

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

DISSERTAÇÃO

Irrigação automatizada com déficit controlado em alface em ambiente protegido: produção em vasos e em bandejas

David da Cunha Valença

2016



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

IRRIGAÇÃO AUTOMATIZADA COM DÉFICIT CONTROLADO EM
ALFACE EM AMBIENTE PROTEGIDO: PRODUÇÃO EM VASOS E
EM BANDEJAS

DAVID DA CUNHA VALENÇA

Sob a Orientação do Professor

Leonardo Oliveira Medici

e Co-orientação do Professor

Daniel Fonseca de Carvalho

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Ciências**, no curso de pós-graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental.

Seropédica, RJ

Fevereiro de 2016

627.52

V152i

T

Valença, David da Cunha, 1988-

Irrigação automatizada com déficit controlado em alface em ambiente protegido: produção em vasos e em bandejas / David da Cunha Valença - 2016.

99 f.: il.

Orientador: Leonardo Oliveira Medici.

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

Bibliografia: f. 71-83.

1. Irrigação agrícola - Automação - Teses. 2. Alface - Cultivo - Teses. 3. Alface - Irrigação - Teses. 4. Engenharia de irrigação - Teses. 5. Solos irrigados - Teses. 6. Água - Uso - Teses. I. Medici, Leonardo Oliveira, 1967-. II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental. III. Título.

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

DAVID DA CUNHA VALENÇA

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

DISSERTAÇÃO APROVADA EM: 24/ 02 /2016.

Dr. Leonardo Oliveira Medici. UFRRJ
(Orientador)

Dr. Conan Ayade Salvador. UFRRJ

Dr^a. Fernanda Reinert Thomé Macrae. UFRJ

DEDICATÓRIA

O que foi feito amigo
De tudo que a gente sonhou
O que foi feito da vida
O que foi feito do amor

Quisera encontrar
Aquele verso menino
Que escrevi há tantos anos atrás
Falo assim sem saudade
Falo assim por saber
Se muito vale o já feito
Mais vale o que será
E o que foi feito
É preciso conhecer
Para melhor prosseguir

Falo assim sem tristeza
Falo por acreditar
Que é cobrando o que fomos
Que nós iremos crescer
Outros outubros virão
Outras manhãs plenas de sol e de luz

Milton Nascimento

Aos meus pais Francisco Carlos Valença e Elizabeth da Cunha Souza Valença.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela vida e bênçãos concedidas.

Aos meus pais Francisco Carlos Valença e Elizabeth da Cunha Souza Valença, irmã Débora da Cunha Valença Oliveira e cunhado Marcus Oliveira, pelo amor a mim dedicado, pelo exemplo de família e orações.

Ao meu orientador Professor Leonardo Oliveira Medici, pela amizade, paciência, ensinamentos e principalmente por sempre acreditar em mim e me oferecer apoio em todos os momentos.

Ao meu co-orientador Professor Daniel Fonseca de Carvalho por acreditar em mim ao me indicar ao meu orientador, pela amizade e apoio nas disciplinas e experimentos.

Aos professores Conan Ayade Salvador, Fernanda Reinert Thomé Macrae e Leonardo Batista Duarte da Silva, pelos ensinamentos, apoio acadêmico e confiança.

Aos amigos de quarto David Windson e Daniel Ferreira pela amizade, momentos de descontração e companheirismo.

Ao meu grande amigo, irmão de coração Ahmed Roland Zubiato Augustin, pela motivação, companheirismo e amizade.

À minha grande amiga Daniela Gomes, pelo carinho, companheirismo nos experimentos e ajudas em vários momentos.

À Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro pela oportunidade de acesso à educação de nível superior de qualidade, dada não só a mim, mas a muito brasileiros e estrangeiros.

À FAPERJ pela concessão da bolsa.

Aos amigos João Gabriel, Camilla Bottino, Bethânia Castro, Juliane Moura, João Paulo Silva, Bárbara Dias, pela amizade, momentos de diversão e carinho.

Ao grupo de pesquisa Água e solo em sistemas agrícolas (GPASSA), aos colegas de trabalho e amigos: André, Wilk, Fernando, Victor, Fernanda, Ana, Roberto, Ramilton, Marcelo, Gabriel e Jander.

À Fazendinha Agropecuária do km 47, onde foi realizado o primeiro trabalho desta dissertação, em especial aos funcionários Dione, Ivana, Helinho e Isaías.

Ao setor de horticultura da UFRRJ, onde foi realizado o segundo trabalho desta dissertação, em especial aos funcionários Martim, Jacaré, José e Manoel.

À todos que de alguma forma me ajudaram até aqui.

RESUMO GERAL

VALENÇA, David da Cunha. **Irrigação automatizada com déficit controlado em alface em ambiente protegido: produção em vasos e em bandejas** 2016. 83p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola e Ambiental). Instituto de Tecnologia, Departamento de Engenharia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2016.

A preocupação com o uso intensivo dos recursos naturais tem se tornado cada vez maior, justificando o desenvolvimento de novas tecnologias que buscam sua aplicação racional, como dispositivos automáticos de irrigação. A automação da irrigação pode permitir a economia da água aumentando a eficiência de seu uso na produção agrícola. O primeiro capítulo desse estudo teve como objetivo avaliar cinco diferentes volumes de irrigação (130, 100, 80, 60 e 33% do volume do Acionador Simplificado de Irrigação - ASI) na produção de alface em vasos em um sistema de produção denominado “Vasoponia Orgânica”. Foi utilizado o ASI, cujo funcionamento baseia-se na tensão da solução do solo. Os diferentes volumes foram conseguidos pela associação de gotejadores de vazões distintas em uma mesma tubulação. Foram avaliados pesos fresco e seco, número de folhas e diâmetro das plantas de alface (variáveis de produção); condutância estomática, Teor de clorofila, conteúdo relativo de água nas folhas e fluorescência da clorofila (variáveis fisiológicas); além da eficiência de uso da água (EUA). O volume correspondente a 126% do indicado pelo ASI, instalado para tensão de 6 kPa no solo, foi a que proporcionou os melhores resultados de produção de massa seca, enquanto que a máxima EUA foi obtido para a lâmina correspondente a 83%. Indica-se o volume de 83%, pois proporcionou a melhor economia de água e uma produção satisfatória à comercialização. No segundo capítulo, objetivou-se avaliar a utilização do ASI sob quatro diferentes tensões no substrato para a produção de mudas de alface em bandejas de isopor em ambiente protegido. Foram avaliados peso fresco e da parte aérea, número de folhas, altura da parte aérea, comprimento de folhas e área foliar (variáveis de produção); teor de clorofila (variável fisiológica); além da EUA. Maiores tensões de água no substrato diminuíram o número de eventos de irrigação, prejudicando o crescimento das mudas de forma linear e ocasionando grande percentual de mortes. A tensão de 4 kPa foi a que proporcionou os maiores valores em todas as variáveis de produção. A tensão de 6,5 kPa apesar de apresentar um percentual de morte, pode ser utilizada para a produção de mudas mais resistentes.

Palavras chave: *Lactuca sativa*; Acionador Simplificado de Irrigação; Vasoponia Orgânica; Produção de Mudas; Eficiência no Uso da Água.

GENERAL ABSTRACT

VALENÇA, David da Cunha. **Automated irrigation with deficit controlled in lettuce in greenhouse: production in pots and trays**. 2016. 83p. Dissertation (Master in Agricultural and Environmental Engineering). Institute of Technology, Department of Engineering, University Federal Rural of Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2016.

The concern with the intensive use of natural resources has become increasingly justifying the development of new technologies aiming their rational use such as automated irrigation systems. The automation of irrigation could to allow water saving increasing efficiency of its use in agricultural production. The first chapter of this study was to evaluate five different volumes (130, 100, 80, 60 and 33% of volume of Simplified Irrigation Controller - SIC) in the production of lettuce in pots in a production system called "Organic Potponics". It was used the SIC, whose operation is based on tension in the soil solution. The different volumes were achieved by drippers association of different flow rates in the same pipe. It was evaluated fresh and dry weight, number of leaves and diameter of lettuce plants (production variables); stomatal conductance, chlorophyll content, relative water content in leaves and chlorophyll fluorescence (physiological variables); and the water use efficiency (WUE). The corresponding volume 126% specified by the SIC installed to a tension soil of 6 kPa was that provided the best results production of dry weight, whereas the maximal WUE was obtained for the corresponding slide 80%. It indicates the volume of 83%, because it provided the best economy of water and a satisfactory production to sale. In the second chapter aimed to evaluate the use of the SIC under four different tensions to the substrate for the production of lettuce seedlings in trays under greenhouse conditions. It was evaluated fresh and dry weight of shoots, number of leaves, shoot height, leaf length and leaf area (production variables); chlorophyll content (physiological variable); and WUE. Higher water stress in the substrate decreased irrigation events, harming the growth of linearly seedlings and causing large percentage of deaths. The tension of 4 kPa was the one that provided the highest values in all production variables. The tension of 6.5 kPa despite having a percentage of death, can be used to produce more resistant seedlings.

Key words: *Lactuca Sativa*; Simplified Irrigation Controller; Organic Potponics; Seedling Production; Water Use Efficient.

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Características agronômicas avaliadas: massa fresca; massa seca; diâmetro; número de folhas e eficiência no uso da água de alface sob diferentes porcentagens do volume aplicado pelo asi.	37
Tabela 2: Classificação dos valores do coeficiente de uniformidade de christiansen (CUC)	56
Tabela 3: Coeficiente de uniformidade de christiansen obtidos em cada parcela experimental na avaliação da uniformidade de aplicação.	57
Tabela 4: Índice de velocidade de emergência (IVE) e porcentagem de germinação (% G) para cada bandeja da área experimental.	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema montagem acionador simplificado de irrigação, onde, 1 - vela de filtro (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 imagem: medici et al., (2010)	13
Figura 2: Componentes do acionador simplificado de irrigação.	13
Figura 3: Casa de vegetação localizada na fazendinha agroecológica do km 47 em Seropédica - RJ.	22
Figura 4: Reservatório de água responsável pelo abastecimento por gravidade do sistema de irrigação, instalado em área próxima ao experimento.	23
Figura 5: Acionador simplificado de irrigação instalado no bloco II da área experimental.	25
Figura 6: A) Croqui da área experimental. B) Croqui do bloco (bloco qualquer).	26
Figura 7: Colunas de solo em recipiente com água para saturação e posterior calibração das sondas tdr.	28
Figura 8: Medição do peso das colunas de solo com balança de precisão e monitoramento da constante dielétrica por sondas TDR.	28
Figura 9: Umidade média do solo em função do volume de irrigação aplicado em cada tratamento	32
Figura 10: Umidade volumétrica média para os diferentes volumes aplicados na irrigação ao longo do experimento.	33
Figura 11: Dados de temperaturas registrados dentro da casa de vegetação (A) e pela estação meteorológica instalada próxima a casa de vegetação (B).	34
Figura 12: Dados de ur registrados dentro da casa de vegetação (A) e pela estação meteorológica instalada próxima a casa de vegetação (B).	34
Figura 13: Déficit de pressão de vapor em função das temperaturas e umidade relativa registradas dentro da casa de vegetação.	35
Figura 14: Teor de clorofila aos 15 (A) e 30 (B) dias após o transplantio.	38
Figura 15: Condutância estomática média de plantas de alface aos 28 dias após o transplantio medida às 12 h (A) e aos 38 dias após o transplantio medida às 12 e 15 h (B).	39
Figura 16: Recepção de elétrons pelo centro de reação do FSI (A); número total de elétrons transferidos para a cadeia de transporte de elétrons (B) ambos aos 15 dias após o transplantio pela manhã.	42
Figura 17: Área total normalizada acima da curva OJIP (A), número total de elétrons transferidos para a cadeia de transporte de elétrons (B) e o rendimento quântico de transporte de elétrons de Q_a^- para o acceptor final de elétrons do FSI (C) aos 31 dat pela manhã, e área total normalizada acima da curva OJIP aos 32 DAT à tarde (D)	42
Figura 18: Casa de vegetação localizada no setor de horticultura da UFRRJ.	48
Figura 19: Esquema de instalação reservatório-bomba-fluxostato-experimento.	50
Figura 20: Vela comercial, utilizada convencionalmente como sensor no acionado simplificado de irrigação (A); sensor produzido a partir da vela comercial (B).	51
Figura 21: Acionador simplificado de irrigação com o sensor para bandeja de produção de mudas.	51
Figura 22: Detalhe da instalação do acionador em um tratamento do primeiro bloco.	52
Figura 23: Croqui da área experimental.	53
Figura 24: Detalhe da posição dos coletores 01 e 02 em uma parcela experimental.	53
Figura 25: Coletores instalados sobre bandeja de produção de mudas para realização do teste de uniformidade.	55
Figura 26: Coletores instalados sobre bandeja de produção de mudas para realização do segundo teste de uniformidade.	56
Figura 27: Volumes aplicados durante o período de experimentação em cada tratamento (leitura dos hidrômetros).	59
Figura 28: Temperatura (A) e umidade relativa (B) no interior da casa de vegetação durante o período de experimentação.	60
Figura 29: Déficit de pressão de vapor em função da temperatura e umidade relativa no interior da casa de vegetação.	61
Figura 30: Desenvolvimento das mudas de alface nas bandejas do primeiro bloco (bloco com ASI) aos 11, 20 e 28 dias após a sementeira.	63

Figura 31: Massa fresca (A) e massa seca (B) das mudas de alface aos 28 dias após a semeadura para cada tratamento avaliado.	64
Figura 32: Altura (A) e número de folhas (B) das mudas de alface aos 28 dias após a semeadura para cada tratamento avaliado.	65
Figura 33: Comprimento das folhas (A) e área foliar (B) das mudas de alface aos 15 dias após a semeadura para cada tratamento avaliado.	66
Figura 34: Eficiência no uso da água para a produção de mudas de alface para cada tratamento.	68
Figura 35: Teor de clorofila nas mudas de alface aos 28 dias após a semadura para cada tratamento avaliado.	68

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. A cultura da Alface	3
2.2. Histórico e Produção da Alface	3
2.3. A Produção de Mudas de Alface.	4
2.4. Substratos Agrícolas	5
2.5. Adubo Orgânico	6
2.6. Agricultura Orgânica	7
2.7. Cultivo em Ambiente Protegido	8
2.8. Manejo de Água em Sistemas de Produção	9
2.9. Automação de Sistemas de Irrigação	11
2.10. Eficiência de Uso da Água	14
2.11. Irrigação de Alta Frequência por Gotejamento	15
2.12. Plantas sob Déficit Hídrico.	15
3. CAPÍTULO I	17
AVALIAÇÃO FISIOLÓGICA DE PLANTAS DE ALFACE COM DÉFICIT HÍDRICO CONTROLADO AUTOMATICAMENTE, EM “VASOPONIA ORGÂNICA”.	17
3.1. RESUMO	18
3.2. ABSTRACT	19
3.3. INTRODUÇÃO	20
3.4. MATERIAL E MÉTODOS	21
3.4.1. Caracterização da Área Experimental	21
3.4.2. Cultivo da Alface	22
3.4.3. Solo	22
3.4.4. Sistema de Irrigação	23
3.4.5. Sistema de Automação da Irrigação	24
3.4.6. Delineamento Experimental	25
3.4.7. Determinação do Volume Aplicado em cada Parcela Experimental.	26
3.4.8. Umidade do Solo	27
3.4.9. Coleta de Dados Climáticos	29
3.4.10. Características Agronômicas Avaliadas	29
3.4.11. Características Fisiológicas Avaliadas	29
3.4.12. Eficiência de Uso da Água (EUA)	30
3.4.13. Análises estatísticas	31
3.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	32
3.5.1. Dados de Umidade do solo	32
3.5.2. Dados Climatológicos	33
3.5.3. Características Agronômicas	36
3.5.4. Características Fisiológicas	37
3.6. CONCLUSÕES	43

4. CAPÍTULO II	44
IRRIGAÇÃO COM AUTOMAÇÃO DE BAIXO CUSTO NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE ALFACE	44
4.1. RESUMO	45
4.2. ABSTRACT	46
4.3. INTRODUÇÃO	47
4.4. MATERIAL E MÉTODOS	48
4.4.1. Caracterização da Área Experimental	48
4.4.2. Sementes da Alface	48
4.4.3. Substrato	49
4.4.4. Sistema Hidráulico	49
4.4.5. Sistema de Automação da Irrigação	50
4.4.6. Delineamento Experimental	52
4.4.7. Determinação do Volume Aplicado em cada Parcela Experimental.	53
4.4.8. Manejo da Irrigação Durante a Germinação	54
4.4.9. Índice de Velocidade de Emergência e Porcentagem de Germinação	54
4.4.10. Teste de Uniformidade da Aplicação da Água de Irrigação	54
4.4.11. Coleta de Dados Climáticos	57
4.4.12. Variáveis de produção avaliadas	57
4.4.13. Variáveis fisiológicas avaliadas	58
4.4.14. Eficiência no Uso da Água (EUA)	58
4.4.15. Análises estatísticas	58
4.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	59
4.5.1. Regime de Irrigação em função da tensão de acionamento do ASI	59
4.5.2. Dados Climatológicos.	60
4.5.3. Índice de Velocidade de Emergência e Porcentagem de Germinação.	61
4.5.4. Desenvolvimento das Mudanças de Alface.	62
4.5.5. Variáveis de Produção Avaliadas	64
4.5.6. Eficiência no Uso da Água (EUA)	67
4.5.7. Teor de Clorofila	68
4.6. CONCLUSÕES	69
5. CONCLUSÕES GERAIS	70
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71
ANEXOS	84

1. INTRODUÇÃO GERAL

A gestão do uso da água por meio de uma irrigação racional, econômica e ecologicamente sustentável é fundamental diante do cenário de baixa disponibilidade e alta competição por recursos hídricos pelos diferentes setores da sociedade (PIRES et al., 2008), visto que a agricultura irrigada é a atividade que mais consome água, cerca de 70% da média de água consumida no planeta (BRASIL, 2016). Queiroz et al. (2008) afirmam que neste século o maior desafio para a Engenharia Agrícola, na cadeia da irrigação, será o desenvolvimento de métodos e sistemas mais eficientes na aplicação e no uso da água.

Sistemas automáticos de controle de irrigação podem melhorar a eficiência energética (PFITSCHER et al., 2011), contribuir para a manutenção de elevada produção agrícola e, ainda, para a utilização eficiente dos recursos hídricos (GUIRRA et al., 2010). Alguns mecanismos de controle automático da irrigação já foram bastante estudados, como sensores eletrônicos ou mesmo tensiômetros equipados com transdutores eletrônicos de tensão utilizados para a automação de sistemas de irrigação baseados no potencial mátrico da água no solo. Porém, esses sistemas possuem alguns inconvenientes como o elevado custo de implantação, envolverem complicados sistemas eletrônicos de controle, de difícil manejo e manutenção (KLEIN, 2001).

Na tentativa de aumentar a eficiência de uso da água (EUA) na irrigação e conceder autonomia ao homem do campo sem onerar ainda mais a produção, Medici et al. (2010) propuseram um acionador simplificado de irrigação (ASI) confeccionado por materiais comerciais de baixo custo. Este dispositivo tem sido estudado por pesquisadores da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro e utilizado por pequenos agricultores na produção de espécies olerícolas. Com a aplicação do ASI, foram encontradas elevadas produtividades associada a altas EUA na cultura da alface tanto em campo (BATISTA et al., 2013; GONÇALVES et al., 2014; GOMES et al., 2014) como em vasos em ambiente protegido (BATISTA et al., 2013; THANER DOS SANTOS et al., 2015). O ASI também já foi utilizado no cultivo solteiro de alface e cenoura e no cultivo consorciado das duas espécies em campo (GOMES et al., 2014) e na irrigação de mudas de mamão (DIAS et al., 2013), sendo a única pesquisa publicada até os dias atuais envolvendo automação da irrigação de mudas dessa cultura, ambos com resultados de elevada produção. Thaner dos Santos et al. (2015) alcançaram o consumo em todo o ciclo de 3,43 L de água para a produção de uma cabeça de alface comercial (150 a 200 g) utilizando o ASI, enquanto que na literatura os valores

encontrados para a produção de uma cabeça comercial da planta estão entre 5,00 a 8,24 L (SANDRI et al., 2007; LIMA et al., 2009).

Assim, acredita-se que o manejo realizado pelo ASI proporciona o controle dos níveis de umidade do solo suficientes para que as culturas expressem seu potencial produtivo, tanto na produção de mudas como na produção de plantas adultas de forma adequada e podendo proporcionar maior EUA. Entretanto, o estudo da utilização do acionador em cada tipo de cultura pode gerar recomendações que melhor descrevam o comportamento de cada uma, visando também alcançar um melhor entendimento da operação do dispositivo.

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar a utilização do ASI na produção de alface em ambiente protegido, tanto na produção de mudas como na produção de plantas adultas, e determinar, em cada situação, qual o ajuste do dispositivo que proporciona maior produtividade e maior EUA. Para melhor compreensão da pesquisa, a presente dissertação foi dividida em dois capítulos:

- no capítulo I, avalia-se a irrigação de alface cultivada em vasos em uma casa de vegetação utilizando o ASI. Para este estudo foram verificados parâmetros de produção, de fisiologia vegetal e a EUA, buscando informações que auxiliem na propagação de um novo sistema de produção denominado “Vasoponia Orgânica”; e,

- no capítulo II, estuda-se a irrigação de mudas de alface produzida em bandejas de isopor dentro da casa de vegetação utilizando o ASI.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A cultura da Alface

A alface é pertencente ao gênero *Lactuca*, um grupo bastante heterogêneo, que está incluído na família Asteraceae (Compositae). Originária de clima temperado, ainda é muito encontrada no sul da Europa e da Ásia (PUTTI, 2014). É uma planta anual com inflorescência do tipo panícula, formada por vários botões florais.

Considerando-se as características de folhas, formação ou não de cabeça (FILGEIRA, 2000), comprimento, forma, cor, textura e tamanho da folha (SILVA, 1997), as cultivares comerciais da alface são classificadas em seis grupos ou tipos, a saber: Repolhuda-Manteiga; Repolhuda-Crespa (Americana); Solta –Lisa; Solta-Crespa; Mimosa; e, Romana.

