão testada na época 2 (Tabela 4).

Comparando-se os dois períodos avaliados houve diferença no crescimento e desenvolvimento de mudas. Na primeira época de plantio, que segundo a literatura se enquadraria em melhores condições de temperatura e UR para o desenvolvimento da cultura, não foram observadas diferenças significativas na massa fresca da parte aérea (MFPA), embora possa ser observada ligeira redução na massa fresca conforme se aumentou a tensão de acionamento do acionador. Foram observados valores de 0,21g e 0,19 g para as tensões de 3,5 kPa e 8 kPa, respectivamente, para mudas colhidas aos 30 dias após a semeadura.

No segunda época de avaliação foram observadas diferenças significativas de acordo com a variação da tensão, apresentando incremento da variável MFPA conforme se utilizaram menores tensões de acionamento.

VALENÇA (2016) encontrou valores superiores aos apresentados na Tabela 5, posicionando-se o acionador no substrato, apresentando acumulação de massa fresca da parte aérea de 0,53g na tensão de 4 kPa em experimento realizado no mês de agosto. Porém, o mesmo autor observou acentuada redução de MFPA conforme se aumentava a tensão de água no solo, chegando a uma acumulação de massa fresca de 0,07 g na tensão de 6,5 kPa e morte de todas as mudas na maior tensão testada (11,5 kPa) o que não foi observado no atual experimento. Tal fato pode ser atribuído à utilização diferenciada do ASI, mostrando que na menor tensão testada com o ASI com sensor no solo talvez a necessidade hídrica das mudas seja mais bem representada, porém, nas maiores tensões a resistência do material cerâmico em conjunto com a resistência do solo torna o processo de evaporação mais demorado tornando o seu acionamento mais lento.

Características climáticas diferenciadas no experimento de VALENÇA (2016) podem também ser responsáveis pelos resultados apresentados. De maneira geral, os dados de temperatura e UR apresentaram valores superiores aos os observados na primeira época experimental e inferiores aos observados na segunda época experimental. A temperatura média foi de 25,8 °C e verificou-se máxima, mínima de, respectivamente, 49,9 e 15,4. A UR se manteve entre 52,5 e 87,7%, sendo a máxima registrada de 100% e a mínima de 11,9%.

Tabela 4 - Variáveis biométricas médias para as diferentes tensões e durante as duas épocas de cultivo.

| Tensão | Época | | | | | | | |
|--------|-----------------------------|--------------------|---------------------------|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|--------------------|
| | 1 | | 2 | | 1 | | 2 | |
| | Massa fresca de parte aérea | | Massa seca de parte aérea | | Altura | | Número de folhas | |
| (kPa) | (g) | | (g) | | (cm) | | | |
| 3,5 | 0,21 ^B | 0,38 ^{aA} | 0,02 ^B | 0,04 ^{aA} | 4,06 | 4,49 ^a | 5,25 ^B | 6,45 ^{aA} |
| 5,0 | 0,20 | 0,24 ^b | 0,02 ^B | 0,03 ^{bA} | 3,70 ^B | 3,96 ^{bA} | 5,43 | 5,60 ^b |
| 6,5 | 0,20 | 0,23 ^b | 0,02 | 0,02 ^c | 3,69 | 3,80 ^b | 5,78 | 5,33 ^b |
| 8,0 | 0,19 | 0,14 ^c | 0,01 | 0,01 ^c | 4,24 ^A | 3,39 ^{bB} | 5,59 ^A | 4,51 ^{cB} |

Médias seguidas de letras diferentes minúsculas na coluna e maiúsculas na linha diferem significativamente, respectivamente, pelo teste Scott-Knott e F, ao nível de significância de 5 %.

Entre as épocas testadas foi observada diferença significativa na MFPA entre as tensões analisadas somente na tensão de 3,5kPa. A maior produção de matéria fresca observada no segundo período de experimentos pode ser atribuída à maior luminosidade ocorrida no período. Vale ressaltar a necessidade de instalação de tela de sombreamento de 50% para proteger as plantas de estresse e morte por excesso de radiação solar incidente no período citado. Porém, ainda com a necessidade de instalação das telas e maior média de temperatura observada na segunda época experimental a cultivar testada apresentou desempenho superior nesse período na tensão de 3,5 kPa, quando comparada as demais tensões. SETUBAL E SILVA (1992) afirmaram que em condições elevadas de umidade e temperatura a cultura da alface deixa de expressar todo o seu potencial genético.

Conforme foi observado na primeira tentativa de instalação do experimento, na segunda época, embora condições de luminosidade sejam desejáveis para o crescimento das mudas é importante ressaltar que o excesso pode ocasionar estresse e até mesmo morte das plântulas.

BEZERRA NETO et al. (2005), observaram que as mudas produzidas sob tela de sombreamento obtiveram menor crescimento que as produzidas a céu aberto na região de Mossoró - RN. Todavia, ainda na região de Mossoró – RN, RAMOS (1995) observou, trabalhando com plantas de alface, aumento nas variáveis altura de planta e produção massa seca com a utilização de telas de sombreamento, o que pode ser atribuído à redução da incidência direta de raios solares e assim, proporcionar redução na temperatura foliar. QUEIROGA (2001) também encontrou aumento em produtividade de mudas de alface quando sob uso de telas de sombreamento em região do semiárido nordestino.