Suas raízes são do tipo pivotante, com ramificações muito finas, delicadas e curtas (primeiros 25 cm), podendo chegar a 60 cm de profundidade, e seu caule é curto, não ramificado, onde se prendem as folhas.

A alface apresenta em sua composição química valores próximos a 95% de água, 1,5 % de fibra, 0,90% de açúcares, 0,50% de sais minerais, 0,31 mg de vitamina B1, 0,66 mg de vitamina B2 e 35 g de vitamina C (GOTO, 1998). Essa hortaliça folhosa é uma planta herbácea rica em nutrientes e clorofila; e tem a função de alcalinizar e desintoxicar o corpo, principalmente o fígado. Essa planta constitui uma importante fonte de vitaminas (A, C e niacina) e sais minerais (sais de enxofre, fósforo, ferro, cálcio e silício) (KERR et al., 2003).

2.2. Histórico e Produção da Alface

A espécie *Lactuca sativa* L. é certamente uma das hortaliças mais consumidas no Brasil e no mundo. Por volta do ano 500 A.C., várias civilizações já consumiam alface, havendo relatos de persas, gregos e romanos, que tinham o hábito de consumi-la antes de dormir, depois de uma refeição abundante, para assim poderem conciliar melhor o sono.

A alface é uma cultura plantada e consumida em todo o território brasileiro, apesar das diferenças climáticas e os hábitos de consumo (COSTA & SALA, 2005). Geralmente suas zonas produtoras são próximas às áreas metropolitanas, uma vez que a sua vida após colheita é curta. No Brasil, as alfaves mais conhecidas e consumidas são as crespas e as lisas, algumas das quais foram melhoradas para o cultivo de verão ou adaptadas para regiões tropicais, com temperaturas e pluviosidade elevadas, mas nos últimos anos também apareceram cultivares roxas e com as folhas frisadas (HENZ & SUINAGA, 2009).

Na atualidade, os sistemas produtivos de alface existentes no Brasil são pelo menos quatro: o cultivo convencional e o sistema orgânico em campo aberto; o cultivo protegido no sistema hidropônico e no solo (RESENDE et al., 2007). O cultivo de alface a campo no sistema tradicional é o mais importante em termos de área e de produção, concentrando-se geralmente perto dos grandes centros urbanos (HENZ & SUINAGA, 2009)

O cultivo hidropônico de alface teve um notável desenvolvimento no Brasil nesses últimos dez anos (FURLANI, 1995), o qual é realizado geralmente em casas-de-vegetação com cobertura de plástico ou tela, de vários tipos e dimensões, de acordo com o clima de cada região (HENZ & SUINAGA, 2009).

De acordo com o IBGE (2006), os dados do censo agropecuário de 2006 mostram uma produção nacional de alface de aproximadamente 525.602 t ano⁻¹ correspondendo a 11% da produção de hortaliças no Brasil, com aproximadamente 97% dessa produção realizada pela agricultura irrigada e quase 30% em sistema orgânico. A região Sudeste é responsável por cerca de 65% da produção, e o Rio de Janeiro responde por 27% da produção nacional (IBGE, 2015).

2.3. A Produção de Mudanças de Alface.

A produção de mudas de hortaliças é considerada uma das etapas mais importantes do sistema produtivo (MINAMI, 1995; SILVA JÚNIOR et al., 1995), tendo em vista que, das mudas depende o desenvolvimento final das plantas na produção, seja do ponto de vista nutricional ou do tempo necessário para a colheita e, conseqüentemente, do número possíveis de ciclo por ano (CARMELLO, 1995).

A produção de mudas em canteiros e campo aberto não é muito eficiente tratando-se dos aspectos fitossanitários. As sementes ficam em condições desuniformes (solo, chuvas, temperaturas extremas), e conseqüentemente, a germinação, emergência e crescimento das plântulas também são irregulares, levando à obtenção de estandes falhos e desuniformes (MINAMI, 1995). A semeadura indireta na produção de muda e posterior transplante para a lavoura definitiva é o método de propagação mais empregado para a maioria das espécies de hortaliças (ANDRIOLO et al., 2003). Esta etapa é altamente dependente de insumos e neste contexto o substrato se destaca como insumo de grande importância, devido sua ampla utilização na produção de mudas. Segundo Lin et al. (1996) o substrato desempenha a função do solo, munindo à planta, dando sustentação, nutrientes, água, oxigênio e pode apresentar diversas origens, como animal (esterco, húmus, etc.), vegetal (tortas, bagaços, xaxim,

serragem, etc.), mineral (vermiculita, perlita, areia, etc.) e artificial (espuma fenólica, isopor, etc.).

2.4. Substratos Agrícolas

Conforme mencionado, para que seja obtida boa produtividade no cultivo de hortaliças, a produção de mudas de boa qualidade se torna crucial. A utilização de substratos como suporte das raízes, quando se trata tanto da produção da parte comercial quanto na fase de produção de mudas, é amplamente empregada na maioria dos países que adotam técnicas mais avançadas de cultivo de hortaliças (MUSARD & LETARD, 1990; ALARCON et al., 1997; ROSA et al., 1997).

O substrato agrícola utilizado na para produção de mudas é definido como sendo todo material natural ou artificial, colocado em um recipiente, puro ou em mistura, que permita a fixação do sistema radicular e sirva de suporte a planta, (BLANC, 1987). A demanda por substratos, utilizados principalmente na produção de plantas ornamentais, hortaliças em recipientes e mudas em bandejas, aumenta a cada dia, afirmam Abreu et al. (2002). A maioria dos substratos são produzidos utilizando-se turfa como componente principal, mas são crescentes os esforços visando a substituição deste material, por outro que apresente características similares, devido a questões ambientais (BAUMGARTEN, 2002), destacando-se os sistemas orgânicos de produção, onde os compostos orgânicos podem atender plenamente esta demanda, impedindo assim o uso de fertilizantes sintéticos que, de alguma forma, podem causar um certo desequilíbrio ao meio ambiente.

Existem diversas formulações e composições de adubos minerais e orgânicos, utilizados como substrato, para a produção de mudas para as mais variadas espécies. Luz et al. (2004) destacam a possibilidade de utilização de lixo urbano como resíduo orgânico, o qual poderá ser utilizado posteriormente como substrato, tanto para a produção de mudas, quanto para cultivo em vasos. Outra alternativa viável para a produção de substrato é a utilização de resíduos orgânicos provenientes da agroindústria, reduzindo os custos de tratamento, afirmam Campanharo et al. (2006). Os substratos orgânicos devem apresentar características físicas adequadas ao desenvolvimento da futura plântula, como por exemplo, boa capacidade de retenção de umidade, drenagem do excesso de água proveniente tanto da irrigação quanto da chuva e fornecimento de oxigênio e nutrientes para as plântulas (Leal et al. ,2007). Essas características físicas, segundo Carlile (1997), garantem ambientes estáveis para o desenvolvimento das plantas. Outra característica física importante para a utilização de compostos orgânicos como substrato é o reduzido grau de contração ou expansão.

Existem diversas evidências de que os compostos orgânicos utilizados na produção de substratos, tem a capacidade de estimular a proliferação de antagonistas a organismos fitopatogênicos, ajudando no controle de algumas doenças que atacam o sistema radicular plantas (DE BRITO & GAGNE, 1995; MANDELBAUM & HADAR, 1997; LIEVENS, 2001).

2.5. Adubo Orgânico

Os adubos orgânicos são oriundos de matérias-primas de origem animal ou vegetal, oriundas do meio rural, de áreas urbanas ou ainda da agroindústria (SOUZA e ALCÂNTARA, 2008). Levando-se em consideração a composição química da matéria orgânica, esta é uma importante fonte de macro e micronutrientes essenciais às plantas, além disso, atua indiretamente na disponibilidade dos mesmos devido à elevação do pH e aumenta a capacidade de retenção dos nutrientes, evitando perdas que poderia comprometer o desenvolvimento das plantas (LIMA et al., 2008).

Os fatores inerentes à matéria orgânica, como a relação C/N, presença de lignina e a granulometria desse material, intervêm na dinâmica microbiana (SEVERINO et al., 2007). Do ponto de vista biológico, a matéria orgânica aumenta a concentração e a atividade dos microrganismos presentes no solo, pois é fonte de energia e de nutrientes (KIEHL, 1985).

O uso de matéria orgânica como fonte principal de adubação possibilita que as plantas cresçam mais resistentes e fortes, e ainda restaura o ciclo biológico do solo, reduzindo de forma significativa às infestações de pragas, e conseqüentemente, diminuindo as perdas e as despesas com agrotóxicos (LONGO, 1995). Nos últimos anos, o interesse em práticas agrícolas sustentáveis tem crescido, reduzindo os custos de produção e potenciais impactos ambientais dos adubos minerais (GILBERT et al., 2009).

A intensificação da produção na maioria das vezes pode estar associada com a poluição ambiental (RICE et al., 2001), pois os agricultores aplicam maiores quantidades de fertilizantes do que realmente é exigido pelo cultivo (GLENDINING et al., 2009). Além disso, os altos preços dos combustíveis e produtos químicos à base de petróleo estão forçando a comunidade agrícola a buscar novas alternativas para diminuir a utilização de insumos agrícolas artificiais (HILTBRUNNER e t al., 2007). Nas últimas décadas têm-se aumentado a demanda por produtos alimentares produzidos com baixo uso de fertilizantes artificiais (DEN HOLLANDER et al., 2007).

Os adubos orgânicos devem apresentar alto teor de nutrientes e ainda serem capazes de disponibilizar esses nutrientes a uma velocidade que seja compatível com a necessidade da

cultura (SANTOS et al., 2012). Dentre as fontes de nutrientes utilizadas na agricultura orgânica, o vermicomposto tem sido considerado uma excelente fonte de macroelementos essenciais à nutrição das plantas como nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), Magnésio (Mg) e enxofre (S), além de conter bactérias fixadoras de N₂ (SCHUMACHER et. al., 2001).

Vermicomposto é como denomina-se a ação das minhocas em um composto orgânico transformando-o em húmus, que é um composto enriquecido com esterco das minhocas, contém microorganismos humificantes alcalinos e bactérias que formam algo parecido a anticorpos naturais contra pragas e doenças, mantendo a saúde das plantas. (Schumacher et. al., 2001).

No tocante a adubação orgânica de origem animal, o esterco animal, por ser uma fonte de nutrientes, eleva o rendimento da cultura, melhora a qualidade física do solo e aumenta a atividade microrgânica (FILGUEIRA, 2000). Oliveira (2011) trabalhando para desenvolver um adubo orgânico obtiveram um material orgânico que utiliza matérias-primas de caráter renovável, sendo-os, vermicomposto (húmus de minhoca) a base de esterco bovino, torta de mamona, e “fino de carvão vegetal” utilizado para melhoria nas características físicas.

2.6. Agricultura Orgânica

A utilização de tecnologias como o uso de mecanização agrícola, defensivos agrícolas, de organismos modificados geneticamente e o uso da irrigação, foram responsáveis pelo aumento da produtividade alcançada pela agricultura convencional, porém, atualmente já se observa que esse modo de agricultura não é sustentável. A natureza não tem capacidade infinita de absorver os impactos resultantes do uso das tecnologias utilizadas pela agricultura convencional, no ritmo em que estes vêm ocorrendo, ocasionando a busca por um tipo de agricultura que seja menos impactante ao meio ambiente (GLIESSMAN, 2001).

Aliado a isso, a preocupação do homem com a qualidade dos alimentos vem crescendo (MACEDO, 2012). Desta forma, os consumidores cada vez mais levam em consideração os riscos alimentares que os produtos podem oferecer, como os riscos microbiológicos, os métodos de produção, as aplicações de pesticidas, o uso da biotecnologia e várias outras inovações tecnológicas, demonstrando assim, uma preocupação da população em buscar alimentos mais saudáveis (FREWER et al., 1994; SABA et al., 2000; CHINNICI et al., 2002). Além disso, a desconfiança no sistema de produção e distribuição convencionais de alimentos, devido aos problemas alimentares ocorridos na Europa com a doença da vaca louca, contaminação de alimentos com dioxina, ressurgimento de febre aftosa e falta de conhecimento científico quanto aos alimentos originários de organismos geneticamente

modificados (OGMs/ transgênicos), tem aumentado a demanda de alimentos originários de sistemas orgânicos de produção (FEIDEN et al., 2002).

A agricultura orgânica procura, por princípio, estabelecer um sistema de produção baseado em um conjunto de procedimentos que envolvam a planta, o solo e as condições climáticas, gerando um alimento sadio e com suas características e sabor originais, que supram as expectativas do consumidor (PENTEADO, 2000). Esse sistema de produção é baseado na conservação dos recursos naturais e na substituição da utilização de insumos convencionais como adubos sintéticos e agrotóxicos, por insumos orgânicos ou biológicos, como por exemplo adubação verde e uso de agentes naturais de controle de pragas e doenças (FEIDEN, 2002).

O que se busca com a produção orgânica de hortaliças é trabalhar com níveis de produtividade e apresentação do produto compatíveis com as necessidades da população atual e o nível de exigência do consumidor (SOUZA et al., 1995) associada à conservação do meio ambiente.

2.7. Cultivo em Ambiente Protegido

O cultivo em ambiente protegido visa melhorar a produtividade e a qualidade dos produtos agrícolas, visto que, nesse tipo de cultivo pode se ter uma maior regularidade na produção (CARVALHO & TESSARIOLI NETO, 2005). Reis et al. (2013) consideram que como a luz tem influência direta no crescimento, no desenvolvimento e na produção das culturas e, devido à absorção e reflexão do material da cobertura plástica, a densidade de fluxo da radiação solar global no interior do ambiente protegido é menor que a observada externamente. O aumento da irradiância pode elevar a produção de fotoassimilados, com o aumento desses fotoassimilados, ocorrerá o crescimento da planta e produção de frutos. Entretanto, quando a radiação solar é muito elevada, seja dentro de um ambiente protegido ou em campo aberto, pode haver aumento na taxa de transpiração da planta, resultando no fechamento estomático o que, conseqüentemente, irá causar a diminuição da fotossíntese (ANDRIOLO, 2000).

A temperatura é fator limitante para o cultivo da alface em estufa, visto que, esta variável climática afeta diretamente a umidade relativa do ar, podendo, nas épocas mais quentes do ano, reduzir a produção (GOTO et al., 1998).

Oliveira (1995) cita as vantagens que se pode obter, quando se adota o uso de ambientes fechados no cultivo de plantas, esclarecendo que as casas de vegetação podem proporcionar, de um modo geral, maior proteção às plantas contra fenômenos climáticos

adversos, tais como geadas, granizo, excesso de chuva, ventos e queda acentuada da temperatura durante o período noturno. O autor acrescenta que elas também promovem uma adequada proteção contra pragas e doenças, além de permitir a obtenção de uma produção duas ou três vezes maior que as obtidas em cultivos de campo, uma vez que as plantas cultivadas nesses ambientes, não sofrem influência dos fatores negativos observados a céu aberto.

O cultivo em ambientes protegidos é considerado complexo e o manejo da irrigação, dentro desses ambientes, deve ser criterioso, visando proporcionar elevadas produtividades e não criar condições propícias para desenvolvimento de doenças e pragas, que possam vir a comprometer a produtividade das culturas que estão sendo cultivadas (KOETZ et al., 2006).

Mesmo com a importância do cultivo em ambiente protegido para a oleicultura brasileira, os resultados de pesquisas que subsidiem o total aproveitamento do potencial dessa tecnologia nas diferentes regiões climáticas do país ainda são insuficiente, principalmente relacionados ao adequado manejo da irrigação (SANTOS E PEREIRA, 2004).

2.8. Manejo de Água em Sistemas de Produção

O manejo da irrigação permite o uso racional da água na irrigação e proporciona maiores produtividades com qualidade superior (BANDEIRA, 2011). Um manejo eficiente da água de irrigação é dependente fundamentalmente do conhecimento da disponibilidade de água no solo para as plantas, podendo ser quantificada em função da demanda de água da planta e da atmosfera e pela intensidade de fluxo de água no solo para a raiz (REICHARDT, 1985).

O sistema de irrigação é um dos componentes com maior importância em sistema de cultivo protegido que afetam a produtividade e a qualidade da produção agrícola (HARMANTO et al. ,2005). Dependendo como a água é aplicada, das condições físicas relacionadas ao movimento da água para o interior da planta, além da interação entre esses fatores e a necessidade hídrica da planta nos diferentes estádios fenológicos, pode-se ocasionar diferentes efeitos no crescimento da planta como um todo (MARSH, 1968).

O manejo eficiente da água utilizada na irrigação de culturas comerciais é essencial para a manutenção do fornecimento de alimentos, em equilíbrio com a sua crescente demanda, garantindo a conservação do meio ambiente, bem como, o uso adequado desse recurso (HARMANTO et al., 2005).

Esse manejo deve busca maximizar a produtividade e a EUA e minimizar os custos, quer sejam relacionados à mão-de-obra, aos gastos com energia de acionamento ou de

aplicação de insumos via irrigação, mantendo as condições de umidade do solo ou substrato favoráveis ao bom desenvolvimento da cultura irrigada (BERNARDO et al., 2008).

É possível inferir que o uso de sistemas de irrigação capazes de aumentar a EUA pelas plantas pode contribuir para o uso racional dos escassos recursos hídricos disponíveis no planeta. Logo, visando à sustentabilidade ambiental, a utilização de sistemas automáticos de irrigação que possam manter níveis adequados de umidade do solo para o bom desenvolvimento das plantas pode contribuir para o uso eficiente da água de irrigação (ROMERO et al., 2012).

A quantidade de água a ser aplicada é normalmente calculada pelo consumo da cultura dividido pela eficiência de aplicação da água para o sistema de irrigação considerado. O momento de irrigar, que é um dos parâmetros mais importantes no manejo, de acordo com Bernardo et al. (2006), pode ser determinado pela medição da deficiência de água na planta, pelos sintomas dessa deficiência, pela disponibilidade de água no solo, pela evapotranspiração da cultura, pelo turno de rega ou pelo balanço de água no solo. Para Figueiredo (1998), a utilização de sensores de solo, que indiquem o volume e o momento de irrigação, é uma alternativa viável, com baixo custo e relativa praticidade.

Por meio do manejo de irrigação, a quantidade de água a ser aplicada pode ser determinada partindo-se de indicadores na planta; na atmosfera e no solo (ANDRADE, 2013). Um método de manejo com base em indicadores da planta é o fluxo de seiva. Recentes trabalhos relatam que o fluxo de seiva pode ser utilizado como parâmetro indicativo do status hídrico da planta e ferramenta promissora para o manejo da irrigação. Alguns pesquisadores já utilizaram o fluxo de seiva como indicativo de irrigação (NICOLAS et al., 2005; GINESTAR et al., 1998a, 1998b). Porém, devido ao alto custo e sofisticação dos equipamentos existentes no mercado, a utilização do fluxo de seiva em campo ainda possui alguns desafios a serem vencidos.

Um método de manejo baseado em características da atmosfera amplamente utilizado e consolidado é o tanque classe “A”. Sua consolidação deve-se, principalmente, ao custo relativamente baixo, à possibilidade de instalação na proximidade da cultura a ser irrigada e à fácil operação, juntamente aos resultados satisfatórios obtidos para a estimativa hídrica das culturas. Usando a estimativa da evapotranspiração pelo tanque classe “A” e trabalhando com uvas finas, Konrad et al. (2000) conseguiram uma economia de 56,3% no total de água aplicada normalmente por produtores que não utilizam qualquer manejo da irrigação. Porém o custo do tanque classe “A” ainda é um limitante da sua utilização pelos pequenos agricultores

(SANTOS et al., 2004).

Na execução de um manejo adequado de irrigação a umidade do solo tem sido utilizada com maior frequência em projetos de irrigação. Dentre os principais métodos de determinação da umidade do solo está a sonda de reflectometria no domínio do tempo (TDR). A sonda TDR mostra algumas vantagens como a precisão, repetição sem destruição da amostra do solo, ser uma prática segura e extremamente sensível às variações de umidade do solo (TOPP et al., 1980). No entanto, a utilização desse equipamento também apresenta algumas limitações, como o elevado custo e a necessidade de calibração específica para cada tipo de solo (SOUZA E MATSURA, 2002).

2.9. Automação de Sistemas de Irrigação

Nos últimos anos, tem sido observado na agricultura irrigada um avanço no que tange a automação dos sistemas, que implica na implantação de sistemas interligados e assistidos por redes de comunicação, compreendendo sistemas supervisórios e interfaces homem-máquina, que possam auxiliar os operadores no exercício de supervisão e análise dos problemas que porventura venham a ocorrer. Nos diversos setores produtivos, a automação decorre de necessidades, tais como: maiores níveis de qualidade de conformação e de flexibilidade, menores custos de operação e menores perdas de materiais.

A automação da irrigação tende a se tornar cada vez mais presente, pois quando instalada de forma adequada evita o desperdício da água e também dispensa a mão-de-obra que seria empregada no acionamento dos sistemas de bombeamento, bem como na estimativa das lâminas de irrigação a serem aplicadas. Tanto na agricultura quanto em cultivos domésticos de plantas, a automação da irrigação apresenta vantagens, pois maximiza e desonera a produção vegetal, além de conferir autonomia no funcionamento do sistema de irrigação.

O uso de temporizadores (*Timers*) no acionamento pode ser eficaz na automação da irrigação (ALENCAR et al., 2007), mas depende de algum sistema indireto de estimativa da lâmina que deverá ser aplicada. Por outro lado, existem vários equipamentos que determinam a umidade ou o potencial da água no solo, sendo alguns atualmente utilizados na automação do processo de acionamento de sistemas de irrigação. Contudo, a maioria deles utiliza materiais especificamente desenvolvidos, tornando-os onerosos e pouco disponíveis.

Atualmente vem sendo comercializado o equipamento Irrigas@ que é simples, robusto e informa ao agricultor o melhor momento de irrigar o solo (CALBO & SILVA, 2001). Esse

aparelho, contudo, apresenta custo mais elevado na condição que permite o acionamento automático da irrigação.