Assim, a luz da literatura os resultados encontrados no presente estudo indicam que efeitos de temperatura e luminosidade elevadas podem ser minimizados quando se utiliza tela de sombreamento em períodos onde estas tendem a ser prejudiciais ao desenvolvimento das mudas, proporcionando, inclusive, a produção de mudas mais vigorosas na época em que a produção deveria ser reduzida.

No atual estudo não foi realizada comparação entre a produção com e sem uso de tela de sombreamento em uma mesma época de produção, e seu uso foi adotado exclusivamente na segunda época experimental, após a germinação as plântulas, visando proporcionar condições adequadas de temperatura e incidência de radiação solar. Entretanto, efeito

combinado do uso da tela e escolha de cultivar adaptada ao clima podem ter sido responsáveis pelos melhores resultados observados na segunda época experimental.

Ainda analisando a segunda época experimental, a variável MFPA apresentou valores superiores na tensão de 3,5 kPa e posteriormente, nas tensões de 5 e 6,5 kPa, sendo verificado redução com o aumento da tensão. A redução da MFPA na segunda época experimental, na tensão de 8kPa com relação a primeira época avaliada, provavelmente ocorreu devido ao menor volume de água aplicado no tratamento conciliado às maiores temperaturas observadas.

Na primeira época experimental todos os tratamentos resultaram em MFPA estatisticamente semelhantes, o que pode ter ocorrido devido à temperatura mais estável e, portanto, mesmo as plântulas que receberam menores lâminas de água acabaram aparentemente não sofrendo estresse.

A massa seca da parte aérea das plantas (MSPA) apresentou comportamento bastante semelhante à MFPA. Apresentou também redução conforme se aumentou a tensão na segunda época, corroborando com os resultados obtidos por Valença (2016), embora a MSPA encontrada pelo autor tenha sido superior à encontrada no atual estudo, onde na tensão de 4 kPa o autor encontrou valor de 0,06g de MSPA. A acentuada redução na quantidade de MSPA observada pelo autor conforme se aumentou a tensão também não foi observada quando comparadas as tensões avaliadas.

ANDRIOLO et al. (2003), por sua vez, encontraram valores inferiores aos observados de MSPA na tensão de 3,5 kPa e valor igual ao encontrado na tensão de 5 kPa na segunda época experimental na produção de mudas de alface em experimento onde as plantas foram avaliadas aos 39 dias.

Comparando as épocas experimentais a MSPA obtida com as tensões de 3,5 e 5 kPa da segunda época foram significativamente superiores à da primeira época para a mesma tensão, as demais comparações de épocas dentro de cada tensão foram não significativas.

Com relação a variável altura da parte aérea, a segunda época também foi a única que apresentou diferenças significativas entre as tensões avaliadas. Dentre as épocas testadas foi possível notar diferenças significativas nesta variável nas tensões de 5 e 8 kPa, apresentando maior altura, na segunda época, para a tensão de 5kPa e observa-se redução na altura quando considera-se a tensão de 8kPa. Esse efeito pode ser justificado pelas condições climáticas da época dois aliadas ao menor volume de água aplicado no tratamento, que acabaram gerando menor crescimento das plantas. Os resultados obtidos apresentaram o mesmo comportamento dos anteriores quando comparados aos de VALENÇA (2016).

Considerando-se a variável número de folhas foram observados também melhores resultados na segunda época de plantio. Os resultados obtidos apresentam valores superiores aos encontrados por ANDRIOLO et al. (2003) para as tensões de 3,5; 5 e 6 kPa. Verifica-se ainda, valor bastante semelhante quando se considerando a tensão de 8 kPa. Os resultados apresentam o mesmo comportamento das variáveis anteriores quando comparados aos resultados encontrados por VALENÇA (2016).

Segundo ANDRIOLO et al. (2003) e FABICHAK (1999) para fins de produção comercial de mudas de alface a realização do transplante pode ocorrer com aproximadamente 5 folhas por muda, o que torna as mudas produzidas em todos os tratamentos e épocas avaliados dentro do padrão mínimo quando se considera o número de folhas.

A sobrevivência de todas as mudas e a menor redução nas variáveis biométricas, conforme se aumentou a tensão avaliada, observada no atual estudo quando se comparando com os dados de VALENÇA (2016) provavelmente ocorreu devido à utilização do sensor posicionado na atmosfera que, de alguma forma, aumentou a frequência de acionamento do ASI mesmo nas maiores tensões quando comparados à frequência de irrigação no trabalho do autor. Por responder diretamente ao déficit de pressão de vapor da atmosfera, em dias de demandas muito altas de vapor, observa-se que mesmo os tratamentos com maiores tensões recebiam água. O intervalo entre as aplicações de água foi menor, sendo praticamente diário em todos os tratamentos, diferindo somente os volumes de água aplicados. O aumento das lâminas possivelmente ocorreu devido a mais de um acionamento ao longo do dia nos tratamentos de menor tensão.