Na automação de sistemas de monitoramento da umidade do solo, vem sendo usado outros tipos de sensores, como, por exemplo, as sondas TDR (NOGUEIRA et al., 2002). Duques et al. (2003) e Duques & Scholberg (2005), utilizando esse tipo de sonda associado a sensor dielétrico, encontraram economia de água da ordem de 11% e 50%, sem diminuir os rendimentos de milho doce e pimentão verde.

O protótipo denominado “Acionador Simplificado de Irrigação” (ASI), por outro lado, possui baixo custo e vem se mostrando eficiente na automação da irrigação, com potencial para uso na agricultura. O depósito de pedido de patente do referido protótipo 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. Uma outra diferença entre o Irrigas@ e o ASI é que esse último foi desenvolvido para manter automaticamente a tensão da água no solo entre 0 e -10 kPa, enquanto que o Irrigas@ vem sendo comercializado em versões que informam ao agricultor quando a tensão ficou mais negativa que -10, -25 e -40 kPa. Segundo Marouelli et al. (2003), já foi confirmado experimentalmente que o Irrigas@ pode ser confeccionado com tensão crítica de -7 kPa.

O ASI é montado utilizando-se a vela de filtro doméstico (cápsula de cerâmica) ou pedaços dela (no caso do sensor para bandejas), que através de um tubo flexível, totalmente preenchido com água isento de ar, é acoplada a um pressostato de máquina de lavar roupa. O pressostato recebe uma pressão de coluna d'água do tubo flexível, mantendo a corrente elétrica interrompida. Quando o solo perde água, uma pressão negativa é gerada na vela de filtro devido à saída da água do tubo para o substrato através da vela, agindo como um sinalizador; esta pressão será transmitida ao pressostato através do tubo flexível, pelo Princípio de Pascal, fazendo com que o fornecimento de água para a irrigação do solo seja acionado eletricamente. Enquanto a irrigação estiver ocorrendo, haverá entrada de água na cápsula cerâmica, até igualar o valor da pressão dentro da vela ao 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).

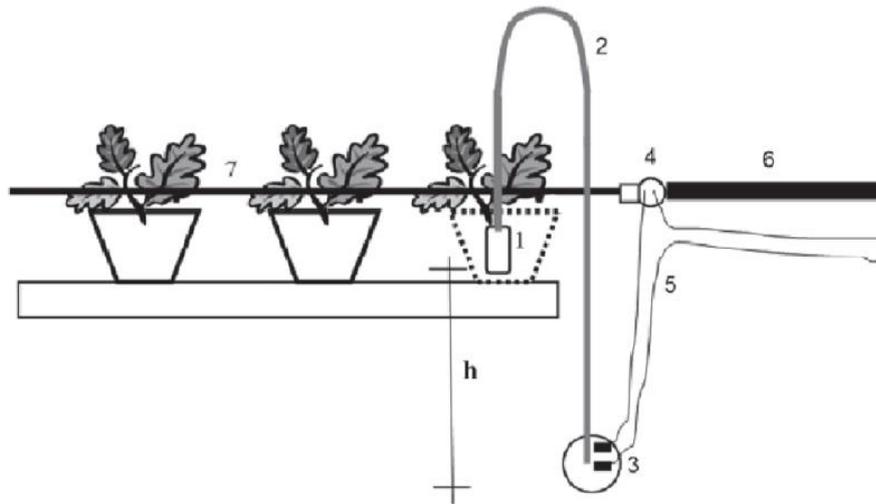


Figura 1: Esquema montagem acionador simplificado de irrigação, onde, 1 - vela de filtro (cápsula cerâmica), 2 - tubo flexível, 3 - pressostato, 4 - válvula solenoide, 5 - fios elétricos, 6 - fonte de água, h - desnível do pressostato em relação à vela de filtro. Fonte imagem: Medici et al., (2010)

Todas as peças para montagem do ASI podem ser encontradas facilmente no comércio local, o que facilita o acesso do produtor, principalmente os de baixa renda, a adquirir os componentes de montagem desse dispositivo e, assim, aderir ao uso dessa tecnologia. Tanto o pressostato como a válvula solenóide são peças utilizadas em máquinas de lavar roupa de uso doméstico (MEDICI et al., 2010). Na Figura 2 têm-se a imagem dos componentes do ASI.



Figura 2: Componentes do Acionador Simplificado de irrigação.

2.10. Eficiência de Uso da Água

Viets (1962) foi quem apresentou o conceito de EUA, e seus indicadores expressam os benefícios oriundos do consumo de água pelas culturas, podendo ser utilizados para avaliar o impacto da exploração agrícola sob diferentes condições de fornecimento de água. De acordo com o autor, a EUA pode ser expressa de acordo com a equação 1:

$$(1) \quad EUA = \frac{\text{Taxa de produção de matéria seca}}{\text{Taxa de transpiração}} = \frac{y \text{ (kg ha}^{-1} \text{ d}^{-1}\text{)}}{t \text{ (mm d}^{-1}\text{)}}$$

Levando-se em consideração a produção de matéria seca ou rendimento da cultura (Y) e a evapotranspiração ao longo do ciclo da cultura (VAZIFEDOUST et. al., 2008; PERRY et al., 2009), o termo EUA torna-se a produtividade da água, com base na evapotranspiração (PA_{ET}), no qual expressa-se a produção física da água baseada na evapotranspiração acumulada da cultura ($ET_{c \text{ acum}}$), conforme observa-se na equação 2:

$$(2) \quad PA_{ET} = \frac{Y \text{ (kg ha}^{-1}\text{)}}{ET_{c \text{ acum}} \text{ (mm)}} = \frac{Y \text{ (kg ha}^{-1}\text{)}}{ET_{c \text{ acum}} \text{ (m}^3 \text{ ha}^{-1}\text{)}} = \frac{Y \text{ (kg)}}{ET_{c \text{ acum}} \text{ (m}^3\text{)}}$$

Levando-se em consideração a agricultura irrigada, tem-se que a elevação e a determinação dos níveis da EUA são bastante complexas. Contudo, Dinar (1993) menciona que existem meios para se elevar os valores de EUA destacando-se, entre esses, o manejo adequado de irrigação.

Em condições de baixa precipitação, como em regiões áridas e semi-áridas ou em casas de vegetação onde não ocorre influência da precipitação, pode-se usar a equação 3 para se determinar a produtividade da água de irrigação (PA_{IR}). Nesses casos não se leva em consideração a variação de armazenamento de água no solo durante o ciclo da cultura, a ascensão capilar, a percolação e o escoamento superficial, o que ocorreria normalmente no cultivo a campo (FRIZZONE et al., 2012). Para a produção em casa-de-vegetação seja em vasos ou em bandejas, essa Equação representa bem, a produtividade da água de irrigação.

$$(3) \quad PA_{IR} = \frac{\text{Rendimento de biomassa}}{\text{Volume de Irrigação}} = \frac{Y \text{ (kg)}}{IR \text{ (m}^3\text{)}}$$

Diante do exposto, o alto consumo de água em projetos de irrigação pressiona a agricultura irrigada a planejar e, adotar, modelos de irrigação que permitam maior eficiência no uso de água na irrigação (BARRETO et al. 2004). Logo, as pesquisas e os estudos focados nesse tema devem ser direcionadas para alcançar maiores valores da EUA sem, que isso

venha a acarretar na diminuição do rendimento das culturas (SOUSA et al., 2000; COELHO et al., 2005).

2.11. Irrigação de Alta Frequência por Gotejamento

Mesmo que a irrigação por gotejamento tenha sido desenvolvida para atuar com alta frequência de aplicação de água e níveis de umidade do bulbo úmido estáveis e próximos do limite superior de água disponível (RAWLINS, 1973; BRESLER, 1978; PHENE et al., 1979; PHENE et al., 1991) são necessárias pesquisas que indiquem as frequências de irrigação capazes de maximizar a produtividade e a EUA para as distintas situações. Srinivas et al. (1989) afirmam que a alta frequência e o baixo volume de água são ideais para a maximização do uso da água em irrigação por gotejamento. Devido à alta frequência de aplicação de água, a concentração de sais permanece manejável na zona radicular (MANTELL et al., 1985).

A alface é uma das hortaliças mais exigentes em água, devendo-se manter o teor de água no solo superior a 80% da capacidade de água disponível, durante todo ciclo da cultura (PEREIRA & LEAL, 1989). Sousa (2001) afirma que a alta frequência na irrigação permite que o solo seja mantido com o alto teor de umidade e, portanto, com baixas tensões, em torno de -20 kPa a 15 cm de profundidade.

2.12. Plantas sob Déficit Hídrico.

Uma resposta usual ao estresse na planta é uma diminuição do crescimento, mesmo sem haver variação no conteúdo de água nos tecidos, que está associada às alterações no metabolismo de carbono e de nitrogênio (YORDANOV et al., 2000; LAWLOR, 2002). Porém, a resposta das plantas à seca é complexa e reflete a integração dos efeitos do estresse e das respostas da planta, sob todos os níveis da organização, integrados no tempo e no espaço (BLUM, 1997). O fechamento estomático é considerado a primeira linha de defesa contra o dessecação (CHAVES, 1991).

Para estudo da resposta das plantas à seca, ainda é necessário levar em consideração que diferentes velocidades de imposição do estresse irão causar efeitos diferentes. Segundo Sinclair & Ludlow (1986), à medida que o suprimento de água diminui, a planta passa por três estádios de desidratação: no estádio I, a transpiração se mantém como para uma planta bem suprida em água, até que o conteúdo em água disponível no solo seja reduzido a 50%, e a absorção de água não mais se iguale à demanda da transpiração; no estádio II, a transpiração começa a ser menor que o seu potencial, começando a haver fechamento estomático; e, no

estádio III, os estômatos estão completamente fechados, e toda perda de água da planta para a atmosfera ocorre pela cutícula. Neste sentido, a velocidade de imposição do estresse por falta d'água é crucial para o estudo da resposta de plantas. (PIMENTEL, 2004)

De todo modo, não é possível ter um único teste que indique a tolerância da planta à seca, devido à grande variedade de características fisiológicas, que afetam diversos órgãos da planta e conferem a adaptação à falta d'água e que por isso, segundo Blum (1997), é considerada uma característica multigênica. A resposta da planta à seca é caracterizada por mudanças fundamentais na relação da célula com a água, nos seus processos fisiológicos, na estrutura de membranas e de organelas celulares, além das mudanças morfológicas e fenológicas da planta, alterando a relação do seu dossel com o ambiente. (PIMENTEL, 2004)

Dentro dessa perspectiva, para a avaliação da tolerância das plantas à seca, torna-se necessário avaliar algumas variáveis, em diferentes fases do ciclo. Dentre as variáveis fisiológicas de fácil mensuração tem-se: o conteúdo relativo em água (CRA) (CIA et al., 2012) que apesar de simples, em algumas situações pode se apresentar como melhor indicador da intensidade do estresse por seca que o potenciais de água, e isso acontece principalmente em plantas que não realizam ajuste osmótico (HSIAO, 1990); a área foliar e massa seca da parte aérea, que segundo Blum (1997) são variáveis mais sensíveis ao estresse. Dentre as variáveis com equipamentos mais sofisticados: abertura estomática (gs), com um porômetro; e a emissão de fluorescência da folha com um fluorímetro (MAXWELL & JOHNSON, 2000) têm se mostrado de grande utilidade.

A emissão de fluorescência se destaca pela rapidez da mensuração, possibilitando a avaliação de um grande número de genótipos, servindo para indicar o efeito de diferentes estresses, com altas e baixas temperaturas, seca e salinidade (LONG et al., 1994).

A abertura e/ ou fechamento dos estômatos estão principalmente relacionada à intensidade de luz e a hidratação das folhas, e desta forma, o funcionamento dos estômatos e a área foliar irão influenciar a produtividade do vegetal, visto que o primeiro controla a absorção de CO₂ e o segundo determina a interceptação de luz (COSTA et al., 2007). O monitoramento da condutância estomática deve ser realizado nos horários mais quentes do dia, já que é possível presumir que nesses horários é que a condutância estomática diminua para evitar um potencial hídrico da folha abaixo de níveis considerados críticos para a estabilidade do sistema de transporte de água (OREN et al., 1999) e este limite irá depender tanto dos fatores genéticos como de fatores ambientais (COSTA et al., 2007).

3. CAPÍTULO I

AVALIAÇÃO FISIOLÓGICA DE PLANTAS DE ALFACE COM DÉFICIT HÍDRICO CONTROLADO AUTOMATICAMENTE, EM “VASOPONIA ORGÂNICA”.

3.1. RESUMO

Atualmente, a preocupação com a crise da água envolve todos os setores da sociedade e a agricultura irrigada continua a ser o principal consumidor de recursos hídricos. Desta forma, este estudo avaliou um sistema de produção agrícola em casa de vegetação que inclui economia e controle do uso eficiente da água usando um Acionador Simplificado de Irrigação (ASI) de baixo custo. Foram avaliados cinco volumes de irrigação, em vasos com 4,81 L preenchido com um Planossolo, adubado com 200 g de vermicomposto por vaso. O segundo maior volume foi controlado com o ASI, regulada para manter a tensão de água no solo de 6 kPa correspondendo a 100% da irrigação. Os demais volumes representaram 130, 80, 60 e 33% daquele controlado pelo ASI. Os volumes foram aplicados com diferentes gotejadores inseridos na lateral de irrigação. Assim, quando a ASI ligava e desligava a irrigação, todos os tratamentos recebiam água, ao mesmo tempo, com volumes diferentes de irrigação. As plantas de alface foram colhidas 40 dias após o transplântio das mudas. Características agrônômicas e fisiológicas foram avaliadas por análise de regressão entre cada tratamento assim como os volumes acumulados de irrigação. Massa fresca, diâmetro da cabeça e condutância estomática aumentaram linearmente com o volume de irrigação. Para o peso seco, número de folhas e eficiência no uso da água (EUA) a regressão quadrática apresentou valores máximos no volumes de 126, 114 e 83%, respectivamente. O conteúdo relativo de água na folha (CRA) não exibiu qualquer variação entre tratamentos, bem como qualquer efeito sobre o rendimento quântico fotoquímico máximo principal de FSII ($\phi P_o = F_v / F_m$), o que indicam que mesmo no menor volume não era uma seca severa. Os dados indicam que há uma troca entre EUA e crescimento da planta, uma vez que o maior crescimento foi indicado para 126 % do volume de irrigação do ASI, enquanto a maior EUA foi cerca de 80% do ASI. O déficit controlado com menos de 80% do volume aplicado pelo ASI levou a uma redução da EUA. Diante do exposto, verifica-se que a proposta da vasoponia orgânica com o ASI é promissora e deve ser melhorada para permitir a economia de água, trabalho e adubo.

Palavras-chave: Produção em Ambiente Protegido; Acionador Simplificado de Irrigação; Eficiência no uso da água.

3.2. ABSTRACT

Currently the concern about water crisis involves all sectors of society and irrigated agriculture remains the main consumer of water resources. Thus this study evaluated an agricultural production system in greenhouse that includes economy and control of efficient use of water using an Low Cost Simplified irrigation controller (SIC). It was evaluated five irrigation volume in pots with 4,81 L filled with a Planosol, fertilized with 200 g of vermicompost per pot. The second highest volume was controlled with the SIC, regulated to maintain the soil water tension in the soil at 6 kPa corresponding to 100% of irrigation. The other volumes represented 130, 80, 60 and 33% of that controlled by SIC. The volumes were applied with different drippers inserted in the same piping. Thus, when SIC turned on and off the irrigation, all of the treatments received water at the same time, with different irrigations volumes. The lettuce plants were harvested 40 days after seedlings planting. Agronomic and physiological traits were evaluated by regression analysis between each trait as accumulated volumes of irrigation. Fresh weight, head diameter and stomatal conductance increased linearly with irrigation volumes. For dry weight, number of leaves and water use efficiency (WUE) the regression were quadratic with maximum values at 126, 114 and 83%, respectively. Relative water content in the leaf (RWC) did not exhibit variation between treatments, as well as any effect on the primary maximum photochemical quantum yield of PSII ($\phi P_o = FV/FM$), what indicate that even in the smaller volume wasn't a severe drought. The data indicate there is a tradeoff between water use efficiency and plant growth, since the highest growth was about 126 % of volume of the SIC irrigation, while the highest water use efficiency was about 83% of that depth. The controlled deficit with less than 80% of the applied volume by SIC led to reduction in WUE. Given the above it is apparent that the organic potponics is promisor and should be further improved to allow economy in water, labor and manure.

Keywords: Production in a Protected Environment; Simplified Irrigation Controller; Water Use Efficiency.

3.3. INTRODUÇÃO

O cultivo de plantas em pequenos recipientes e em estufas é algo promissor, pois reduz o volume de controle de água e nutrientes, e de trabalho. Além disso, pode reduzir problemas com agentes patogênicos do solo e das ervas daninhas. No entanto, a economia de água e de nutrientes vai depender de eficiência da aplicação da água de irrigação, para evitar seca ou drenagem excessiva. A ausência de sistemas de controles automáticos de irrigação de baixo custo voltado para esse setor de produção poderia explicar por que esta prática é pouco utilizada.

Um grupo de pesquisadores comprometidos com o cultivo de plantas em vasos é o coordenado por Marc van Iersel, que tem utilizado controladores de irrigação baseados em sensores, e está próximo a atingir o baixo custo com microcontroladores de código aberto (Ferrarezi et al., 2015). O grupo do Iersel está se concentrando em plantas ornamentais, tais como petúnia, provavelmente para justificar o preço dos controladores de irrigação comerciais. O grupo de pesquisa água e solo em sistemas agrícolas - GPASSA/UFRRJ, liderado pelos professores Dr. Daniel Fonseca de Carvalho e Dr. Leonardo Oliveira Medici, também desenvolveu um acionador automático de baixo custo para a irrigação, o ASI, o qual tem demonstrado ser robusto, eficiente e de fácil construção pelo próprio agricultor (Medici et al, 2010). Diversos estudos foram desenvolvidos usando o ASI no campo, em vasos e também em bandejas para mudas (BATISTA et al, 2013;.. DIAS et al, 2013;. GOMES et al, 2014;. GONÇALVES et al, 2014).

Atualmente o GPASSA está desenvolvendo um sistema de cultivo de plantas alternativo e nomeado de "vasoponia orgânica", em que as plantas recebem água e adubo de acordo com suas necessidades, utilizando o ASI. Esse sistema de cultivo é diferente de hidroponia e fertirrigação que fornecem os nutrientes por meio da irrigação, ao passo que a na vasoponia orgânica a irrigação proporciona unicamente água, e o adubo sólido é aplicado diretamente ao solo em vasos. Em hidroponia e fertirrigação existe a necessidade de descartar uma parte da solução de nutriente para evitar desequilíbrio deles ou a salinização do substrato, respectivamente (Choi et al., 2015). Na vasoponia orgânica, este descarte não será necessário.

Neste trabalho foram avaliados cinco níveis de irrigação com a aplicação controlada automaticamente com o ASI em um sistema de vasoponia orgânica cultivando alface. O objetivo foi indicar a fração de irrigação mais adequada, com base em características agrônomicas e fisiológicas, como a condutância estomática, teor de clorofila e fluorescência da clorofila da cultura avaliada.

3.4. MATERIAL E MÉTODOS

No ano de 2014 foi realizado o experimento em casa-de-vegetação em que avaliaram-se os efeitos de diferentes volumes de irrigação, realizadas com gotejadores de diferentes vazões, utilizando o ASI, na produção de alface em sistema orgânico de produção. O experimento foi iniciado em 8 de setembro e finalizado em 18 de outubro.

3.4.1. Caracterização da Área Experimental

O experimento foi conduzido em bancada em uma casa de vegetação, localizada no Sistema Integrado de Produção Agroecológica (SIPA), também conhecida como “Fazendinha Agroecológica do Km 47”, no município de Seropédica – RJ, Brasil (22°48’00”S; 43°41’00”W, 33 m). O SIPA é resultado da parceria entre a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA, a Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro – UFRRJ e a Empresa Agropecuária do Estado do Rio de Janeiro – Pesagro/Rio e tem por finalidade promover ensino, pesquisa e capacitação em agroecologia.

Segundo Carvalho et al. (2006), o clima da região é classificado com Aw pela a classificação de Köppen, com chuvas e temperaturas elevadas no verão e um inverno seco com temperaturas amenas. As chuvas ocorrem de novembro a março, com precipitação média anual de 1213 mm e temperatura anual média de 24,5 °C.

A casa de vegetação é construída em madeira serrada, em sua estrutura (estufa de baixo custo/ modelo Pesagro-Rio), envolta por completo com sombrite e sua cobertura é feita com plástico agrícola de 100 micra (LEAL et al., 2006). Esta estufa é utilizada para a produção de mudas de hortaliças diversas que são direcionadas a produtores da região e ainda cultivadas na unidade, sendo oferecidas no Restaurante Universitário da UFRRJ. Durante a realização do experimento havia, simultaneamente, a produção dessas mudas na estufa. As dimensões da estufa são de 35 m de comprimento e 8 m de largura, totalizando uma área útil de 280 m² (Figura 3).



Figura 3: Casa de vegetação localizada na Fazendinha Agroecológica do km 47 em Seropédica - RJ.

3.4.2. Cultivo da Alface

Foram utilizadas mudas de alface *cv Regina*, que apresenta plantas pertencentes ao grupo tipo lisa, volumosas, ciclo entre 60 e 65 dias, não formando cabeça, indicadas para o plantio o ano todo, e apresentando excelente tolerância ao “Tip Burn” (Queima dos bordos das folhas) e ao pendoamento precoce. A sementeira foi realizada em bandejas de isopor de 220 células, preenchidas com substrato orgânico constituído por vermicomposto como componente básico (83%), adicionado de 15% de fino de carvão vegetal e enriquecido com 2% de torta de mamona (OLIVEIRA, 2011). As bandejas semeadas permaneceram dentro da casa de vegetação sendo irrigadas manualmente duas vezes ao dia.

Aos 30 DAS as mudas foram transplantadas para vasos de polietileno de 4,81 L (25 cm de diâmetro), contendo solo. As mudas eram acomodadas no centro do vaso, assim as plântulas mantinham uma distância de 25 cm uma das outras. Ao redor de cada muda foram feitas duas covas de aproximadamente 10 cm de profundidade, onde foi realizada a adubação com 200 g de vermicomposto, em cada vaso.

3.4.3. Solo

O solo utilizado no experimento dos vasos é proveniente do horizonte A de um Planossolo, localizado na área do SIPA, próximo ao galpão de armazenagem de grãos. Esse solo foi retirado de sua área original e transportado para um laboratório onde foi espalhado, seco ao ar e, posteriormente, peneirado, com o auxílio de uma peneira do tipo ciranda.

Os vasos foram preenchidos com um volume de solo suficiente para deixar uma diferença de 5 cm entre a borda do vaso e a superfície de solo. Para a acomodação do solo foi realizada uma leve compactação utilizando as mãos.

3.4.4. Sistema de Irrigação

O sistema de irrigação utilizado no experimento foi o de gotejamento, com mangueira de 16 mm de diâmetro interno e diferentes associações de emissores de 12, 4 e 2 L h⁻¹ (fabricante John Deere Water/ modelo Supertif – Campinas/ SP) em cada vaso, com exceção dos tratamentos 1 e 5, que continham apenas um emissor cada. Maiores detalhamentos serão descritos no item posterior.

Próximo da casa de vegetação, havia um reservatório de 1000 L, com aproximadamente 15 m de altura em relação ao local da estufa, que permitia o abastecimento de água ao experimento por gravidade com pressão próxima a 20 mca. A água de abastecimento do reservatório provinha de um açude nas proximidades do experimento, sendo bombeada por uma bomba submersa acionada automaticamente, de acordo com o nível de água no reservatório.



Figura 4: Reservatório de água responsável pelo abastecimento por gravidade do sistema de irrigação, instalado em área próxima ao experimento.

3.4.5. Sistema de Automação da Irrigação

A aplicação da água de irrigação foi controlada pelo ASI, composto por uma cápsula cerâmica utilizada em filtros residenciais de água, conectada por um tubo flexível (diâmetro ± 4 mm e comprimento de 2 m) a um pressostato (Medici et. al., 2010). A vela (5,5 x 10 cm) foi saturada com água e acoplada ao pressostato por meio do tubo flexível, ambos preenchidos por água. Depois de montado o sistema, a cápsula foi colocada no solo, na posição horizontal a 5 cm do fundo do vaso. É criada uma tensão dentro da cápsula à medida que ocorre a evaporação e a transpiração vegetal e quantidade de água no perfil do solo diminui. Essa tensão na cápsula é transmitida ao pressostato pelo tubo flexível, o diafragma do pressostato aciona o comutador que estabelece o circuito elétrico entre o sistema de irrigação (válvula solenóide) e a fonte de energia através dos condutores (fio de 4 mm). Tendo estabelecida a corrente elétrica, a válvula solenóide permite a passagem de água para a tubulação do sistema de irrigação (MEDICI et al., 2010) (Figura 1).

A água de irrigação que chega ao solo umedece o sistema radicular da planta e atinge a cápsula, proporcionando um alívio na tensão, estabelecendo uma pressão positiva no pressostato, que cortará a corrente elétrica da válvula solenoide, interrompendo a irrigação. Assim, o próprio potencial da água no solo comanda o processo de fornecimento de água às plantas.

Em cada bloco da área experimental foi instalado um acionador (Figura 5), com desnível de 0,60 m entre o centro da cápsula porosa e o pressostato, na parcela do tratamento 2 (T2). Desta forma, as irrigações eram acionadas por bloco, a medida que a parcela do T2 acionasse o sistema.

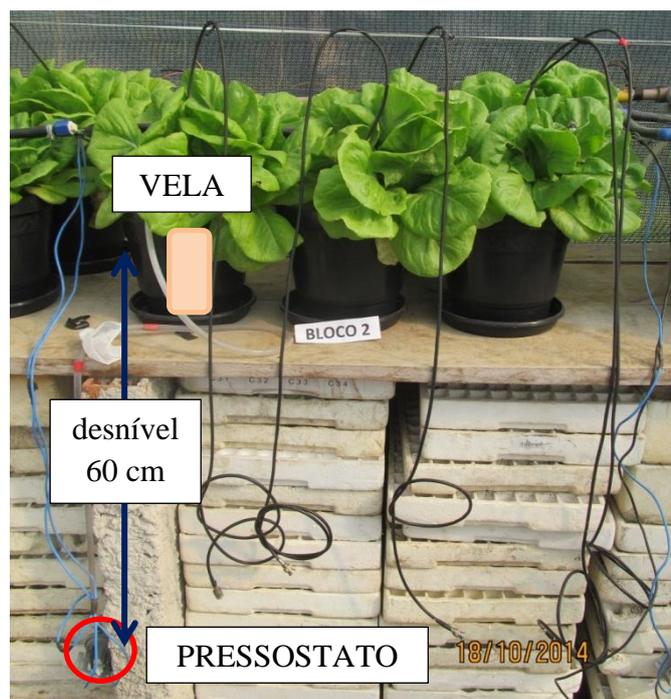


Figura 5: Acionador simplificado de irrigação instalado no bloco II da área experimental.

3.4.6. Delineamento Experimental

O delineamento experimental foi o de casualização em blocos, sendo 6 blocos e 5 tratamentos, totalizando 30 parcelas experimentais. Cada parcela era representada por um vaso com uma planta de alface.

Em cada bloco havia um ASI, instalado para ser acionado quando o potencial matricial de água no solo alcançasse aproximadamente 6 kPa nos vasos do T2. Os demais vasos dentro do bloco recebiam a água de irrigação pelo mesmo tempo, porém com vazões diferentes. Essas diferentes vazões eram obtidas pela combinação de gotejadores de 2 e 4 L h⁻¹ (vazão nominal). Desta forma eram administradas as vazões nominais: 12, 8, 6, 4 e 2 L h⁻¹ nos tratamentos de 1 a 5, respectivamente.

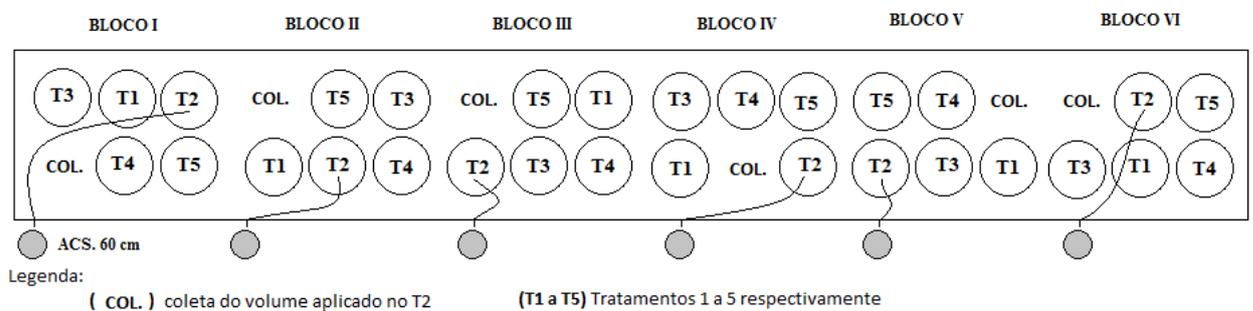
Os tratamentos foram caracterizados pelas seguintes combinações de gotejadores: T1 – apenas um gotejador de 12 L h⁻¹; T2 – dois gotejadores de 4 L h⁻¹; T3 – um gotejador de 4 L h⁻¹ + um gotejador de 2 L h⁻¹; T4 – dois gotejadores de 2 L h⁻¹; e T5 – apenas um gotejador de 2 L h⁻¹. Quando havia dois gotejadores no tratamento, estes eram colocados 5 cm espaçados um do outro acima do centro do vaso, nos tratamentos com apenas um gotejador, este foi instalado acima do centro do vaso.

Foram utilizados 30 vasos no total, dispostos em duas fileiras sobre uma bancada de aproximadamente 1 m de altura. Em cada bloco havia cinco vasos com plantas e um

recipiente vazio para coleta de água da irrigação. Sobre esse recipiente vazio foram colocados dois gotejadores de 4 L h^{-1} (mesma configuração do T2), de forma que todas as vezes que o sistema fosse acionado, o volume aplicado no T2 seria coletado e posteriormente aferido. Assim era possível saber diretamente o quanto de água de irrigação havia chegado ao vaso do T2 e também estimar o volume recebido nos demais vasos.

O experimento foi realizado em duas linhas de plantio, e os blocos eram espaçados, entre si, em 0,1 m. Na Figura 6.A é apresentado o croqui da área experimental e na Figura 6.B é apresentado o croqui do bloco experimental.

(A)



(B)

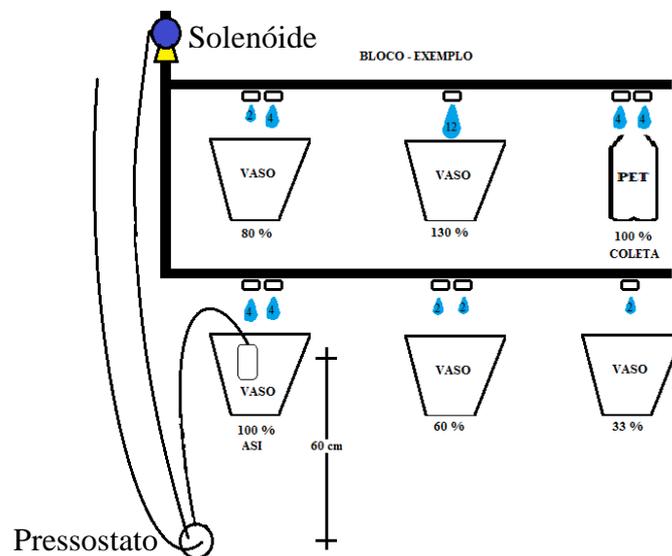


Figura 6: A) Croqui da área experimental. B) Croqui do bloco (bloco qualquer).

3.4.7. Determinação do Volume Aplicado em cada Parcela Experimental.

Antes do início do experimento foi realizado um teste de vazão *in locu*. Os dados de vazão encontrados *in locu* foram transformados em porcentagens de volume aplicado pelo ASI. Assim, considerando o volume aplicado pelo ASI de 100%, os demais eram divididos

por esse valor. Desta forma foi constatando a aplicação das seguintes porcentagens de volume de irrigação nas demais parcelas sem o ASI: 130, 80, 60 e 33 %.

O volume de água coletados pelo vaso controle (vazio) era conferidos todos os dias, sempre em horário próximo às 15h. De posse dos volumes aplicados diariamente nas parcelas do tratamento 2, em cada bloco, e sabendo a relação entre as frações de irrigação nos demais tratamentos, calculavam-se os volume aplicado em cada parcela multiplicando o volume conhecido (parcela de T2) pelos fatores 1,3; 0,8; 0,6; e 0,33, respectivamente.

3.4.8. Umidade do Solo

A variação do potencial matricial da água no solo foi monitorada, diariamente, utilizando-se o conceito da reflectometria no domínio do tempo (TDR) (Souza et al., 2006) por meio de sondas instaladas perpendicularmente nos vasos, próximas as raízes das plantas de alface. A medição da constante dielétrica do solo era realizada em todas as parcelas. O equipamento utilizado neste experimento foi o TDR100 (Campbell Sci. – São Paulo/ BR).

3.4.8.1. Calibração das Sondas TDR.

A calibração das sondas TDR (THANER DOS SANTOS et al., 2015) foi realizada no Laboratório de Recursos Hídricos, no Instituto de Tecnologia da UFRRJ. O procedimento consistiu no preenchimento de tubos de PVC com diâmetro de 100 mm e altura de 25 cm, com o solo retirado da mesma área usada no experimento. As colunas de PVC tiveram um lado coberto com tela para evitar a saída do solo e também facilitar a entrada da água. O solo passou pelo mesmo procedimento de secagem e peneiramento descrito no item 3.4.3 desta metodologia. Em seguida, as colunas foram colocadas em um recipiente com água (Figura 7) por cinco dias, de tal forma que a superfície da lâmina d'água chegava próxima à superfície do solo dentro dos tubos, sem submergi-los e assim permitia que a água ocupasse os poros do solo. O recipiente com água foi enchido gradativamente para que o ar presente nos poros do solo fossem expulsos na parte superior das amostras. Após a saturação, as colunas foram dispostas sobre uma bancada até que cessasse a drenagem. Uma sonda de TDR foi inserida no centro de cada tubo de PVC preenchido com solo em uma profundidade que permitisse que toda a sonda estivesse enterrada.



Figura 7: Colunas de solo em recipiente com água para saturação e posterior calibração das sondas TDR.

Em seguida, realizou-se o monitoramento do peso com uma balança de precisão (0,01 g) e leituras da constante dielétrica pelo TDR 100 (Figura 8) três vezes na semana, nas respectivas colunas de solo. O término da avaliação foi determinado quando o peso da coluna e da umidade avaliada na sonda ficou estável.



Figura 8: Medição do peso das colunas de solo com balança de precisão e monitoramento da constante dielétrica por sondas TDR.

Ao final desse período, o solo de cada coluna foi levado à estufa a 105 °C por 72h para a secagem e posterior pesagem. De posse desses dados foi possível determinar a umidade volumétrica (θ) pelo método gravimétrico em cada leitura de peso através da Equação:

$$(4) \quad \theta = \frac{Ma.Ms}{Ms.Vt}$$

em que:

θ - umidade volumétrica ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);

Ma - massa de água (g);

Ms - massa de solo seco (g); e

Vt - volume total (cm³).

Desta forma, foi possível a obtenção de uma curva de calibração entre umidade volumétrica (θ) e constante dielétrica (Ka) (ANEXO I).

3.4.9. Coleta de Dados Climáticos

Dados climáticos, como temperatura e umidade relativa (UR), eram registrados ainda por um Termohigrômetro Datalogger IP-747RH Temperatura e Umidade USB (Impac), colocado dentro da estufa onde foi conduzido o experimento. As condições meteorológicas externas também foram monitoradas a partir dos dados de uma estação automática, instalada próxima à casa de vegetação.

3.4.10. Características Agrônomicas Avaliadas

Foram avaliadas características referentes à produtividade e a quantidade de água empregada no cultivo. As variáveis avaliadas foram: Massa Fresca (MF), Massa Seca (MS), Número de Folhas (NF) e Diâmetro da Cabeça de Alface (D). Os dados foram coletados ao final do experimento, aos 40 dias após o transplântio (DAT) (HORTIBRASIL, 2009).

3.4.11. Características Fisiológicas Avaliadas

3.4.11.1. Fluorescência da clorofila

Os parâmetros da cinética de emissão da fluorescência transiente da clorofila das plantas foram avaliados aos 15 (07:00 h) e 30 (07:00 e 12:00 h) DAT. O monitoramento da emissão da fluorescência da clorofila a foi realizado utilizando um fluorômetro portátil (HandyPEA, Hanstech, King's Lynn, Norfolk, UK). As medições foram realizadas no terço médio de folhas jovens completamente expandidas, em cada planta de cada bloco, realizadas 20 minutos 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 $3.000 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. As intensidades de fluorescência foram determinadas a 50, 100, 300 μs , 2 (FJ) e 30 (FI) ms e FM (fluorescência máxima). A partir das intensidades de fluorescência foram calculados os parâmetros estabelecidos pelo teste de fluorescência da clorofila (OJIP) (Strasser & Strasser, 1995), sendo que a interpretação dos parâmetros medidos e calculados a partir desse teste fornece numerosas informações dos fluxos de energia através do fotossistema II (FSII) em diferentes níveis (Strasser et al., 2004).

Os parâmetros de fluorescência da clorofila fornecem informações sobre propriedades biofísicas da conversão fotossintética de energia e transporte de elétrons. Pelo teste JIP,

diversas expressões biofísicas, tais como o índice de vitalidade, mudanças fenomenológicas, razões de fluxo, rendimentos e fluxos específicos foram calculadas.

3.4.11.2. Teor de clorofila

O conteúdo total de clorofila (Chl a+b) foi monitorado aos 15 e 30 DAT. Para a leitura do Chl utilizou-se um medidor eletrônico de teor de clorofila ClorofiLOG CFL1030 FALKER (unidade de ICF – índice de clorofila Falker) e as leituras eram estimadas também no terço médio de folhas jovens completamente expandidas, em cada parcela.

3.4.11.3. Condutância estomática (gs)

Dados de condutância estomática (gs) foram medidos aos 28, 31, 32 e 38 DAT (DIAS et al., 2013), e para isso foi utilizado o Leaf Porometer (Decagon Devices) 2365 NE Hopkins Court Pullman, WA 99163. As medições ocorreram em dias próximos à colheita, sendo nos três primeiros dias no início da tarde (próximo às 12h) e no último dia em três horários diferentes: 9, 12 e 15 h.

3.4.11.4. Conteúdo relativo de água (CRA)

O conteúdo relativo de água (CRA) segundo metodologia de CIA et al. (2012) foi realizado aos 31º DAT. Retirou-se parte do tecido (1 cm²) de uma folha madura de cada planta de alface e o colocou dentro de um eppendorf para pesagem da peso fresco. Após isso, os tecidos foram colocados sobre uma lâmina de água destilada, dentro de placas de Petri e levados a geladeira (com temperatura de 10°C) por um período de 24 h e novamente pesados, sendo este o peso de turgor máximo. Depois disto, levados a estufa (com temperatura de 65°C) por 72 h, chegando ao peso seco. O CRA foi calculado através da equação 5:

$$(5) \quad CRA = \left(\frac{Peso\ fresco - Peso\ seco}{Peso\ túrgido - Peso\ seco} \right) \times 100$$

3.4.12. Eficiência de Uso da Água (EUA)

Os volumes aplicados em cada parcela pôde ser estimado considerando o teste de vazão realizado no início do experimento aliado à coleta realizada diariamente em cada bloco por uma combinação de gotejadores igual a do T2. Estes gotejavam diretamente para uma recipiente de onde era aferido o volume.

De posse dos dados de produtividade e volume de água aplicado na irrigação, pôde-se calcular a EUA pela razão entre o primeiro parâmetro e o segundo supracitado, conforme a equação 3.

3.4.13. Análises estatísticas

Todos os dados foram submetidos à regressão dentro do teste de variância (ANOVA), pelo programa estatístico Sisvar.

3.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.5.1. Dados de Umidade do solo

Os dados de umidade do solo mostraram diferenças significativas ($p < 0,05$) na análise de variância, sendo aplicados os testes de regressão.

A Figura 9 apresenta a equação de umidade média monitorada no solo para os cinco volumes de irrigação aplicados no decorrer do experimento. O menor volume apresentou aproximadamente uma redução de 63 % na umidade no solo em comparação ao maior volume, o que influenciou diretamente o ganho de massa fresca observado nas plantas de alface nos diferentes tratamentos avaliados.

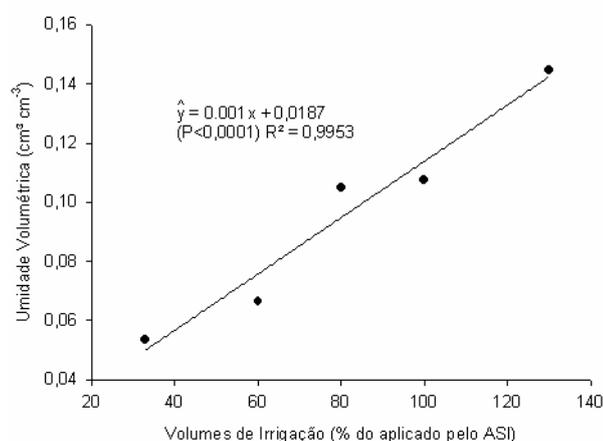


Figura 9: Umidade média do solo em função do volume de irrigação aplicado em cada tratamento

É possível verificar a umidade do solo no decorrer do experimento (Figura 10), o qual foi monitorado pelas sondas TDR. O volume de 130% do ASI foi o que apresentou a maior umidade durante todo o período de experimentação. A umidade nos vasos, principalmente os de volume de 100% do ASI, variou de acordo com a necessidade hídrica da cultura, uma vez que os resultados de umidade apresentados mantêm estrita relação com a água aplicada e a consumida pelas plantas de cada parcela.

Os dados de umidade encontrados neste trabalho para o volume de 100% do ASI instalado para acionamento a 6 kPa ficaram entre os valores de umidade encontrados para as tensões de 3 e 9 kPa apresentados por Batista et al. (2012) que avaliou a utilização do ASI na produção de alface em vasos utilizando um Planossolo. Dessa forma, os dados se mostram consistentes, visto que a tensão trabalhada neste estudo é mediana em relação às tensões avaliadas pelo autor referido. Além disso, observa-se que a diferença entre as umidades

obtidas para os volumes aplicados de 130 e 100% pelo ASI fica mais expressiva ao final do experimento, tendo relação com fato dessas parcelas apresentarem massas secas semelhantes. Assim, por hipótese, as alfaces desses dois tratamentos podem ter chegado com dinâmicas distintas à massa final, ou seja, as parcelas do segundo tratamento podem ter demorado um pouco mais para atingir o mesmo nível de massa fresca do T1, demandando mais água no final do experimento, o que levou ao aumento laminados volumes irrigados em todas as demais parcelas. Este fato também poderia explicar o aumento da umidade nos volumes de 80% do ASI. Porém a hipótese só poderá ser confirmada em futuras investigações, visto que neste trabalho não foi realizado o monitoramento do crescimento das plantas ao longo do tempo.

Os menores volumes tiveram a umidade do solo equivalente ao final do experimento e isso pode ser devido ao melhor desenvolvimento das parcelas de 60% do ASI que motivou o maior consumo da água disponível ao final do experimento em comparação ao de maior déficit e isto poderia ser comprovado pelo maior ganho de massa fresca dessas plantas ao final do experimento (Tabela1). Contudo, como no caso anterior, um monitoramento do crescimento das plantas ao longo do tempo seria necessário para comprovar essa hipótese, e para isso seria necessário mais unidades por parcelas.