Entre as épocas experimentais, quando analisando a variável número de folhas, notam-se maiores diferenças quando se considerando as tensões de 3,5 e 8 kPa. Na tensão de 3,5 kPa observa-se um melhor desempenho na segunda época, corroborando com os valores apresentados até o presente momento. Já na maior tensão testada percebe-se que houve redução no NF na segunda época, o que deve ter ocorrido devido a algum tipo de estresse ocasionado pelo aumento da temperatura aliado ao menor volume de água aplicado no tratamento.

De maneira geral, a segunda época testada apresentou resultados superiores à primeira, embora, de acordo com a literatura, a primeira época proporcionou condições climáticas mais favoráveis. Por outro lado, observa-se que ocorreu maior diferenciação entre as variáveis de acordo com o aumento das tensões avaliadas também na segunda época.

4.4 Variáveis Fisiológicas

4.4.1 Condutância Estomática (gs)

A água desempenha um papel fundamental no crescimento e desenvolvimento vegetal, mas existe um conflito entre as relações hídricas e as trocas gasosas nas plantas. A absorção de dióxido de carbono (CO_2), necessário para o processo fotossintético, expõe às plantas à perda de água, visto que, tanto a assimilação de CO_2 quanto a transpiração, que ocasiona maiores perdas de água, são processos que ocorrem através dos estômatos. As plantas possuem diversos mecanismos para evitar a seca, entre eles, o fechamento dos estômatos em situações onde a taxa de transpiração excede a taxa de absorção e transporte de água na planta. Sendo assim, a disponibilidade hídrica do solo tem papel fundamental na obtenção de máxima produtividade, déficits atuam reduzindo a condutância estomática o que reduz, consequentemente, a taxa de fotossíntese (SILVA et al., 2010; TAIZ & ZEIGER, 1991; BERGOWITZ, 1998).

Dessa forma, a análise de condutância estomática foi realizada com o objetivo de avaliar o status hídrico da planta. Os resultados observados mostram que a gs exibiu redução no segundo experimento, reduzindo à medida que os níveis de irrigação diminuam. Tal fato pode ser percebido em ambos os experimentos (Tabela 5). Porém no primeiro experimento é notável que embora tenha ocorrido redução na gs entre os tratamentos 3,5kPa, 5 kPa e 6,5kPa, esta diferença foi bastante reduzida e somente significativa quando comparada à tensão de 8kPa.

Os resultados apresentados mostram que a maior disponibilidade hídrica proporcionou maior abertura estomática dando melhores condições para realização dos processos fisiológicos. Esse resultado se reflete, inclusive, nos resultados observados nas variáveis

biométricas analisadas, mostrando a influência negativa do fechamento estomático devido a menor disponibilidade hídrica no crescimento das mudas. O resultado se encontra de acordo com diversos trabalhos na literatura (KIM et al., 2004; SILVA et al., 2015; VALENÇA, 2016).

Tabela 5 - Condutância estomática para as diferentes tensões e durante as duas épocas de cultivo de mudas de alface.

| Tensão | Época | |
|--------|---|----------------------|
| | 1 | 2 |
| (kPa) | Condutância Estomática (mmol m ⁻² s ⁻¹) | |
| 3,5 | 261,49 ^{aB} | 444,46 ^{aA} |
| 5,0 | 228,56 ^{aB} | 296,28 ^{bA} |
| 6,5 | 221,11 ^a | 178,59 ^c |
| 8,0 | 120,20 ^b | 109,96 ^d |

Médias seguidas de letras diferentes minúsculas na coluna e maiúsculas na linha diferem significativamente, respectivamente, pelo teste Scott-Knott e F, ao nível de significância de 5 %.

Com relação às épocas testadas foram verificadas diferenças significativas entre as mudas dos mesmos tratamentos nas tensões de 3,5 e 5 kPa. A maior condutância observada na segunda época de plantio está possivelmente correlacionada ao maior crescimento observado das plantas neste período. A transpiração da planta é diretamente proporcional à abertura estomática e, conseqüentemente, quanto maior esta for maior será o crescimento e acumulação de massa, pois maior será a entrada de CO₂ na planta para fotossíntese.

4.4.2 Cinética de Emissão da Fluorescência da Clorofila *a*

Diversos fatores podem ocasionar mudanças ambientais no aparato fotossintético e através de medidas de fluorescência tem sido possível caracterizar e detectar o estresse antes que os sintomas sejam perceptíveis nas folhas. Por meio da mensuração da fluorescência da clorofila *a* é possível analisar a eficiência fotoquímica, especialmente o fotossistema II, que é conhecido por ser sensível a diferentes estresses. Assim, a alteração na emissão da fluorescência da clorofila *a* fornece informações sobre aspectos da atividade fotossintética (CHRISTEN et al., 2007; MARTINAZZO et al., 2012; PANDA, 2008; SANTOS et al., 2010).

O tratamento 3,5 kPa devido a fornecer maior volume de água foi adotado como controle em ambos os períodos experimentais. Os parâmetros obtidos através do teste JIP estão expostos nas Figuras 16a e 16b, não se constatou significância para efeito isolado ou para interação para os tratamentos testados nos parâmetros analisados. Percebe-se uma ligeira redução nos índices de desempenho PI_{ABS} e PI_{TOTAL}, quando comparando os demais tratamentos com o tratamento 3,5 kPa (controle). Segundo MARTINAZZO (2013) estes parâmetros descrevem o funcionamento dos fotossistemas em conjunto, através do comportamento de parâmetros estruturais do PSII até os aceptores finais do PSI e sua redução quando acentuada, sugere efeito significativo de estresse na atividade fotossintética.