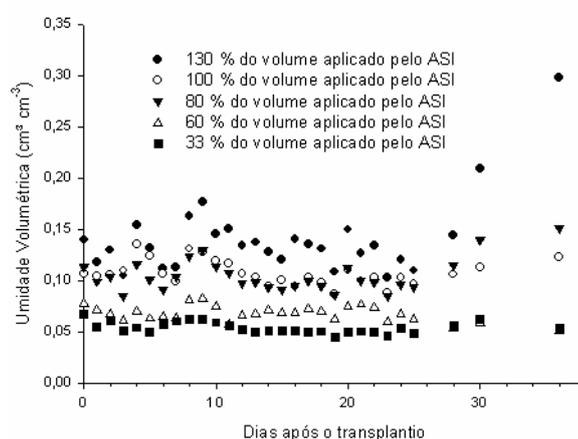


Figura 10: Umidade volumétrica média para os diferentes volumes aplicados na irrigação ao longo do experimento.

3.5.2. Dados Climatológicos

Nas Figuras 11 e 12 estão apresentados os dados de temperatura e UR registrados dentro da casa de vegetação e também os dados armazenados pela estação meteorológica instalada próximo ao local do experimento, durante o período de realização do experimento.

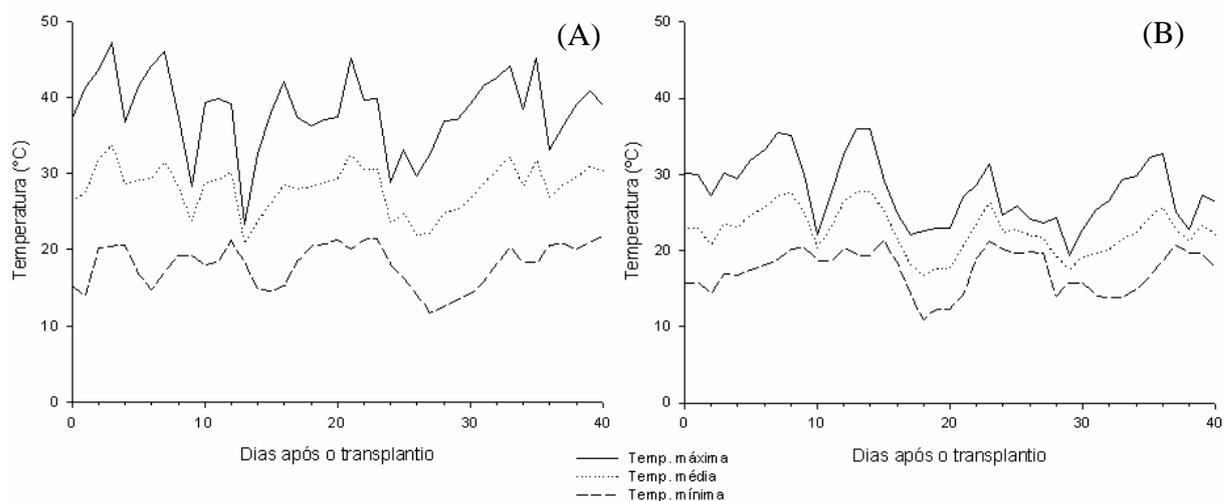


Figura 11: Dados de temperaturas registrados dentro da casa de vegetação (A) e pela estação meteorológica instalada próxima a casa de vegetação (B).

A menor temperatura dentro da casa de vegetação registrada no período foi de 11,7 °C, enquanto que a maior temperatura foi de 47,2 °C. Em média a temperatura se manteve entre os 21 e 34 °C. As temperaturas máximas e mínimas dentro da casa de vegetação se mantiveram, em média, respectivamente 10,5 e 0,8 °C superiores em relação às registradas pela estação meteorológica externa a área de estudo. De acordo com Alpi & Tognoni (1984) em média as temperaturas mínimas do ar são de 1 a 3 °C superiores no interior de estufas de plástico, sendo esse o efeito desejado para esses ambientes.

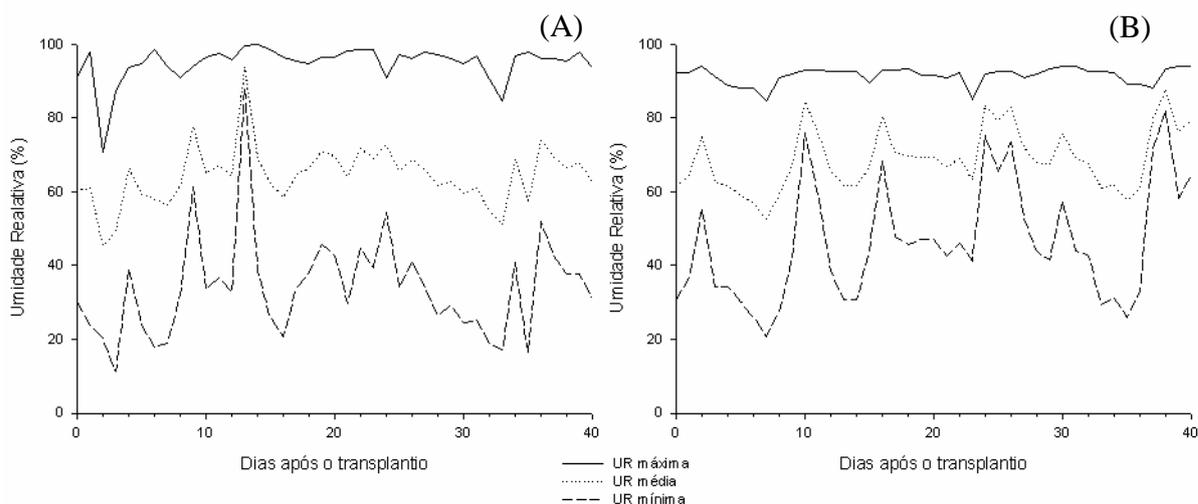


Figura 12: Dados de UR registrados dentro da casa de vegetação (A) e pela estação meteorológica instalada próxima a casa de vegetação (B).

A UR do ar dentro da casa de vegetação manteve-se em média entre 45,5 e 93,9%. O menor valor registrado de UR foi de 11,2% enquanto que maior valor alcançou os 100 %.

A Figura 13 apresenta o déficit de pressão de vapor (DPV) em função das temperaturas e UR médias registradas durante todo o período do experimento dentro da casa de vegetação.

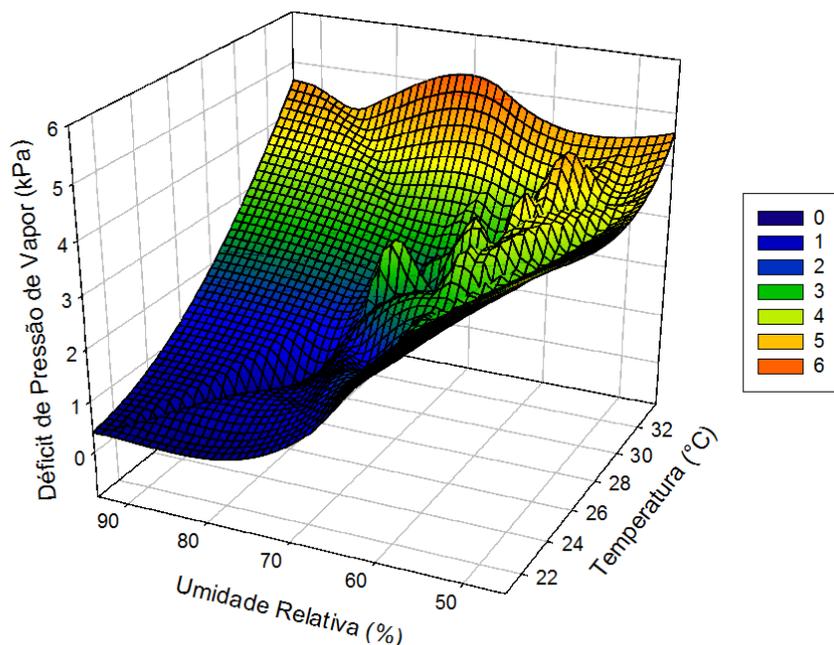


Figura 13: Déficit de pressão de vapor em função das temperaturas e umidade relativa registradas dentro da casa de vegetação.

O DPV variou entre 0,4 e 4,5 kPa e a média dos valores calculados foi de 2,5 kPa. Os altos valores de Temperatura e UR dentro da casa de vegetação culminaram com o aumento do DPV.

A temperatura e UR registradas na casa-de-vegetação foram maiores do que as consideradas por Sganzerla (1997) como ótimas para o estágio de desenvolvimento da cultura da alface. O autor considera que nessa fase as temperaturas devem ser de 14 a 18 °C durante o dia e 5 a 20 °C durante a noite, e a UR deve estar entre 60 a 70%. LIMA JÚNIOR et al. (2010) consideram que a planta tolera uma temperatura máxima de 30 °C e UR entre 60 e 80%. De todo modo, verifica-se que os fatores climáticos não foram, aparentemente, um fator limitante à produção, que se manteve próxima aos valores relatados pela literatura para os maiores volumes de irrigação avaliados.

3.5.3. Características Agronômicas

As características agronômicas mostraram diferenças significativas ($p < 0,05$) na análise de variância, sendo aplicado o teste de regressão.

A aplicação de diferentes volumes de irrigação induziu um ganho de massa fresca linear e o mesmo comportamento aconteceu com o diâmetro das cabeças das plantas, enquanto que para a massa seca e número folhas, o modelo de regressão quadrática revelou significância ao nível de 5% de probabilidade (Tabela 1). O volume correspondente ao máximo ganho de massa seca e número de folhas foram 126 e 114% do volume de T2 respectivamente. Batista et al. (2013) encontraram valores de massa fresca próximos dos encontrados neste trabalho, quando avaliada a eficiência do ASI em dois tipos de solo e dois níveis de tensão (3 e 9 kPa).

O modelo quadrático foi o único que demonstrou significância para o comportamento da EUA (Tabela 1). O volume que proporcionaria uma maior EUA (33 g L^{-1}) seria de 83% de T2. Esses valores de EUA estão próximos aos relatados por Thaner dos Santos et al, (2015) ($45,20 \text{ g L}^{-1}$) e aos encontrados por Alkhader et al. (2013) ($1,87 \text{ g mm}^{-1}$), ambos com alface em sistema de vasos.

O volume para a melhor produção de massa seca (126 % do volume de T2) é maior do que o volume para a melhor EUA (83% do volume de T2). Porém a umidade do solo para esses dois tratamentos tiveram diferença pouco expressiva (Figuras 9 e 10) o que demonstra que a aplicação de grande déficit hídrico torna-se desnecessário para se alcançar uma ótima eficiência no uso da água. Medici et al. (2014) afirmam que é possível economizar água na agricultura mantendo-se o solo sem grandes déficits de umidade e que pequenas reduções na disponibilidade de água proporcionam as maiores EUA. Boyle et al. (2016) reportaram maiores EUA em condições de irrigação sem déficit em *Pelagornium x hotorum*, e neste caso os autores constataram que o menor uso de água em função de fechamento estomático resultou em redução mais expressiva (aproximadamente 40%) em ganho de massa, fazendo com que a planta bem irrigada tivesse ao final uma EUA maior que as plantas com déficit controlado. Nesse trabalho o tratamento com a maior restrição hídrica provocou uma perda de aproximadamente 80% nos dados de massa fresca das alfaces colhidas após o término do experimento.

Através dos dados agronômicos apresentados pode-se considerar o sistema de vasoponia orgânica consistente e satisfatório, uma vez que os valores apresentados são semelhantes aos relatados na literatura, tanto para cultivo protegido (THANER DOS

SANTOS et al., 2015) e para as culturas de campo (GOMES et al. , 2014). Neste trabalho os valores de EUA estão próximo dos melhores valores observados por Gonçalves (2014) quando utilizava cultivo de campo na agricultura convencional. Contudo, a vasoponia orgânica, ainda por ser realizada em casa-de-vegetação, proporciona uma melhor utilização da água e nutrientes na produção de produtos hortícolas (FLAG et al., 2011).

Tabela 1: Características agrônômicas avaliadas: massa fresca; massa seca; diâmetro; número de folhas e eficiência no uso da água de alface sob diferentes porcentagens do volume aplicado pelo ASI.

Características agrônômicas avaliadas	Porcentagem do volume do ASI aplicada (Acionador Simplificado de Irrigação)				
	130 %	100 %	80 %	60 %	33 %
Massa fresca (g planta ⁻¹) y:7.5693+1.9522x (P<0,0001) r ² :0,9309	244.27	207.45	195.70	118.93	58.25
Massa seca (g planta ⁻¹) y:-4.1551+0.2784x-0.0011x ² (P<0,0109) r ² :0,9904	13.64	13.42	11.22	8.15	4.09
Diâmetro (cm) y: 25.46+0.1399x (P<0,0003) r ² :0,8415	42	39	41	33	29
Número de folhas (unidade) y:0.2412+0.591x-0.0026x ² (p<0,0013) r ² = 0,9816	34	34	33	25	17
Eficiência no uso da água (g L ⁻¹) y:13,933+0,3982x-0,0024x ² (P<0,0372) r ² :0,7184	24.76	27.59	32.83	27.59	24.63

3.5.4. Características Fisiológicas

3.5.4.1. Teor de Clorofila (Chl)

O conteúdo total de clorofila (Chl a + b) medida aos 15 DAT (Figura 14.A) mostrou uma diminuição linear conforme se aumentava o volume da água aplicada. Estes dados são consistentes com outros estudos que também mostram aumento do teor de clorofila com a seca (RAHIMI et al, 2013; WEIH et al, 2011), possivelmente o efeito da concentração devido ao menor crescimento observado nas folhas. Entretanto verifica-se na literatura casos opostos, que a seca afeta negativamente o teor de clorofila, como observado por Jaleel et al. (2009); Massacci et al. (2008); Kiani et al. (2008) e Tahkokorp et al. (2007), e nestes casos, a restrição hídrica é geralmente mais grave do que a imposta no presente estudo. Seca leve pode causar aumento no teor de clorofila por ter um crescimento foliar inferior, enquanto seca severa pode levar à degradação da clorofila.

Na Figura 14.B observa-se o teor de clorofila aos 30 DAT, e a partir desses dados demonstra-se o que foi mencionado anteriormente. Sob seca suave há um aumento no conteúdo de clorofila das plantas, representado na Figura 14.B pelos valores até o ponto máximo que foi de 88% de ASI, o que pode ser explicado por uma redução na área da folha. Seguindo o raciocínio acima, constata-se que, como a seca torna-se mais grave (inferior a 88% de ASI) o teor de clorofila começa a diminuir, supostamente por perda provocada por um déficit mais grave na disponibilidade de água. O fato deste evento acontecer apenas no final do ciclo de produção indica uma maior sensibilidade das plantas adultas à seca.

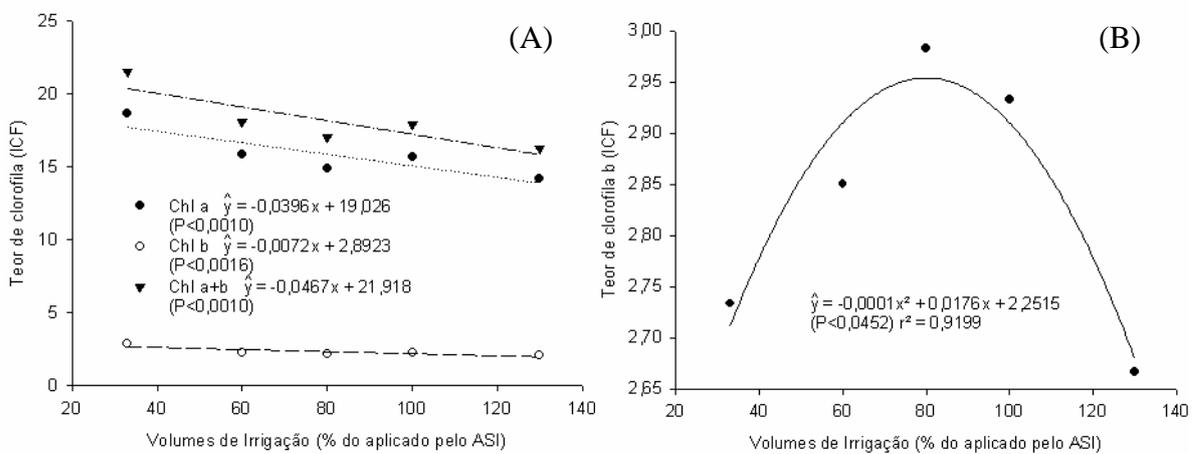


Figura 14: Teor de clorofila aos 15 (A) e 30 (B) dias após o transplantio.

3.5.4.2. Condutância Estomática (gs)

Aos 28 e 38 DAT a gs exibiu um comportamento linear de diminuição à medida que se reduzia os volumes de irrigação (Figuras 15. A e B). Os dias restantes serão discutidos posteriormente.

Os valores de gs diminuíram com a redução da quantidade de água aplicada e, conseqüentemente, quando foram atingidos valores menores de umidade de água no solo (mínimo atingido de $0,02 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$). Esta associação negativa entre gs e tensão de água no solo está de acordo com o trabalho apresentado por Kato et al. (2011). A redução da gs é uma importante limitação difusiva da fotossíntese, como relatado por Flexas et al. (2004) e isto explica, ao menos parcialmente, os valores mais baixos de massa seca encontrada nos tratamentos de menor irrigação.

A gs aos 28 DAT foi inferior a 38 DAT para todos os tratamentos. Isso pode ser devido aos maiores valores de DPV (aproximadamente 4,6 kPa) no último dia avaliado, o que estaria de acordo com o relatado por Klen et al. (2013) e tem sido bem documentado na literatura (HSIE et al., 2015).

Os valores de g_s , registradas neste estudo foram próximos aos encontrados para a alface por Kim et al. (2004). A Figura 15.A apresenta a diminuição na g_s de 12h para a de 15h, enquanto houve uma pequena redução no DPV e uma forte queda na radiação global. Dias et al. (2013) encontraram o mesmo comportamento g_s das 12h às 15h para mudas de mamão.

A g_s aos 31 e 32 DAT não sofreu efeito com a presente seca, a abertura estomática se manteve a mesma para plantas com tratamento de estresse como para as irrigadas sem restrição hídrica. Como é de conhecimento, o crescimento de plantas, fotossíntese e a abertura estomática podem ser limitados sob déficit hídrico, devido regulação por sinais físicos e químicos (XU et al., 2010). No entanto, a recuperação de plantas, após um episódio de seca, seguido de irrigação tem sido verificado em muitos trabalhos (XU et al, 2010; GALLÉ, 2007; LLORET, 2004). O manejo da irrigação utilizado neste trabalho pelo ASI, instalado nos vasos com gotejadores de 8 L h^{-1} , permitiu que a irrigação fosse controlada pelas necessidades hídricas das plantas dessas parcelas, o que inicialmente causou um déficit em plantas que recebiam menor quantidade de água, prejudicando o seu crescimento. Assim, as plantas menores continuaram a receber a irrigação de acordo com as necessidades das plantas maiores, permitindo o seu crescimento, e posteriormente levando-as de volta ao o cenário de déficit de água, como num comportamento cíclico. A g_s em 31 e 32 DAT pode indicar essa recuperação das plantas de alface após episódio seca seguido por uma maior disponibilidade de água.

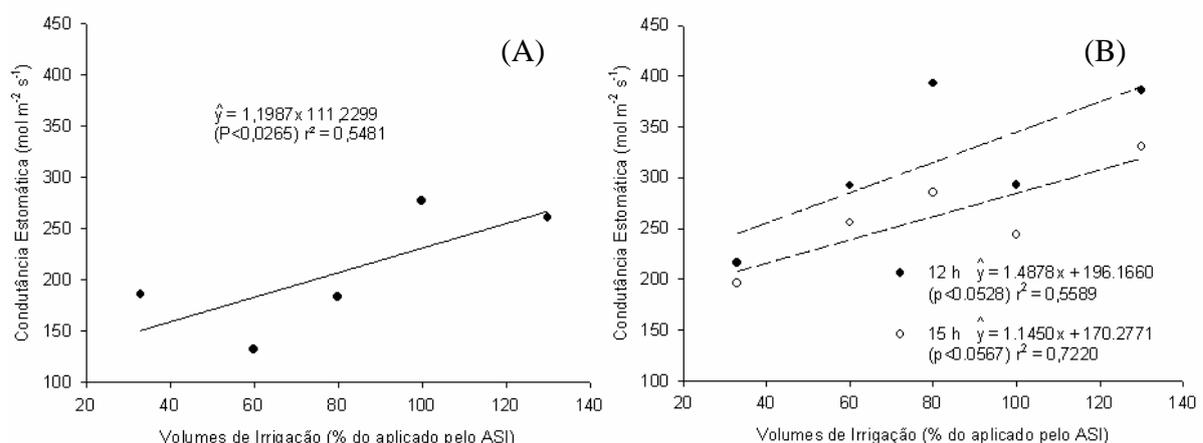


Figura 15: Condutância estomática média de plantas de alface aos 28 dias após o transplântio medida às 12 h (A) e aos 38 dias após o transplântio medida às 12 e 15 h (B).

3.5.4.3. Conteúdo Relativo de Água nas Folhas

Os dados de CRA não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos. O valor médio do CRA foi de 83%.

Neste estudo, a conservação da água nas folhas pode ter sido em parte justificado pelo fechamento dos estômatos. Gonzáles et al. (2012) relataram a manutenção de CRA associado à redução g_s e também ajuste osmótico em *Nicotian Glauca*. No presente estudo, o fato de não haver diferenças significativas para os dados de CRA também poderia ser devido ao ajustamento osmótico, o que foi relatado para a alface por Lucini et al. (2015).

3.5.4.4. Fluorescência da Clorofila

Não se observou para qualquer um dos tratamentos e em todos os dias avaliados, qualquer efeito sobre o rendimento quântico fotoquímico máximo preliminar do PSII ($\phi_{Po} = F_V / F_M$), o que demonstra que mesmo para os tratamentos de maior restrição não considera-se como uma seca severa. Martinazzo et al. (2013) afirmam que esse parâmetro não é um indicador efetivo para situações de estresse causadas por restrições hídricas e, Nar et al. (2009) mostram que a manutenção na relação F_V/F_M depois do estresse aplicado revelaram que o rendimento quântico máximo fotoquímico permaneceu elevado em situação de seca, indicando que a cadeia de transporte de elétrons foi resistente à desidratação. Da mesma maneira, Oukarroum et al. (2007) observaram uma situação de ligeira diminuição do rendimento quântico durante a seca moderada para algumas das variedades de *Hordeum vulgare* L. testadas, porém para uma seca severa foi observada redução para todas as variedades analisadas.