No segundo período experimental (Figura 16b) os resultados sugerem que, como nesta época ocorreu maior diferenciação entre os volumes de água aplicados e temperatura mais elevada, ocasionou maior estresse nas mudas em que maiores tensões de acionamento foram testados.

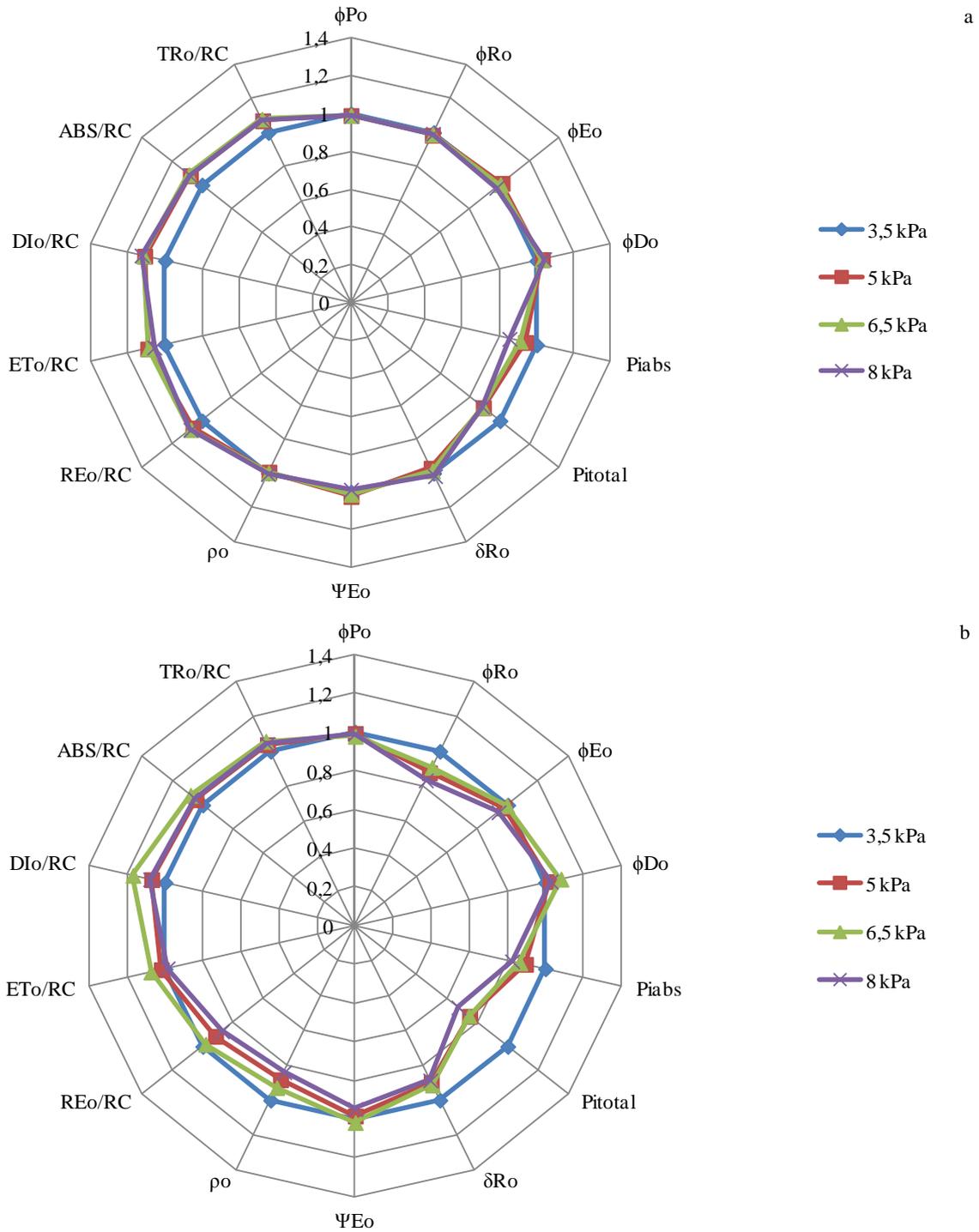


Figura 16 - Efeito dos tratamentos, sob os parâmetros da fluorescência da clorofila *a* das plantas de mudas de alface, obtidos através do teste JIP, (centro radarplot = 0,0, máximo =

2,5) em relação ao padrão de variação - controle (linha cheia = 1,0). Primeiro período experimental (a) e segundo período experimental (b).

Os parâmetros relacionados com o fluxo por centro de reação DI_0/RC e ET_0/RC também foram ligeiramente afetados, apresentando resultados mais expressivos no segundo período experimental. Isso pode ser atribuído às maiores temperaturas que ocorreram nesta época. DI_0/RC apresentou alteração um pouco mais expressiva e refere-se à energia não capturada pelo centro de reação e dissipada na forma de calor, reemitida como fluorescência ou transferida para outros sistemas.