Aos 15 DAT a restrição hídrica afetou a recepção de elétrons pelo centro de reação do FSI (Reo/RC) (Figura 16.B), fato que se repetiu para volumes acima de 100% do ASI, porém o maior valor registrado foi para o volume de 100% do ASI. Foram observadas ainda, redução linear no número total de elétrons transferidos para a cadeia de transporte de elétrons (N) (Figura 16.A), nos menores volumes aplicados, sem prejuízos para o rendimento máximo da fotoquímica preliminar do PSII ($\phi_{Po} = F_V / F_M$).

Aos 31 e 32 DAT os dados avaliados pela manhã e a tarde, respectivamente, demonstram variação na área total normalizada acima da curva OJIP (Sm) (Figura 17.A) o que reflete múltiplos eventos de redução de Q_A^- e variação semelhante também foi observada para número total de elétrons transferidos para a cadeia de transporte de elétrons (N) (Figura 17.B). O rendimento quântico de transporte de elétrons de Q_A^- para o acceptor final de elétrons do

fotossistema I (FSI - ϕ_{R0}) (Figura 17.C) apresentou redução linear a medida que se aumentou o volume de água aplicado. Martinazzo et al. (2013), trabalhando com plantas de ameixeira também encontrou redução dessa variável com o déficit hídrico.

O comportamento dos parâmetros de fluorescência (S_m , N , ϕ_{R0} e $PSIo$) ocorrido aos 31 e 32 DAT (Figura 17) sugere uma compensação das plantas submetidas aos efeitos da seca comparados aos ocorridos aos 15 DAT (XU et al., 2010). Plantas submetidas à deficiência hídrica, imposta pela aplicação de frações menores do volume de água aplicado pelo ASI apresentaram características de fluorescência superiores às das plantas irrigadas de 100% do volume irrigado pelo ASI (plantas controle) ou mais.

Xu et al. (2010) demonstram que plantas submetidas ao déficit hídrico, após hidratação, a recuperação do seu crescimento, fotossíntese e abertura estomática dependem da intensidade e duração da seca, assim como da espécie considerada, podendo até mesmo superar as plantas controle. Os autores relataram a ocorrência de recuperação total tanto para fotossíntese como para gs, sendo a gs maior em comparação à planta controle após reidratação em plantas tratadas com seca, indicando compensação total das trocas gasosas.

Os dados encontrados no presente trabalho mostram que a biomassa final e o diâmetro das plantas de alface submetidas ao estresse hídrico, não atingiram o nível dos tratamentos controle (Tabela 1). Desta forma foram encontrados efeitos da seca na abertura estomática, das plantas submetidas às menores frações de volume (Figura 15), o que poderia explicar o menor crescimento nessas parcelas, visto que a redução nas trocas gasosas prejudicaria diretamente a fotossíntese e por consequência a produção vegetal.

A aplicação das menores frações de volume limitou o crescimento das parcelas com déficit hídrico, o que não ocorreu nas plantas que receberam frações iguais ou maiores a 100% do volume do ASI. Uma vez o ASI instalado em vasos com plantas com máximo crescimento (de maior demanda evapotranspirométrica), a água passou a não ser mais um fator limitante ao desenvolvimento das plantas menores.

Assim, a irrigação de alta frequência poderia ter permitido que plantas submetidas à seca imposta pela fracionamento dos volumes do ASI, alcançassem conseqüentemente um conforto hídrico, podendo aumentar as suas atividades fisiológicas, superando àquelas mantidas sob o nível de irrigação do ASI (100%). Porém ao aumentarem suas atividades fisiológicas essas plantas poderiam, por hipótese, retornar ao estado de déficit hídrico, e novamente reduzir processos fisiológicos, e como em um comportamento cíclico todo o processo se repetiria. Contudo, para confirmar esta hipótese deveriam ser monitorados mais

eventos de gs além de uma análise da área foliar, o que não foi contemplado neste estudo e que deve ser investigado em futuras pesquisas.

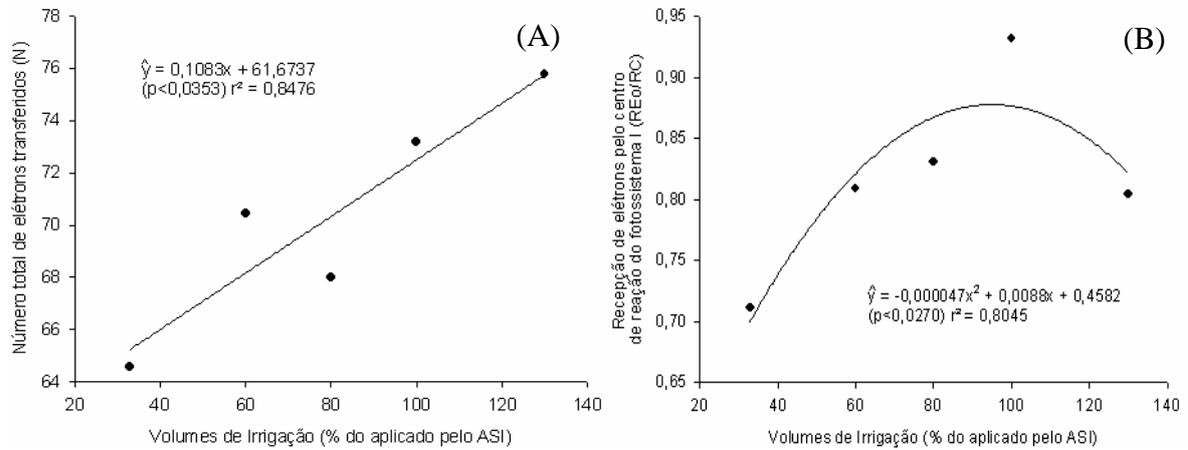


Figura 16: Recepção de elétrons pelo centro de reação do FSI (A); Número total de elétrons transferidos para a cadeia de transporte de elétrons (B) ambos aos 15 dias após o transplântio pela manhã.

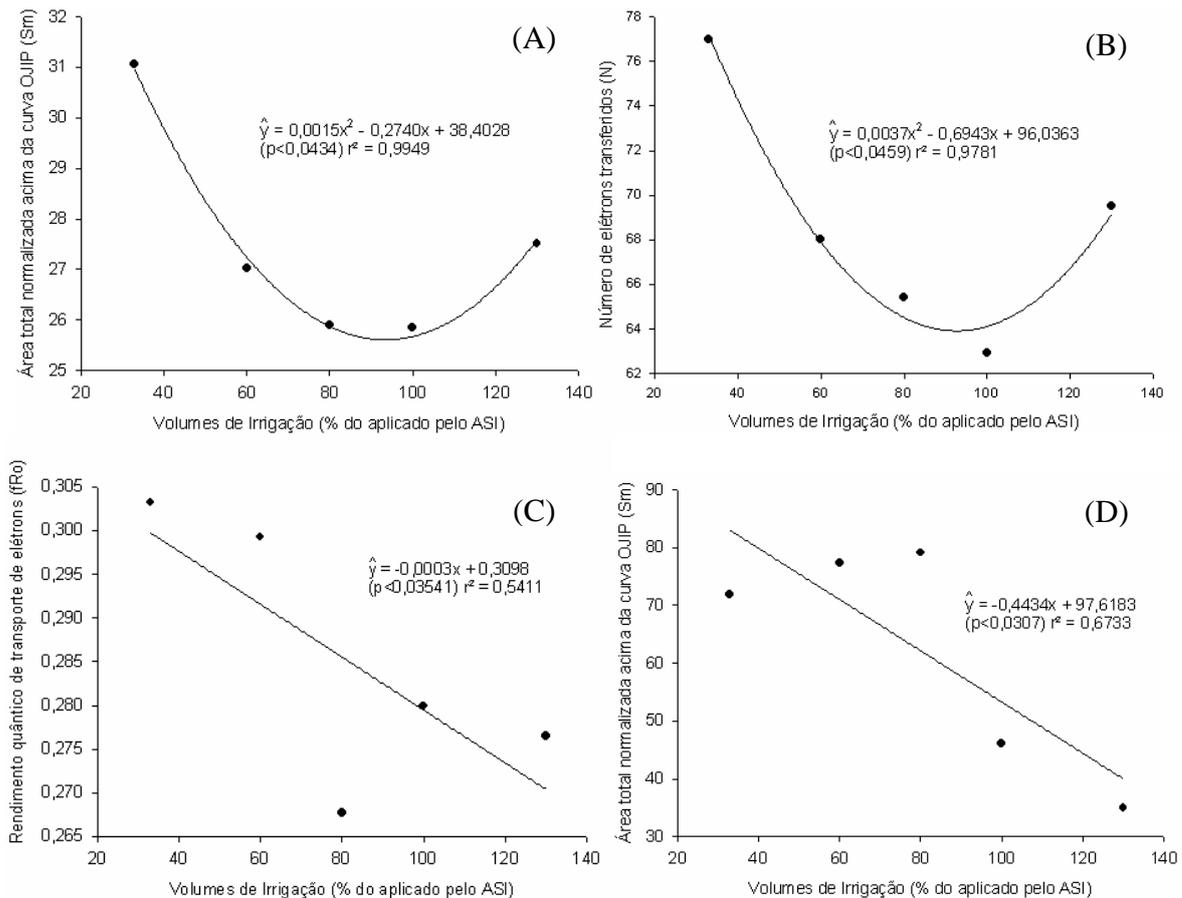


Figura 17: Área total normalizada acima da curva OJIP (A), número total de elétrons transferidos para a cadeia de transporte de elétrons (B) e o rendimento quântico de transporte de elétrons de Q_A^- para o acceptor final de elétrons do FSI (C) aos 31 DAT pela manhã, e área total normalizada acima da curva OJIP aos 32 DAT à tarde (D)

3.6. CONCLUSÕES

Plantas de alface *cv Regina* indicaram o maior ganho de massa seca para o volume de 126 % do ASI instalado para uma tensão de 6 kPa no solo, enquanto que a EUA apresentou máxima produção por unidade de água aplicada para o volume de 83 % do ASI. Desta forma, indica-se o volume de 80 % do volume do ASI para a produção de alfaces com qualidade e especificações comerciais e com maior economia de água.

O CRA na planta foi semelhante em tratamentos com e sem restrições hídricas e as plantas de alface utilizaram o fechamento estomático para redução de perdas d'água.

O efeito de seca imposto no presente trabalho causou redução de aproximadamente 70% na produção das plantas de alface e apesar disto não foram observados danos importantes na fotossíntese e no status hídrico das plantas.

4. CAPÍTULO II

IRRIGAÇÃO COM AUTOMAÇÃO DE BAIXO CUSTO NA PRODUÇÃO DE MUDAS DE ALFACE

4.1. RESUMO

A irrigação na produção de mudas tende a ser realizada de forma excessiva, fazendo com que nessa etapa de produção, que é uma das mais importantes para o cultivo de hortaliças, haja um elevado desperdício de água. Este trabalho foi desenvolvido com o objetivo de avaliar a utilização do Acionador Simplificado de Irrigação (ASI) na produção de mudas de alface (*Lactuca Sativa cv Regina*) visando economia de água e uma produção satisfatória economicamente. Dessa forma, foi realizado um experimento em casa-de-vegetação onde foram testadas quatro tensões de acionamento do ASI (11,5; 9; 6,5 e 4 kPa) instalado em bandejas de isopor de 200 células, completas as parcelas úteis por substrato orgânico comercial. Avaliaram-se características fisiológicas e de produção como: massas fresca e seca da parte aérea (MFPA e MSPA), altura (H), número de folhas (NF), comprimento de folhas (CF), área foliar (AF), eficiência no uso da água (EUA) e Teor de clorofila (Chl). Os resultados foram analisados pela análise de variância seguida pelo teste de regressão a 5 % de significância. A tensão de 11,5 kPa causou a morte de 94 % das mudas desse tratamento, sendo-o desconsiderado na análise estatística. A utilização do ASI evitou que ocorresse drenagem nas bandejas, eliminando perdas por lixiviação. MFPA, MSPA, H, NF, CF e AF apresentaram correlação negativa com as tensões e o tratamento de 4 kPa demonstrou resultados até 50% superiores em relação ao tratamento de 6,5 kPa. Resultado semelhante foi encontrado para EUA, que apresentou uma produção média de 1,86 g L⁻¹, podendo ser produzida uma muda com 38,3 mL de água aplicada ao longo do ciclo de produção. Os dados de Chl apresentaram correlação positiva com as tensões e isto está associado às menores AF nos tratamentos de maior tensão de acionamento. Recomenda-se para a produção de mudas de alface a utilização do ASI instalado na tensão de 4 kPa.

Palavras-chave: Tensão de Água no Substrato, Eficiência no uso da água, Acionador Simplificado de Irrigação.

4.2. ABSTRACT

The irrigation in seedling production tends to be performed excessively, making this production step, which is one of the most important for the cultivation of vegetables, there is a high water wastage. This work was to evaluate the use of Simplified Irrigation Controller (SIC) in the production of lettuce seedlings (*Lactuca sativa* cv. Regina) aimed at saving water and a satisfactory production economically. Thus, an experiment was conducted in a greenhouse where it were tested four tensions of SIC (11.5, 9.0, 6.5 and 4.0 kPa) installed in polystyrene trays of 200 cells, complete the relevant portions by commercial organic substrate. Was evaluated physiological and production characteristics as fresh and dry weight (FW and DW), height (H), number of leaves (NL), leaf length (LL), leaf area (LA), water use efficiency (WUE) and content of chlorophyll (Chl). The results were analyzed by analysis of variance followed by regression test at 5% significance level. The tension of 11.5 kPa caused the death of 94% of the seedlings of this treatment, which is disregarded for statistical analysis. Using the SIC prevented occur drainage trays, eliminating waste by leaching. WF, DW, H, NL, LL and LA had a negative correlation with tensions and treatment of 4 kPa results showed up to 50% better compared to the next treatment. Similar results were found for the WUE, which showed an average efficiency of 1.86 g L^{-1} , which can be produced a change with 38.3 mL of water applied along the production cycle. The Chl data presented positive correlation with tensions and this is associated with lower LA in higher stress treatments. It is recommended for the production of lettuce seedlings using SIC installed in tension of 4 kPa.

Keywords: Substrate Water Tension, Water Use Efficiency, Simplified Irrigation Controller.

4.3. INTRODUÇÃO

A produção de mudas de alface de qualidade é uma das principais etapas do processo produtivo dessa hortaliça, seja pelo ponto de vista nutricional ou pelo tempo inerente a produção, que permitirá haver mais ou menos ciclos de produção durante o ano (FILGUEIRA, 2003). A produção de mudas de alface é altamente dependente da utilização correta de insumos de produção, como água e nutrientes.

Segundo Freitas et al. (2013) o substrato é um dos insumos que tem se destacando, por sua utilização na produção de mudas, e no Brasil essa atividade utiliza um expressivo volume de substrato. A utilização de bandejas na produção de mudas torna o uso do espaço físico eficiente no interior da casa de vegetação, produz mudas com boa qualidade e alto índice de pegamento depois de transplantadas, além de reduzir os tratamentos fitossanitários (OLIVEIRA et al, 1993). Cañizares et al. (2002) ainda mencionam a uniformidade das mudas e a economia de água como benefícios da produção em bandejas, além de ter observado menores danos as raízes no momento do transplante. No entanto, atualmente a irrigação de mudas é realizada sem qualquer referência no tocante ao manejo da irrigação, visto que parte majoritária dos produtores não realizam o monitoramento da umidade do substrato inviabilizando um uso da água eficiente nesses sistemas. Contudo, avanços tem sido observados como o estudado por Dias et al. (2013), em que utilizaram automação com sensor de disponibilidade hídrica do substrato na produção de mudas de mamão, fazendo menção ao conceito de eficiência no uso da água (EUA) na produção de mudas.

Desta forma, a utilização do acionador simplificado de irrigação (ASI) de baixo custo associado à produção de mudas em bandejas utilizando substrato orgânico em sistema de cultivo protegido poderia aumentar a eficiência da utilização dos insumos água e nutrientes, além de conceder maior flexibilidade ao agricultor em relação a sua ausência na propriedade em período de cultivo.

O presente trabalho teve por objetivo avaliar o desenvolvimento de mudas de alface cv *Regina*, produzidas em bandejas de isopor de 200 células, em casa de vegetação, utilizando substrato orgânico comercial, sob quatro níveis de irrigação acionados pelo ASI.

4.4. MATERIAL E MÉTODOS

No ano de 2015 foi conduzido um experimento, montado em casa de vegetação. Nesse experimento avaliou-se a viabilidade da utilização do ASI para a produção de mudas de alface, realizadas em bandejas de isopor, utilizando um sistema de microaspersão para a aplicação das lâminas de irrigação, em sistema orgânico de produção. O experimento foi iniciado em 4 de agosto e finalizado em 1 de setembro, tendo uma duração de 28 dias.

4.4.1. Caracterização da Área Experimental

O experimento foi conduzido em bancada (aproximadamente 0,50 m de altura) em uma casa de vegetação, localizada no setor de Horticultura do Instituto de Agronomia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), no município de Seropédica – RJ, Brasil (latitude 22°48'00"S longitude 43°41'00"W e altitude de 33 m).

Segundo Carvalho et al. (2006), o clima da região é classificado com Aw pela a classificação de Köppen, com chuvas, temperaturas elevadas no verão e um inverno seco com temperaturas amenas. As chuvas ocorrem de novembro a março, com precipitação média anual de 1213 mm e temperatura anual média de 24,5 °C.

A casa de vegetação é construída em madeira serrada, (estufa de baixo custo/ modelo Pesagro-Rio), envolta por completo com sombrite e sua cobertura superior é feita com plástico agrícola de 100 micra (LEAL et al., 2006). As dimensões da estufa são de 35 m de comprimento e 8 m de largura, totalizando uma área útil de 280 m² (Figura 18).



Figura 18: Casa de vegetação localizada no setor de horticultura da UFRRJ.

4.4.2. Sementes da Alface

Foram utilizadas sementes de alface *cv Regina* (Super seed/ Agristar – São Paulo/ SP), com 85% de germinação e 99,9% de pureza. A semeadura foi realizada em bandejas de isopor

de 200 células preenchidas com substrato orgânico para plantas do fabricante Carolina Padrão.

Foram utilizadas apenas as 35 células centrais de cada bandeja. Em cada célula foram colocadas, na mesma cova, quatro sementes de alface à uma profundidade de aproximadamente 1 mm. Após a completa germinação, que ocorreu até o quinto dia após a semeadura (DAS), foi realizado no mesmo dia (5 DAS) o desbaste das mudas sobressalentes, ficando apenas uma plântula em cada célula.

4.4.3. Substrato

O substrato utilizado no experimento é um orgânico, fabricado pela Carolina Padrão (Carolina Soil do Brasil – Santa Cruz do Sul/RS), constituído por turfa de Sphagno, vermiculita expandida, calcário dolomítico, gesso agrícola e fertilizante NPK (traços). Cada uma das 35 células foi totalmente preenchida pelo substrato.

4.4.4. Sistema Hidráulico

O sistema de irrigação utilizado no experimento foi o de microaspersão, com mangueiras de 16 mm de diâmetro interno e um microaspersor Rain Bird XS-90 (Rain Bird – Uberlândia/ MG) cuja vazão varia de 0 a 120 L h⁻¹, para cada bandeja. Os microaspersores foram instalados a 0,75 m de distância do início da bandeja, que era mantida em cima da bancada na posição longitudinal.

A irrigação foi realizada utilizando uma bomba de 0,5 cv, que captava água de um reservatório de 1000 L, instalado em uma estrutura de alvenaria com 1 m de altura em relação à superfície do solo (Figura 19). Para o acionamento automático da bomba foi instalado um fluxostato na saída de água da bomba. Esse dispositivo aciona a bomba sempre que há um fluxo de água na tubulação e quando esse fluxo cessa o dispositivo a desliga.

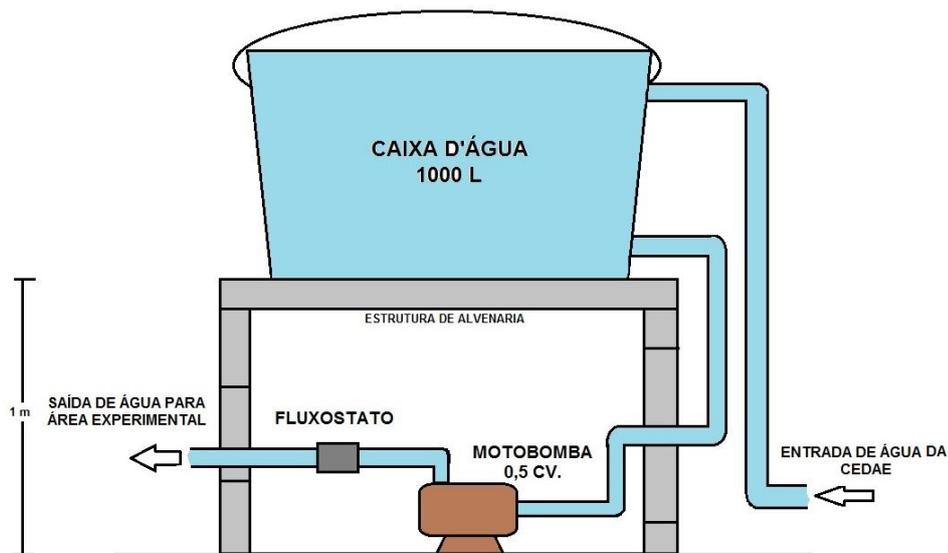


Figura 19: Esquema de instalação reservatório-bomba-fluxostato-experimento.