TR_0/RC , que sinaliza aumento da energia dissipada por centro de reação, e ABS/RC , que corresponde à medida do tamanho aparente do sistema antena ou fluxo de absorção por centro de reação, tiveram ligeiro aumento principalmente no primeiro período experimental, o que pode indicar possível estresse inicial nas mudas submetidas a maiores tensões nessa época. Tal estresse pode ser certificado quando se observa o menor crescimento nas mudas submetidas a esses tratamentos.

Além disso, no segundo período experimental nota-se uma pequena redução nos parâmetros de rendimentos ou razões de fluxos ϕR_0 , ρ_0 e δR_0 tiveram o mesmo comportamento, com a redução de seus valores com o aumento da concentração de tensão. Porém, de maneira geral, os resultados não sugerem dano no aparato fotossintético, embora seja possível observar melhor desempenho fotossintético conforme se aumentaram os volumes de irrigação testados.

4.5 Eficiência no uso da água (EUA)

A eficiência no uso da água (EUA) na segunda época experimental também apresentou decréscimo com o aumento da tensão da água (Tabela 6). Para a tensão de 3,5 kPa, na qual pode ser observado resultado superior, apresentou valor médio de $1,37 \text{ g L}^{-1}$, produzindo mudas com aproximadamente 32,4 mL.

Tabela 6 - Variação da eficiência no uso da água para as diferentes tensões e durante as duas épocas de cultivo de mudas de alface.

| Tensão (kPa) | Época | |
|-----------------|------------------------------|--------------------|
| | 1 | 2 |
| | EUA (g L^{-1}) | |
| 3,5 | 0,77 ^B | 1,37 ^{aA} |
| 5,0 | 0,75 ^B | 1,12 ^{bA} |
| 6,5 | 0,74 | 0,90 ^c |
| 8,0 | 0,71 | 0,88 ^c |

Médias seguidas de letras diferentes minúsculas na coluna e maiúsculas na linha diferem significativamente, respectivamente, pelo teste Scott-Knott e F, ao nível de significância de 5 %.

VALENÇA (2016) encontrou EUA de aproximadamente $1,86 \text{ g L}^{-1}$ em experimento com mudas de alface com a utilização de um volume de 38,3 mL na tensão de 4 kPa. A maior

eficiência observada na tensão estudada pelo autor, quando comparado com a tensão de 3,5 kPa, pode ser atribuída a condições climáticas, menor volume de água utilizado ou uso do sensor de forma diferenciada (no substrato). Porém se comparando as demais tensões testadas com os resultados de VALENÇA percebe-se que mesmo nas maiores tensões testadas a EUA não obtiveram reduções tão acentuadas quanto as observadas no trabalho do autor, onde a EUA reduziu bastante conforme aumentava a tensão.

É notável o incremento da EUA entre épocas na tensões de 3,5 kPa e 5 kPa. Como a EUA está diretamente relacionada à produção de matéria seca e conforme exposto anteriormente, a segunda época experimental apresentou maior acumulação de matéria seca, principalmente nas tensões de 3,5 e 5 kPa, os resultados eram esperados.

5 CONCLUSÕES

A utilização do acionador com o sensor localizado na atmosfera mostrou-se viável na produção de mudas de alface e pode-se observar certa simultaneidade entre o acionamento do mesmo com o déficit de pressão de vapor da atmosfera. Sugerindo seu acionamento quase diário em todas as tensões testadas em dias com temperaturas elevadas e redução considerável no volume de água aplicado em dias onde o clima esteve mais ameno. Os resultados mostram o comportamento do sensor atmosférico diante de condições climáticas distintas nas duas épocas experimentais.

A tensão de acionamento que produziu mudas com características biométricas e fisiológicas mais elevadas e próxima do ideal foi a de 3,5 kPa, resultando em maior eficiência no uso da água em ambos os experimentos, apresentando aumento significativo somente na segunda época.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALENCAR, CAB; CUNHA, F.F.; RAMOS, M. M.; SOARES, A.A.; PIZZIOLLO, T. A.; OLIVEIRA, R. A. Análise da automação em um sistema de irrigação convencional fixo por miniaspersão. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.15, n.2, p. 109-118, Abr./Jun., 2007.

ANDRADE JÚNIOR, A. S.; RODRIGUES, B. H. N.; ATHAYDE SOBRINHO, C.; MELO, F. B.; BASTOS, E. A.; CARDOSO, M. J.; RIBEIRO, V. Q. Produtividade e qualidade de frutos de melancia em função de diferentes níveis de irrigação. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.15, n.1, p.43-46, 1997.

ANDRIOLO, J. L.; ESPINDOLA, M. C. G.; STEFANELLO, M. O. Growth and development of lettuce plants from transplants with different physiological ages. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n.1, p.35-40, 2003.

ANGELOCCI, L. R. **Água na planta e trocas gasosas/energéticas com a atmosfera. Introdução ao tratamento biofísico**. Editado pelo autor, Pirtacicaba, 2002.

BATISTA, S. C. O.; CARVALHO, D. F.; ROCHA, H. S.; SANTOS, H. T.; MEDICI, L. O. Production of automatically watered lettuce with a low cost controller. **Journal of Food, Agriculture & Environment** Vol.11 (2)p: 485-489, 2013

BERKOWITZ, G.A. **Water and salt stress. In: RAGHAVENDRA, A.S. (Ed.). Photosynthesis: comprehensive treatise**. Cambridge: Cambridge University, 1998. p.226-237.

BEZERRA NETO, F.; ROCHA, R. H. C.; ROCHA, R. C. C.; NEGREIROS, M. Z.; LEITÃO, M. M. V. B. R.; NUNES, G. H. S.; ESPÍNOLA SOBRINHO, J.; QUEIROGA, R. C. L. F. Sombreamento para produção de mudas de alface em alta temperatura e ampla luminosidade. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.23, n.1, p.133-137, 2005.

CALBO, A.G.; SILVA, W.L.C. Irrigas: novo sistema para o controle da irrigação. **In: CONGRESSO NACIONAL DE IRRIGAÇÃO E DRENAGEM**, 11, 2001, Fortaleza. Anais. Fortaleza: ABID, p.177-182, 2001.

CALLEGARI, O.; SANTOS, H. S.; SCAPIM, C. A.; Variações do ambiente e de prática culturais na cultura da alface na formação de mudas e na produtividade da alface (*Lactuca sativa* L. cv. Elisa). **Maringá**, v. 23, n. 5, p. 1117-1122, 2001.

CARVALHO, D.F.; SILVA, L.D.B.; FOLEGATTI, M.V.; COSTA, J.R.; CRUZ, F.A. Avaliação da evapotranspiração de referência na região de Seropédica-RJ utilizando lisímetro de pesagem. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.14, n.2, p. 1-9, 2006

CHARTZOULAKIS, K.;BERTAKI, M. Sustainable Water Management in Agriculture under Climate Change. **Agriculture and Agricultural Science Procedia**, 4, 88–98, 2015.

- CHRISTIANSEN, J.E. **Irrigation by sprinkling**. Berkeley: California Agricultural Station. 1942. 124p. Bulletin, 670
- DIAS, G. C. de O.; MEDICI, L. O.; VASCONCELLOS, M. A. S.; Carvalho, D. F.; Pimentel, C. Papaya seedlings growth using a low-cost, automatic watering controller. **Revista Brasileira Fruticultura**, Jaboticabal, v. 35, n. 2, p. 527-535, 2013.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 1994. 306p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33).
- FABICHAK, I. **Horticultura ao alcance de todos**. São Paulo: Nobel. 1983.
- FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura**: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. 2ª ed., UFV, 2003.
- FILGUEIRA, F. A. R. **Manual de olericultura**: cultura e comercialização de hortaliças. 2ª edição revista e ampliada. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1982.
- FIGUERÊDO, S.F. **Estabelecimento do momento de irrigação com base na tensão de água no solo para a cultura do feijoeiro**. 1998. 94 f. Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.
- FISCHER, G., SHAH, M. e VAN VELTHUIZEN, H. **Climate change and agricultural vulnerability**. Johannesburg: International Institute for Applied Systems Analysis to World Summit on Sustainable Development, Special Report, 2002.
- FRENSCH, J. Primary responses of root and leaf elongation to water deficits in the atmosphere and soil solution. **Journal of Experimental Botany**, 48: 985-999, 1997.
- GOMES, D. P.; CARVALHO, D. F.; ALMEIDA, W. S.; MEDICI, L. O.; GUERRA, J.G.M. Organic carrot-lettuce intercropping using mulch and different irrigation levels. **Journal of Food, Agriculture & Environment**, v. 12, n. 1, p. 323-328, 2014.
- GONÇALVES, F. V.; MEDICI, L. O.; ALMEIDA, W. S.; CARVALHO, D. F.; SANTOS, H. T.; GOMES, D. P. Irrigação no cultivo orgânico de alface utilizando Irrigás, tanque Classe A e um sistema automático de baixo custo. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.44, n.11, p.1950-1955, 2014.
- HENZ, G. P.; SUINAGA, F. **Tipos de Alface cultivadas no Brasil**. 7p. EMBRAPA. Brasília. Novembro. 2009 (Comunicado Técnico 75).
- HSIAO, T. C. & XU, L. K. Sensitivity of growth of roots versus leaves to water stress: biophysical analysis and relation to water transport. **Journal of Experimental Botany**, 51: 1595- 1616, 2000.
- JONES, H.G. **Plants and microclimate: quantitative approach to environmental plant physiology**. 2 ed. Cambridge: Cambridge University Press, 1992 85 p.
- KIM, H.; GOINS, G. D.; WHEELER, R. M.; SAGER, J. C. Stomatal Conductance of Lettuce Grown Under or Exposed to Different Light Qualities. **Annals of Botany** 94: 691–697, 2004

KRAMER, P. J. & BOYER, J. S. **Water relations of plants and soils**. Academic Press, New York, 1995.

KRÜGER, E.; SCHMIDT, G.; BRÜCKNER, U. Scheduling strawberry irrigation based upon tensiometer measurement and a climatic water balance model. **Scientia Horticulturae**, 81(4), 409–42, 1999.