4.4.5. Sistema de Automação da Irrigação

Para a utilização do ASI, foi necessária uma adaptação do tamanho no sensor que vinha sendo utilizado em outros experimentos. Normalmente, os sensores são velas de filtro comercial, com dimensões de 10 cm de comprimento e 5,5 cm de diâmetro (Figura 20.A). Visando a instalação desse sensor na célula da bandeja de isopor a qual tem formato piramidal e dimensões de 2,8 cm de largura superior da e 5,3 cm de altura das células, foi confeccionado a partir do material da vela comercial, sensores menores, com as seguintes dimensões: 3 cm de comprimento e 1 cm de diâmetro superior (Figura 20.B). Sendo assim, cortou-se a vela de filtro nas dimensões mencionadas e fez-se um furo na parte central superior, mantendo a configuração original. Depois disso com o auxílio de uma lixa, aparou-se as extremidades, deixando o sensor em formato cônico. O processo de lixamento dos sensores permitiu um aumento da superfície específica d interação dos poros do sensor e do substrato, o que proporcionou um tempo de desligamento de 5 s, que é menor em comparação ao sensor convencional utilizado por Dias et al. (2013) cujo tempo de desligamento era de 27 s. O teste de desligamento consistiu em colocar o ASI com o pressostato a um desnível de 30 cm em relação à vela. Em seguida inseriu-se o sensor em um recipiente com água, para que o vácuo existente succionasse a água para dentro do sistema vela-pressostato, e verificava-se em quanto tempo o sistema era desligado, ou seja, em quanto tempo a tensão no sistema vela-pressostato é anulada.



Figura 20: Vela comercial, utilizada convencionalmente como sensor no Acionado Simplificado de Irrigação (A); Sensor produzido a partir da vela comercial (B).

O funcionamento do ASI com o sensor redimensionado é o mesmo descrito por Medici et al. (2010) e é apresentado na Figura 21.

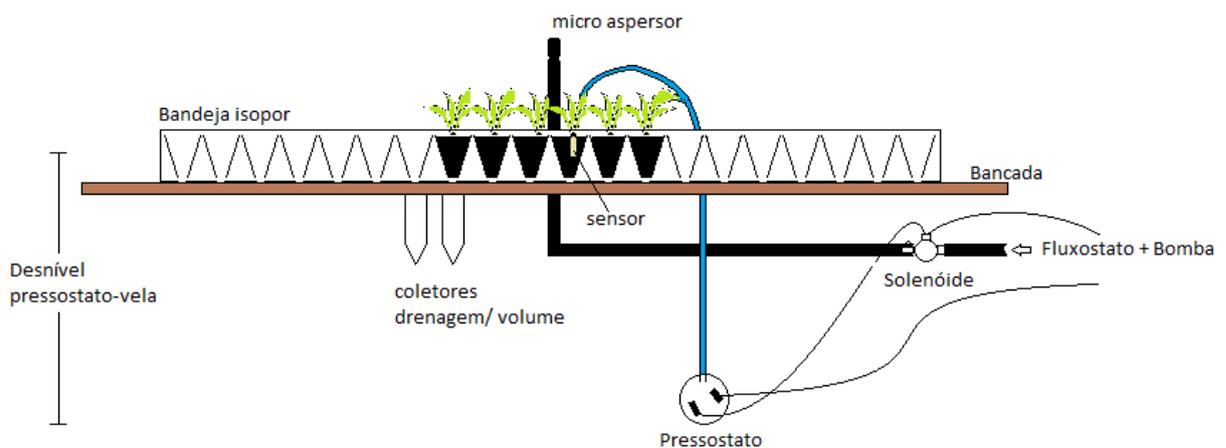


Figura 21: Acionador simplificado de irrigação com o sensor para bandeja de produção de mudas.

A água de irrigação que chega ao substrato umedece o sistema radicular da planta e atinge a cápsula, proporcionando um alívio na tensão, estabelecendo uma pressão positiva no pressostato, que cortará a corrente elétrica da válvula solenóide, interrompendo a irrigação. Assim, o próprio potencial da água no substrato comanda o processo de fornecimento de água às plantas.

Foi instalado um acionador em cada uma das quatro parcelas do primeiro bloco experimental (Figura 22) que será descrito no item posterior. Cada acionador comandava a irrigação nos seis blocos correspondentes, sendo adotado o desnível de cada tratamento

avaliado em cada parcela. Desta forma, as irrigações eram acionadas por tratamento à medida que a parcela específica do bloco 1 acionasse o sistema. Utilizou-se ainda o sistema de hierarquia, ou seja, quando um tratamento ligava os outros deveriam esperar caso o acionador ligasse simultaneamente.



Figura 22: Detalhe da instalação do acionador em um tratamento do primeiro bloco.

4.4.6. Delineamento Experimental

O delineamento experimental foi o de casualização em blocos, sendo 6 blocos e 4 tratamentos, totalizando 24 parcelas experimentais. Cada parcela era representada por uma bandeja com 35 mudas de alface. Dessas 35 mudas apenas as 16 que estavam na parte central da bandeja foram consideradas como parcela útil, sendo assim, a parcela útil consistia 4x4

Em cada parcela do primeiro bloco havia um ASI, instalado com diferentes desníveis entre vela e o pressostato, dessa maneira, cada tratamento era acionado quando o potencial matricial de água no solo alcançasse a tensão estabelecida pelo desnível correspondente. Os demais blocos recebiam a mesma quantidade de água pelo mesmo tempo para tratamento semelhante, a medida que fosse acionada a irrigação nas parcelas do primeiro bloco.

Os tratamentos foram caracterizados pelos seguintes desníveis do pressostato com a vela e sua respectiva tensão de água no substrato: 1 – desnível de 0,40 m (4 kPa); 2 – desnível de 0,65 m (6,5 kPa); 3 – desnível de 0,90 m (9 kPa); e 4 – desnível de 1,15 m (11,5 kPa). Para manter a uniformidade na aplicação da água no momento que fosse ligada a irrigação, os pressostatos foram instalados seguindo uma hierarquia entre eles, sendo assim, as parcelas sob 4 kPa apenas receberiam a irrigação, caso as sob 6,5 kPa não estivessem recebendo a irrigação também, e assim seguiu para as parcelas sob 11,5 e 9 kPa. Dessa forma, a pressão de serviço

dos microaspersores mantinha-se constante, garantindo a vazão e a uniformidade de aplicação adequada.

Foram utilizadas 24 bandejas de isopor de 200 células no total, dispostas em fileira sobre uma bancada de aproximadamente 0,50 m de altura. Em cada bloco havia quatro bandejas com 35 células preenchidas com substrato orgânico e quatro sementes de alface por cova. Com isso o experimento teve uma linha de plantio, e os blocos eram dispostos um ao lado do outro. Abaixo, na Figura 23 é apresentado o croqui da área experimental.

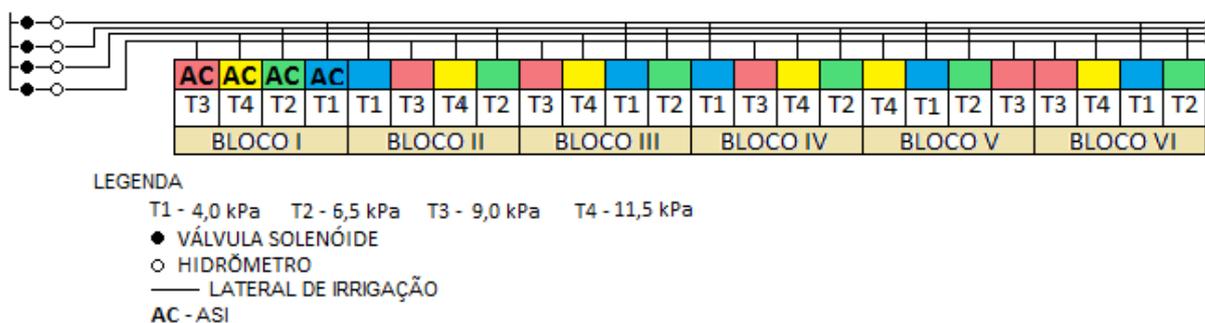


Figura 23: Croqui da área experimental.

4.4.7. Determinação do Volume Aplicado em cada Parcela Experimental.

Abaixo de cada parcela experimental foram colocados dois tubos cônicos tipo falcon 50 mL (Smedica – Marsala/ TP) (Figura 24), que serviram como coletores para a lâmina aplicada pela irrigação. Desses dois coletores instalados, um estava abaixo de uma célula, dentro da parcela útil, contendo substrato e uma muda de alface (coletor 01), o outro estava abaixo de uma célula vazia localizada na bordadura (coletor 02).

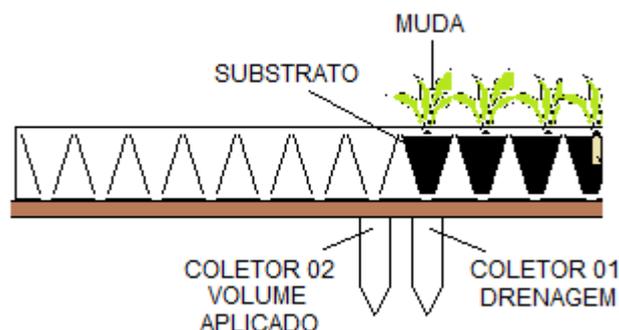


Figura 24: Detalhe da posição dos coletores 01 e 02 em uma parcela experimental.

O volume de água interceptado pelos coletores era conferido todos os dias, sempre pela manhã, à medida que eram registradas a ocorrência de irrigação pela leitura dos hidrômetros instalados na entrada da área experimental. Cada coletor indicava a ocorrência de

um tipo de volume, o coletor 01 armazenava, caso ocorresse, o volume drenado pela aplicação da irrigação e o coletor 02 armazenava o volume da lâmina de irrigação aplicada para a célula equivalente. De posse dos volumes registrados pelo coletor 02 era possível fazer uma estimativa do volume aplicado para cada célula da parcela útil e, conseqüentemente, o volume aplicado em cada parcela experimental fazendo-se o somatório desses valores.

4.4.8. Manejo da Irrigação Durante a Germinação

Nos primeiros 5 DAS, período em que ocorreu a germinação das sementes, a irrigação manual, e automática foram mantidas, concomitantemente, com o objetivo de uniformizar a germinação. A irrigação manual foi realizada uma vez, sempre no fim da tarde. As parcelas recebiam irrigação até que todas apresentassem drenagem, desta forma certificava-se que todas as parcelas recebessem água até deixar a tensão de água no substrato próxima a nulo.

Durante esse período os acionadores permaneceram instalados e ligados à rede elétrica nas primeiras parcelas experimentais, porém todos foram ajustados para manter a tensão de água no substrato próxima a 3 kPa.

4.4.9. Índice de Velocidade de Emergência e Porcentagem de Germinação

Foi verificada diariamente, pela manhã, a quantidade de plântulas germinadas em cada célula de cada bandeja. De posse desses valores foi calculado o índice de velocidade de emergência (IVE) para cada tratamento, de acordo com a equação 6.

$$(6) \quad IVE = \sum \frac{N^{\circ} \text{ de plântulas observadas}}{\text{dia da observação}}$$

Também calculou-se, diariamente as porcentagens de germinação (%G), de acordo com a quantidade de sementes colocadas no dia do plantio e as que já haviam germinado até o dia da observação. Desta forma, pôde-se determinar o fim da germinação quando a %G foi acima de 95% para todas as bandejas.

4.4.10. Teste de Uniformidade da Aplicação da Água de Irrigação

Após a montagem da área experimental e anterior ao início do experimento foi realizado um teste de uniformidade da aplicação da água pelos microaspersores. Segundo Rocha et al. (1999) após a implantação da irrigação por aspersão, o sistema deve ser avaliado com o objetivo de verificar se o desempenho está conforme foi pré-estabelecido possibilitando ajustes, caso se faça necessário, para melhorar a sua performance.

Frizzone (2005) afirma que a uniformidade está associada à variação da lâmina de irrigação na região de molhamento. Nesse experimento a região de molhamento que deve receber a mesma quantidade de água simultaneamente, com o menor índice de variação possível, é o somatório das áreas das parcelas úteis de cada uma das seis bandejas dentro de um determinado tratamento. Sendo assim, inicialmente foram dispostas quatro tampas de tubo falcon sobre as 16 células centrais da bandeja (parcela útil), essas tampas coletavam a água de irrigação dos microaspersores (Figura 25). Após o decorrer de um tempo de sete minutos marcados em um cronômetro, era realizada a leitura dos volumes dos quatro coletores de cada bandeja e comparados uns com os outros. Para este teste estipulou-se uma variação de no máximo 10% entre os valores dentro de cada tratamento.

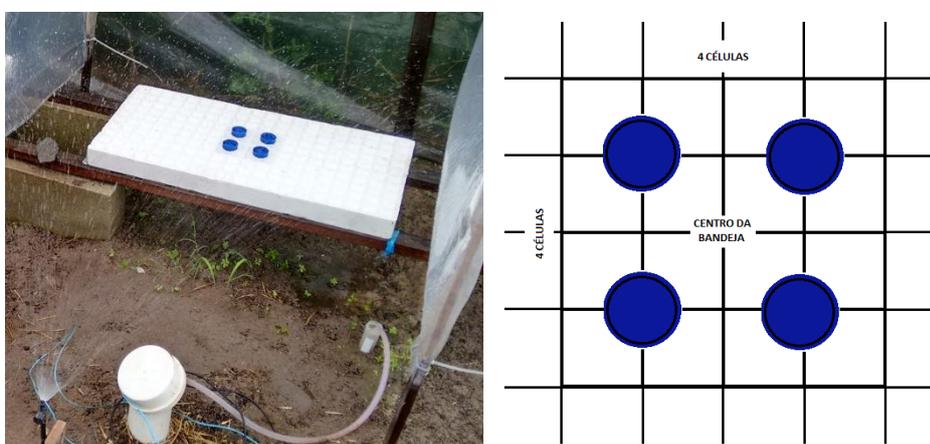


Figura 25: Coletores instalados sobre bandeja de produção de mudas para realização do teste de uniformidade.

Seguida a adequação da aplicação de volumes próximos para as bandejas de cada tratamento em cada bloco procedeu-se o teste de uniformidade baseado no descrito por Christiansen (1942). Para tanto foram utilizados os mesmos coletores usados no teste anterior, porém dessa vez adicionou-se mais quatro coletores nas extremidades da área da parcela útil (Figura 26), sendo que o volume coletado por estes coletores tinha o objetivo de determinar o melhor local de instalação do coletor de volume de água aplicada durante o experimento. Além disto, o segundo teste foi executado por um tempo de 20 min para cada tratamento, sendo analisado os volumes dos quatro coletores separados.

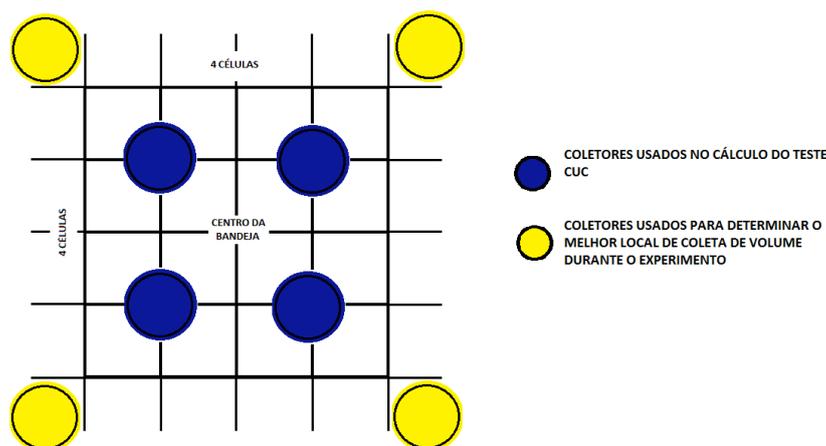


Figura 26: Coletores instalados sobre bandeja de produção de mudas para realização do segundo teste de uniformidade.

Com os dados coletados foram calculados os coeficientes de uniformidade de Christiansen (CUC) empregando-se a equação 7. Os valores foram interpretados baseando-se na metodologia mostrada por Mantovani (2001) e é apresentada na Tabela 2.

$$(7) \quad CUC = 100 \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^N |L_i - L_m|}{N L_m} \right)$$

em que: 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.

Tabela 2: 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 dos coeficientes de uniformidade do sistema avaliado estão apresentados na Tabela 33. Silva et. al. (2005) mencionam que segundo Zocoler (2005) os valores de CUC abaixo de 90% para sistemas localizados, só devem ser admitidos se a precipitação pluvial possuir um valor significativo durante o cultivo e, além disso, que culturas com sistema radicular mais superficial, como algumas hortaliças, necessitam de valores de CUC mais altos

do que para culturas de sistema radicular profundo. Assim, todos os valores apresentados na Tabela 3 estão acima de 92 % e correspondem a uma classificação excelente, conforme a Tabela 2 e atendendo os critérios já mencionados.

Tabela 3: Coeficiente de Uniformidade de Christiansen obtidos em cada parcela experimental na avaliação da uniformidade de aplicação.

Bandeja	Valores do CUC (%)			
	4 kPa	6,5 kPa	9 kPa	11,5 kPa
B1	95,45	97,14	95,61	92,16
B2	97,39	96,19	97,03	97,06
B3	94,64	97,27	98,00	98,02
B4	92,86	95,45	96,41	94,60
B5	96,55	96,94	95,63	97,49
B6	95,27	94,29	98,91	93,90
MÉDIA	95,36	96,21	96,93	95,54

4.4.11. Coleta de Dados Climáticos

Dados climáticos, como temperatura e umidade, eram registrados ainda por um Termohigrômetro Datalogger IP-747RH Temperatura e Umidade USB (Impac), instalado na casa de vegetação onde foi conduzido o experimento.

4.4.12. Variáveis de produção avaliadas

Foram avaliadas características referentes ao desenvolvimento da cultura assim como de produtividade e a quantidade de água empregada no cultivo.

As variáveis avaliadas foram as seguintes: Massa Fresca da Parte aérea (MFPA), Massa Seca da parte Aérea (MSPA), Área Foliar (AF), Comprimento Foliar (CF), Altura (H) e Número de folhas (NF). Os dados de CF e AF foram obtidos em duas mudas por bandeja, com exceção das bandejas do tratamento de 11,5 kPa com apenas uma muda por bandeja, aos 15 DAS. Todas as demais variáveis foram analisadas para as mudas da parcela experimental que permaneceram até o final do experimento.

4.4.13. Variáveis fisiológicas avaliadas

4.4.13.1. Teor de clorofila (Chl)

O Conteúdo de Clorofila (Chl) foi monitorado aos 28 DAS, no final do experimento. Para a leitura do Chl utilizou-se um medidor eletrônico de teor de clorofila ClorofiLOG CFL1030 FALKER (unidade de IFC) e as leituras eram procedidas nas folhas mais expandidas, em todas as plantas da parcela útil que permaneceram até o final do experimento.

4.4.14. Eficiência no Uso da Água (EUA)

De posse dos dados de MSPA e volume de água aplicado, pôde-se calcular a EUA pela razão entre o primeiro e o segundo parâmetro mencionado.

4.4.15. Análises estatísticas

Todos os dados foram submetidos à regressão dentro do teste de variância (ANOVA), pelo programa estatístico Sisvar.

4.5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.5.1. Regime de Irrigação em função da tensão de acionamento do ASI

A instalação do ASI com diferentes desníveis entre a vela e o pressostato proporcionou diferentes regimes de irrigação entre os tratamentos (Figura 27). Para a tensão de 4 kPa foram observadas irrigações quase que diariamente, na tensão de 6,5 kPa as irrigações aconteciam em média a cada dois dias, na tensão 9 kPa se passavam em média três dias sem irrigações e para a tensão 11,5 houve um período de cinco dias sem irrigação, resultando em apenas quatro episódios de irrigação, pelo ASI, para este tratamento durante todo o período de experimentação.

É importante salientar que a primeira irrigação promovida pelo ASI aconteceu aos 10 DAS, para 4 kPa, e partir desta data todas as irrigações para todos os tratamentos foram automáticas. As irrigações aos 6 e 8 DAS ainda foram manuais para todos os tratamentos, isto foi devido ao desbaste realizado aos 6 DAS para que as mudas fossem preservadas.

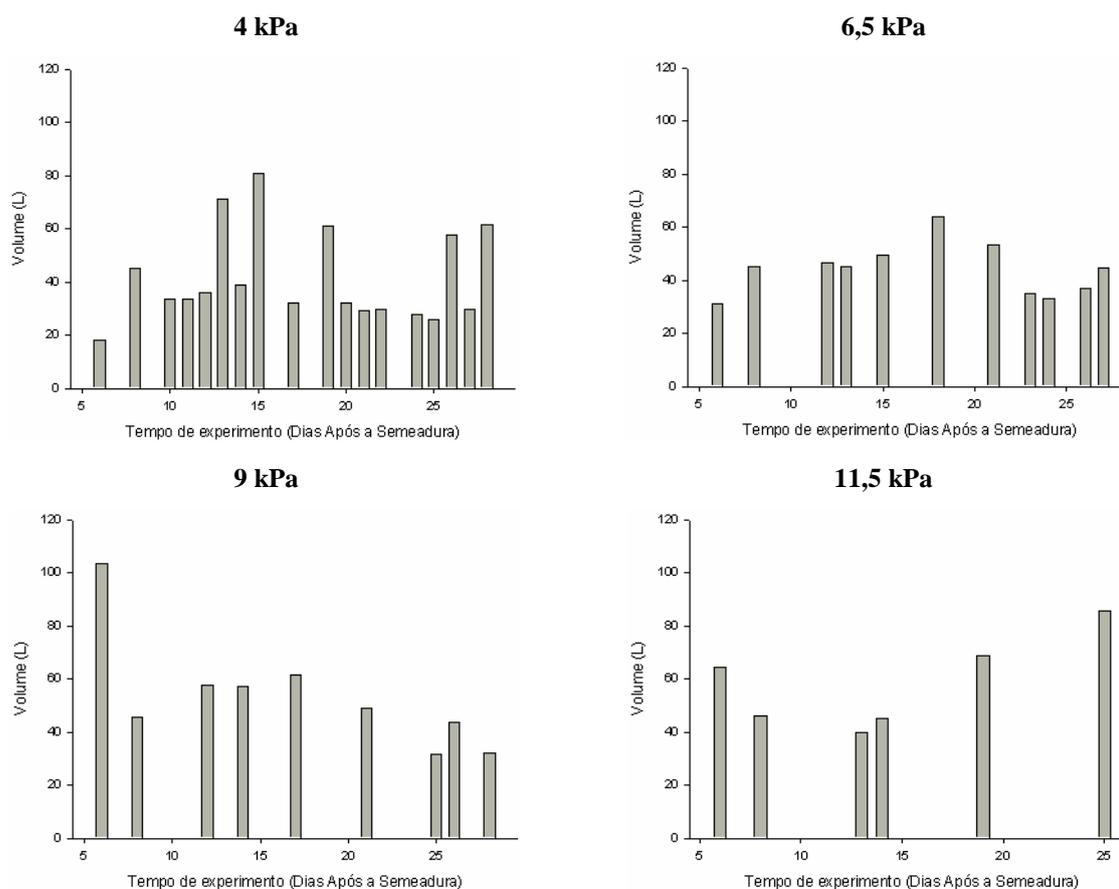


Figura 27: Volumes aplicados durante o período de experimentação em cada tratamento (Leitura dos hidrômetros).