LEE, D.R. An unidirectional water flux model on fruit growth. **Canadian Journal of Botany**, 68, 1286–1290, 1990.

LIU, H., DUAN, A., LI, F., SUN, J., WANG, Y., & SUN, C. Drip Irrigation Scheduling for Tomato Grown in Solar Greenhouse Based on Pan Evaporation in North China Plain. **Journal of Integrative Agriculture**, 12(3), 520–531, 2013.

LIMA JÚNIOR, J.A.; PEREIRA, G.M.; GEISENHOF, L.O.; COSTA, G.G.; VILAS BOAS, R.C.; YURI, J.E. 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.

MARINHO, L. B.. **Irrigação plena e com déficit em pimenta cv. Tabasco em ambiente protegido**. 102p. Tese, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Piracicaba, 2011.

MANTOVANI, E. C. **AVALIA**: Programa de Avaliação da Irrigação por Aspersão e Localizada. Viçosa, MG: UFV, 2001.

MARQUELLI, W. A.; CALBO, A. G.; CARRIJO, O. A. Viabilidade do uso de sensores do tipo Irrigas® para o manejo da irrigação de hortaliças cultivadas em substratos. **Horticultura Brasileira**, v.21, n.2, p. 286, 2003.

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

MARQUES, P. A. A.; BALDOTTO, P. V.; SANTOS, A. C. P.; OLIVEIRA, L.; Qualidade de mudas de alface formadas em bandejas de isopor com diferentes números de células. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 4, p. 649-651, outubro-dezembro 2003.

MARTINAZO, E. G.; PERBONI, A. T.; OLIVEIRA, P. V.; BIACHIN, V. J.; BACARIN, M. A.; Atividade fotossintética em plantas de ameixeira submetidas ao déficit hídrico e ao alagamento. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.43, n.1, p.35-41, jan, 2013.

MEDEIROS, D. C.; LIMA, B. A. B.; BARBOSA, M. R.; ANJOS, R. S. B.; BORGES, R. D.; CAVALCANTE NETO, J. G.; MARQUES, L. F. Produção de mudas de alface com biofertilizantes e substratos. **Horticultura Brasileira**, Brasília v.25, p 433-436, 2007.

MEDICI, L. O.; ROCHA, H. S. da; CARVALHO, D. F.; PIMENTEL, C.; AZEVEDO, R. A. Automatic controller to water plants. **Scientia Agricola**, Piracicaba v.67, n.6, p.727-730, 2010.

MENEZES JÚNIOR, F. O. G.; FERNANDES, H. S.; MAUCH, C. R.; SILVA, J. B. Caracterização de diferentes substratos e seu desempenho na produção de mudas de alface em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 18, n. 3, p. 164-170, 2000.

MINAMI, K. **Produção de Mudanças de Alta Qualidade em Horticultura**. São Paulo. T. A. Editor. 1995. 135p.

MOURA, M.V.T. **Determinação do consumo de água na cultura da cenoura (*Daucus carota*, L.) através dos métodos lisimétricos e balanço hídrico sob condições de campo**. 84 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 1992.

PANDA, D.; SHARMA, S. G., SARKAR, R.K. Chlorophyll fluorescence parameters, CO₂ photosynthetic rate and regeneration capacity as a result of complete submergence and subsequent re-emergence in rice (*Oryza sativa* L.). **Aquatic Botany**, v. 88, p. 127–133. 2008.

PIMENTEL, C. 1998. **A relação da planta com a água**. Seropédica, RJ: Edur, 191p.: il. 2004.

QUEIROGA, R.C.F. et al. Produção de alface em função de cultivares e tipos de tela de sombreamento nas condições de Mossoró. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.19, n.3,p.192-196, 2001.

QUEIROZ, T. M.; BOTREL, T.; FRIZZONE, J. A.; Desenvolvimento de Software e Hardware para Irrigação de Precisão usando Pivô Central. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.28, n.1, p.44-54, Jan./mar. 2008.

RAMOS, J.E.L. **Sombreamento e tipos de recipientes na formação de mudas e produção em alface**. 53 pag. Dissertação, ESAM, Mossoró, 1995.

RYAN, A. C.; DODD, I. C.; ROTHWELL, S. A.; JONES, R; TARDIEU, F.; DRAYE, X.; DAVIES, W. J. Gravimetric phenotyping of whole plant transpiration responses to atmospheric vapour pressure deficit identifies genotypic variation in water use efficiency. **Plant Science**, v.25, p.101–109. 2016.

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

SANTOS, C. M.; GONÇALVES, E. R.; ENDRES, L.; GOMES, T. C. A.; JADOSKI, C. J.; NASCIMENTO, L. A.; SANTOS, E. D. Atividade fotossintética em alface (*Lactuca sativa* L.) submetidas a diferentes compostagens de resíduos agroindustriais. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, v.3, p.95-102, 2010.

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

SEGOVIA, J.F.O.; LOPES FILHO, R.P. **Irrigação de Hortaliças no Estado do Amapá**. Macapá: Embrapa Amapá, 2004. 13 p. (Embrapa Amapá. Circular técnica 33).

SILVA JÚNIOR, A. A.; MACEDO, S. G.; STUKER, H. **Utilização de esterco de peru na produção de mudas de tomateiro**. 28 p. Florianópolis: EPAGRI, (Boletim Técnico 73), 1995.

SILVA, F. G.; DUTRA, W. F.; DUTRA, A. F.; OLIVEIRA, I. M.; FILGUEIRAS, L. M. B.; MELO, A. S. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila em plantas de berinjela sob lâminas de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.19, n.10, p.946–952, 2015.

SILVA, A. C. R.; FERNANDES, H. S.; MARTINS, S. R.; SILVA, J. B.; SCHIEDECK, G.; ARMAS, E. Produção de mudas de alface com vermicompostos em diferentes tipos de bandeja. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 18, p. 512-513, 2000.

SILVA, E. A.; MENDONÇA, V.; TOSTA, M. S.; OLIVEIRA, A. C.; REIS, L. L.; BARDIVIESSO, D. M.; Germination of seeds and production of seedlings of lettuce cultivars at different substrates. **Ciências Agrárias**, Londrina, v. 29, n. 2, p. 245-254, abr./jun. 2008.

SILVA, C. D. S.; SANTOS, P. A. A.; LIRA, J. M. S.; SANTANA, M. C.; SILVA JUNIOR, C. D. Curso diário das trocas gasosas em plantas de feijão-caupi submetidas à deficiência hídrica. **Revista Caatinga**, v.23, p.7-13, 2010.

STRASSER, B.J. AND STRASSER, R.J. Measuring fast fluorescence transients to address environmental questions: The JIP test. In Mathis, P. (ed.) *Photosynthesis: From Light to Biosphere*. **Kluwer Academic** Vol 5: 977–980., The Netherlands, 1995

STRASSER, R.J., TSIMILLI-MICHAEL M., SRIVASTAVA A. Analysis of the fluorescence transient. In: George C., Papageorgiou C., Govindjee (eds.): *Chlorophyll Fluorescence: A Signature of Photosynthesis*. **Advances in Photosynthesis and Respiration Series**. Springer, Dordrecht: 321–362, 2004.

SETUBAL, W.J.; SILVA, A.R. **Avaliação do comportamento de alface de verão em condições de calor no município de Teresina–PI**. Teresina:UFPI, 1992. 17 p.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal**. 3.ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 722p.
TEODORO, R. E. F.; OLIVEIRA, A. S. de; MINAMI, K. Efeitos da irrigação por gotejamento na produção de pimentão (*Capsicum annuum* L.) em casa de vegetação. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v.50, n.2, p.237-243, 1993.

TRANI PE; FELTRIN DM; POTT CA; SCHWINGEL M. 2007. Avaliação de substratos para produção de mudas de alface. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 2, 2007.

VALENÇA, David da Cunha. **Irrigação automatizada com déficit controlado em alface em ambiente protegido: produção em vasos e em bandejas**. 99p. Dissertação, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica: UFRRJ, 2016.

VELLAME, L. M.; COELHO FILHO, M. A.; PAZ, V. P. S. Transpiração em mangueira pelo método Granier. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.5, p.516-523, 2009

VILAS BOAS, R. C.; CARVALHO, J. A.; GOMES, L. A. A.; SOUZA, K. J.; RODRIGUES, R. C.; SOUSA, A. M. G. 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

WANG, H; SÁNCHEZ-MOLINA, J.A.; LI, M.; BERENGUEL, M.; YANG, X.T.; BIENVENIDO, J.F. Leaf area index estimation for a greenhouse transpiration model using external climate conditions based on genetics algorithms, back-propagation neural networks and nonlinear autoregressive exogenous models. **Agricultural Water Management**, 2016.

WINTER, E. J. **A água, o solo e a planta**. Traduzido por Reichardt, K. & Libardi, P. L. EDUSP, São Paulo, 1976.

WHITLEY, R., MEDLYN, B., ZEPPEL, M., MACINNIS-NG, C., EAMUS, D. Comparing the Penman-Monteith equation and a modified Jarvis-Stewart model with an artificial neural network to estimate stand-scale transpiration and canopy conductance. **Journal of Hydrology**. 373 (1), 256–266, 2009.

YUAN, B. ., SUN, J., & NISHIYAMA, S. Effect of Drip Irrigation on Strawberry Growth and Yield inside a Plastic Greenhouse. *Biosystems Engineering*, 87(2), 237–245, 2004.

YUAN, B.-Z., SUN, J., KANG, Y., & NISHIYAMA, S. Response of cucumber to drip irrigation water under a rainshelter. **Agricultural Water Management**, 81(1-2), 145–158, 2006.

YUSUF, M.A.; KUMAR, D.; RAJWANSHI, R.; STRASSER, R.J.; TSIMILLI-MICHAEL, M.; GOVINDJEE; SARIN, N.B. Overexpression of γ -tocopherol methyl transferase gene in transgenic *Brassica juncea* plants alleviates abiotic stress: Physiological and chlorophyll a fluorescence measurements. **Biochimica et Biophysica Acta**, v. 1797, p. 1428-1438, 2010.

ZOCOLER, J. L. **Avaliação de desempenho de sistemas de irrigação**. Ilha Solteira – SP: UNESP.