4.5.2. Dados Climatológicos.

A Figura 28 apresenta o comportamento da temperatura e UR do ar dentro da casa de vegetação durante o período de realização do experimento.

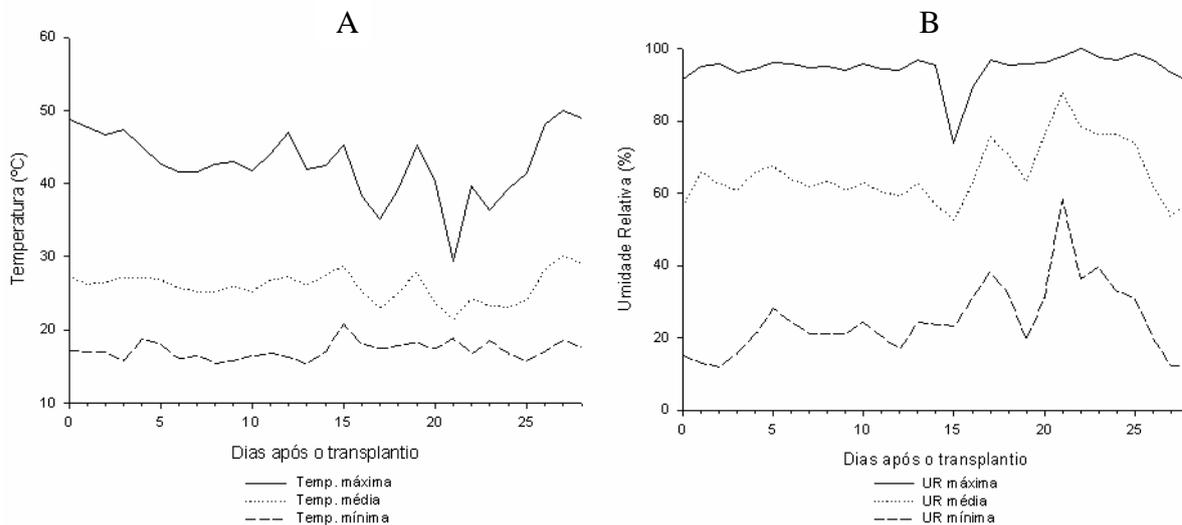


Figura 28: Temperatura (A) e Umidade Relativa (B) no interior da casa de vegetação durante o período de experimentação.

As temperaturas mínimas e máximas registradas no período foram respectivamente 15,4 a 49,9 °C. Em média, na casa de vegetação a temperatura se manteve entre 21,4 e 30,1 °C, que se enquadram dentro dos limites recomendados ao desenvolvimento da alface segundo Lima Júnior et al. (2010). Porém esse valor pode ser considerado um valor alto, segundo a literatura que ressalta que a temperatura ideal para a produção de mudas de alface está entre 15 e 20 °C (BEZERRA NETO et al, 2005; SGANZERLA, 1997). A alface, por ser de clima temperado, quando cultivada em regiões de maiores temperaturas reduz a expressão do máximo potencial genético, podendo haver diminuição do ciclo e antecipação da fase reprodutiva (SETUBAL E SILVA, 1992). Entretanto, Neto et al. (2005), trabalhando com mudas de alface da cultivar Great Lakes sob altas temperaturas, registrou um valor médio de 29 °C dentro da casa de vegetação, fato que não prejudicou o desenvolvimento da hortaliça.

Em média a UR dentro da casa de vegetação se mantiveram entre 52,5 e 87,7%, sendo a máxima registrada de 100% e a mínima de 11,9%. Os valores médios estão próximos dos considerados por Sganzerla (1997) como ideais para a produção de mudas de alface.

A Figura 29 apresenta o déficit de pressão de vapor (DPV) dentro da casa de vegetação em função das temperaturas e UR médias registradas durante o experimento. Os dados exibem a tendência de altas temperaturas aliadas a baixas UR aumentando o DPV,

enquanto que nas menores temperaturas eram registradas as maiores UR, o que proporcionava o efeito inverso, ou seja, diminuição da DPV.

No período da germinação o DPV se manteve acima de 3 kPa e esses valores altos não interferiram na taxa de germinação, visto que o processo de respiração e a transpiração se inicia apenas com o surgimento da primeira folha. Além disso, no período de germinação foi mantida a irrigação diária para todos os tratamentos, garantindo que o substrato permanecesse sempre úmido e suprisse as perdas por evaporação.

Os valores elevados de DPV corroboram para que o ASI na tensão de 4 kPa fosse acionado quase que diariamente, ou seja, o déficit de vapor d'água existente no ar provoca a diferença de potencial do ambiente com as folhas das mudas e o substrato, fazendo com que o fluxo de evapotranspiração aumente, retirando água do substrato para o ar, fazendo com que o ASI acione mais vezes a irrigação. O fato do ASI na tensão de 4 kPa estar instalado a um desnível menor torna necessária uma tensão também menor no sistema vela-substrato em comparação aos demais, permitindo que este seja acionado mais vezes.

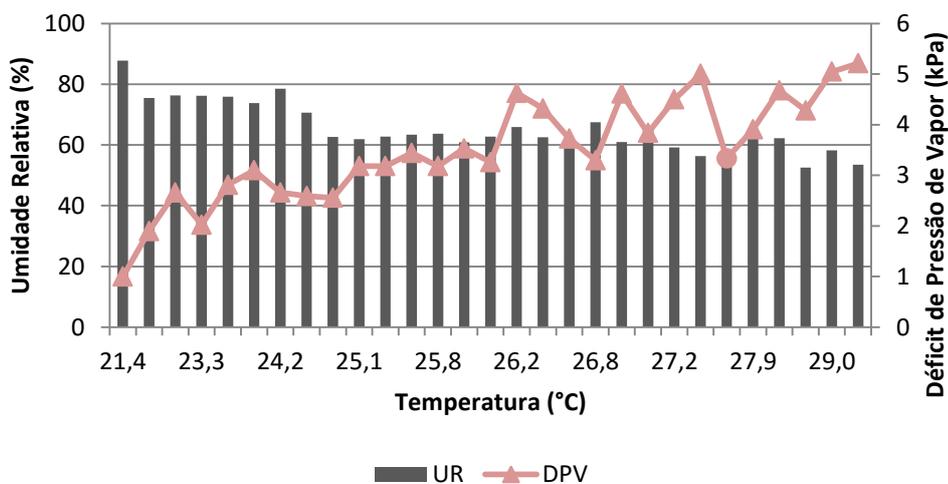


Figura 29: Déficit de pressão de vapor em função da temperatura e umidade relativa no interior da casa de vegetação.

4.5.3. Índice de Velocidade de Emergência e Porcentagem de Germinação.

A Tabela 4 apresenta o IVE e a %G para cada bandeja da área experimental. Não houve variação significativa pelo teste da ANOVA ($p < 0,05$) para os valores apresentados, indicando que todas as bandejas iniciaram a experimentação com o mesmo nível de germinação e as mesmas quantidades de mudas.

Tabela 4: Índice de velocidade de emergência (IVE) e porcentagem de germinação (% G) para cada bandeja da área experimental.

Bandeja/ Bloco	4 kPa		6,5 kPa		9 kPa		11,5 kPa	
	% G	IVE	% G	IVE	% G	IVE	% G	IVE
1	100,00	76,83	97,86	82,32	94,29	73,90	98,57	76,85
2	97,14	72,20	97,86	86,90	96,43	87,58	96,43	84,33
3	100,00	96,42	99,29	78,47	99,29	88,63	100,00	85,92
4	98,57	83,77	96,43	72,83	99,29	85,63	98,57	78,85
5	97,14	84,53	97,14	88,87	97,14	85,12	96,43	79,00
6	100,00	87,33	98,57	75,85	99,29	81,80	97,86	79,15

4.5.4. Desenvolvimento das Mudanças de Alface.

Na Figura 30 são apresentadas imagens das bandejas do primeiro bloco, onde estavam instalados os ASI's. As imagens foram tiradas aos 11, 20 e 28 DAS para cada tensão.

Observa-se claramente que o regime de irrigação com maiores tensões de acionamento prejudicou seriamente o desenvolvimento das mudas de alface em bandejas de isopor. Foram registradas as taxas de 0% (4 kPa), 8% (6,5 kPa), 24 % (9 kPa) e 94 % (11,5 kPa) de morte das mudas.

Outro fato que pode ser observado a partir das imagens da Figura 39 é que as mudas das células com o sensor são mais bem desenvolvidas que as demais e isto é ainda mais visível para os tratamentos de maiores tensões. Tal efeito pode ser explicado pelo fato da vela, de onde se confecciona o sensor, ser de um material poroso com seus poros ocupados por água. Desta forma, sendo o sensor instalado dentro do substrato, as raízes das mudas dessa célula podem facilmente acessar essa água, o que impede que sofram os efeitos da restrição hídrica conforme se verifica nas demais células sem o sensor do acionador. Além de conter água na cápsula, o diafragma do pressostato do ASI libera a água nele contida para a célula da planta onde é instalado a cápsula ao longo do seu funcionamento. Isto é importante para os demais usos do ASI, uma vez que destaca que parcelas com o sensor estarão com maior volume de água do que as demais. Assim, mesmo sendo regulado para certa tensão, como ocorre essa liberação de água do ASI, as demais plantas, sem o sensor, estarão na realidade recebendo uma tensão maior, o que pode levar a maiores valores de EUA.

Devido a elevada porcentagem de morte nas parcelas do tratamento 4 esses dados não foram considerados para a análise estatística das variáveis avaliadas e apresentada a seguir.

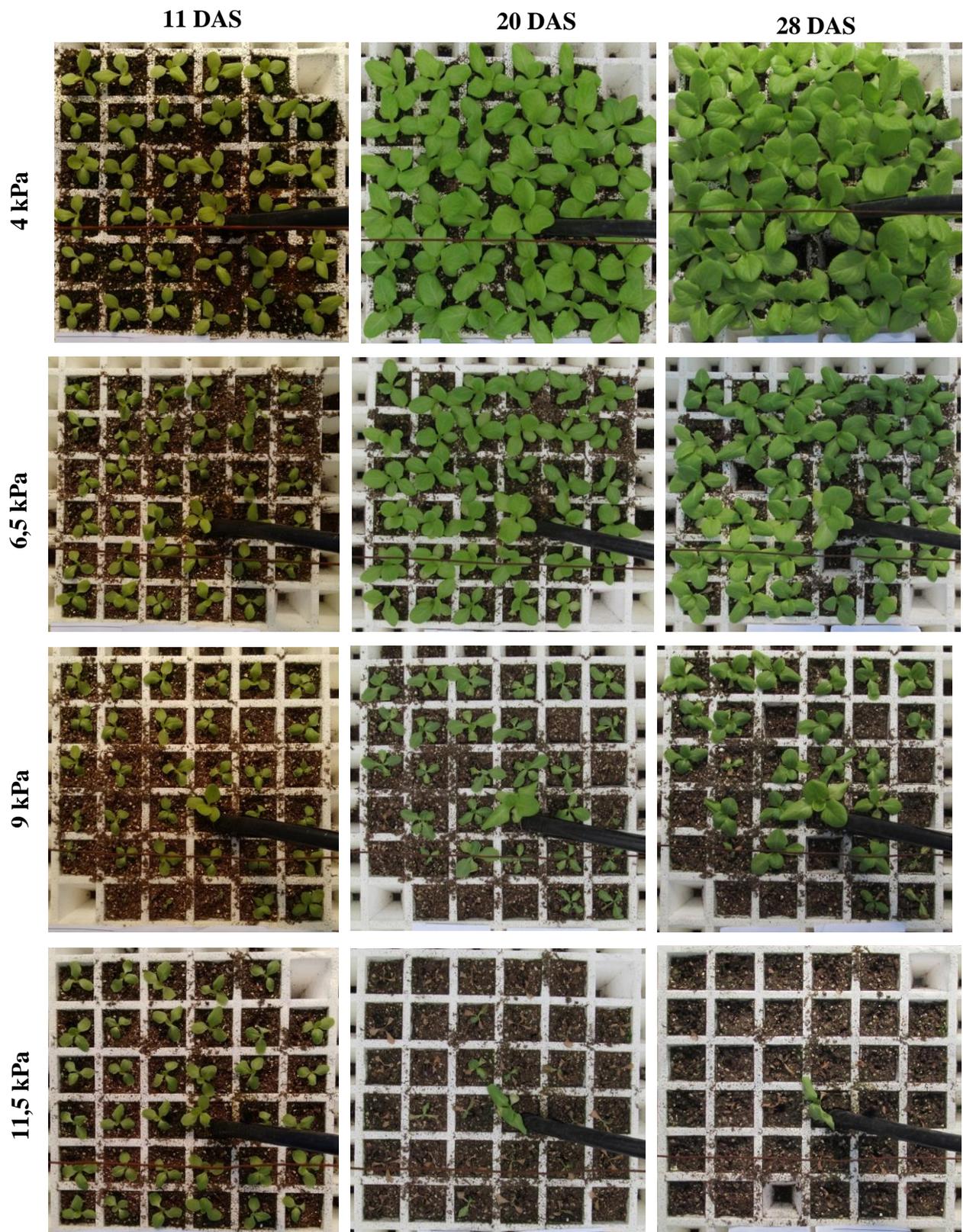


Figura 30: Desenvolvimento das mudas de alface nas bandejas do primeiro bloco (bloco com ASI) aos 11, 20 e 28 dias após a semeadura.

4.5.5. Variáveis de Produção Avaliadas

Todas as variáveis de produção apresentaram comportamento linear para o teste de regressão ($p < 0,05$). Os valores de MFPA, MSPA, H, NF, CF e AF são apresentados nas Figuras 31, 32 e 33 respectivamente.

As variáveis MFPA e MSPA apresentaram melhor desempenho para a tensão 4 kPa em relação as demais tensões. Considerando ainda a tensão de 4 kPa, observa-se um ganho de cerca de 50% em MFPA e MSPA em comparação a tensão 6,5 kPa, o que resulta das irrigações realizadas quase que diariamente para esse tratamento. A MFPA é a característica mais importante para a comercialização, desta forma mudas mais desenvolvida no período do transplante podem ter maior produtividade final (LÊDO et al., 2000).

Gonçalves et al. (2014) e Costa et al. (2012) encontraram valores de MFPA e MSPA relativamente maiores dos apresentados neste trabalho, o que pode ser atribuído ao fato de esses autores utilizarem células de maior volume. Esse fato corrobora com aqueles verificados em bandejas com diferentes números de células apresentado por Marques et al. (2003) onde as maiores mudas foram obtidas em células de maior volume.

Rozza e Teres (1985), conforme citação de Trani et al. (2004), afirmam que mudas crescidas em células menores ficam mais vulneráveis ao déficit hídrico devido a quantidade de substrato nem sempre ser suficiente para a retenção adequada de água para a manutenção da turgidez. Embora no sistema avaliado o controle do déficit aplicado era automaticamente controlado.

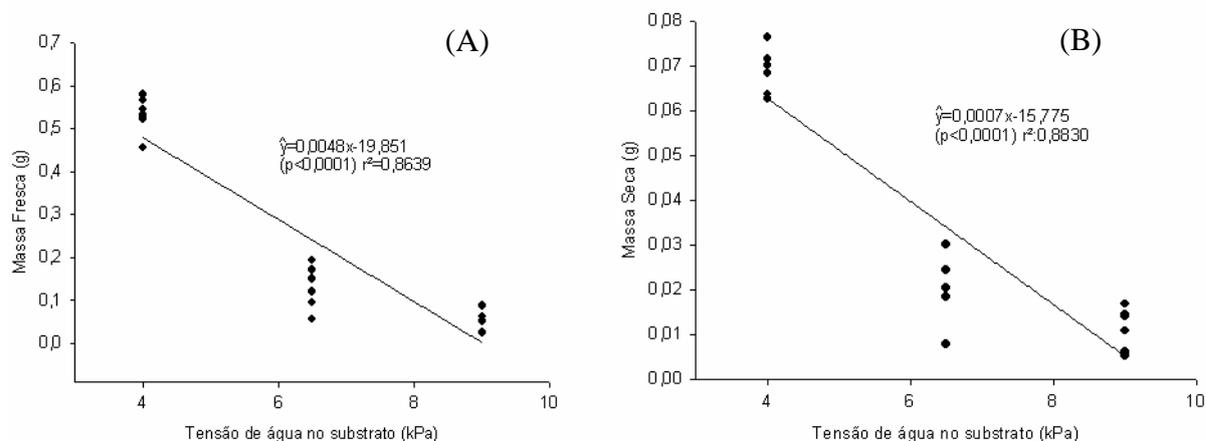


Figura 31: Massa fresca (A) e massa seca (B) das mudas de alface aos 28 dias após a semeadura para cada tratamento avaliado.

Considerando-se a altura média das plantas (Figura 32) o tratamento de menor tensão de água no substrato apresentou melhor resultado para as mudas de alface (5,1 cm) e esses dados estão de acordo com os apresentados por Freitas et al. (2013). Novamente o uso de bandejas com maior número de células pode ter prejudicado o crescimento das mudas, que apresentou alturas de mudas menores do que as apresentadas por Gonçalves et al. (2014) (8,1 cm) e Costa et al. (2012) (6,9 cm). Esses autores utilizaram bandejas com células de maior volume.

Adicionalmente, o clima também pode ter contribuído com esses valores de massa fresca e seca e altura menores em comparação aos dados da literatura citada, pois, de acordo com os dados apresentados de temperatura (Figura 28) foram registrados dias mais quentes do que o recomendado para alface. Desta forma, o volume da célula pode não ser a única explicação para o tamanho e peso das mudas.

Em relação ao número de folhas, as maiores tensões de acionamento também prejudicaram o desenvolvimento das mudas de alface (Figura 40/ I). O valor médio dos dados encontrados para a tensão de 4 kPa (7,48) está próximo dos valores apresentados por Gonçalves et al. (2014); Freitas et al. (2013); Costa et al. (2012) e Trani et al. (2004)

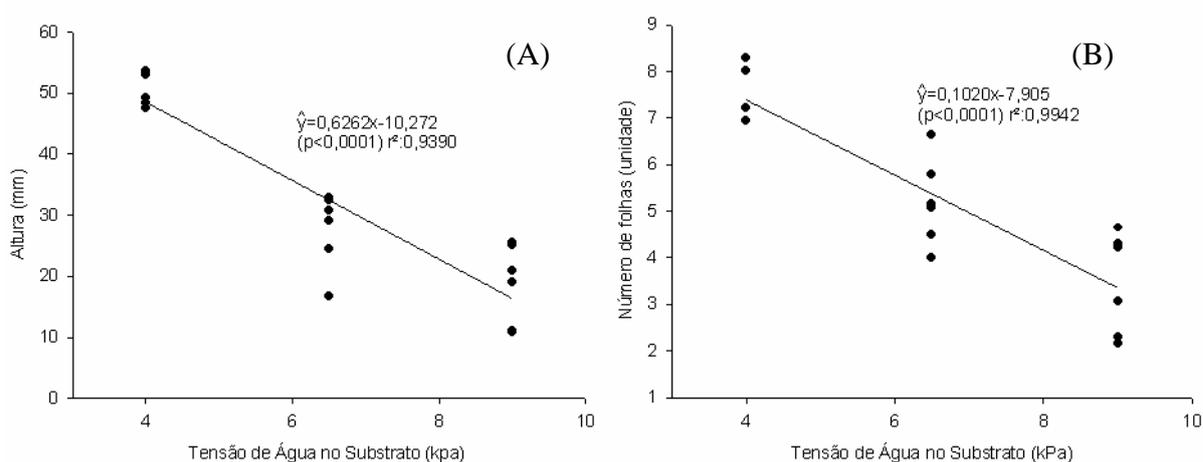


Figura 32: Altura (A) e número de folhas (B) das mudas de alface aos 28 dias após a semeadura para cada tratamento avaliado.

CF e AF também apresentaram diminuição quando submetidas a maiores tensões de água no substrato (Figura 33). O valor médio da AF para a tensão 4 kPa (46,82 cm²) está próximo aos maiores valores encontrados por Trani et al. (2004) para o mesmo tempo de

desenvolvimento das mudas. Esses mesmos autores relataram a redução nos valores de AF com a utilização de bandejas com maior número de células (288 células) comparadas com bandejas com menos células (200 células).

Bandejas com maior número de células proporcionam um menor volume de substrato e segundo Trani et al. (2004) existe a necessidade de maior frequência de irrigação para suprir a demanda de água e para sustentar altas taxas de crescimento num volume muito restrito, o que tornaria o substrato mais sujeito a lixiviação de nutrientes. Nesse caso a utilização do ASI pôde proporcionar um controle mais adequado das irrigações, evitando a lixiviação dos nutrientes, uma vez que, diferentemente do observado por Dias et al. (2013), não foi observada, no presente trabalho, drenagem para qualquer tratamento nas irrigações realizadas pelo ASI.

A ausência de drenagem nas bandejas pode estar relacionada ao tempo de desligamento do sensor, que conforme já mencionado no item 4.4.5 da metodologia desse capítulo, para este experimento foi menor em comparação ao utilizado na produção de mudas de mamão por Dias et al. (2013). Além disso, a irrigação por microaspersão pôde ter proporcionado a aplicação da água com uma intensidade menor em comparação a irrigação por gotejamento, utilizado em Dias et al. (2013). Desta forma, é possível considerar que sensores mais finos aliados ao sistema de microaspersão podem preservar os nutrientes do substrato através da eliminação da drenagem na produção de mudas em bandejas.

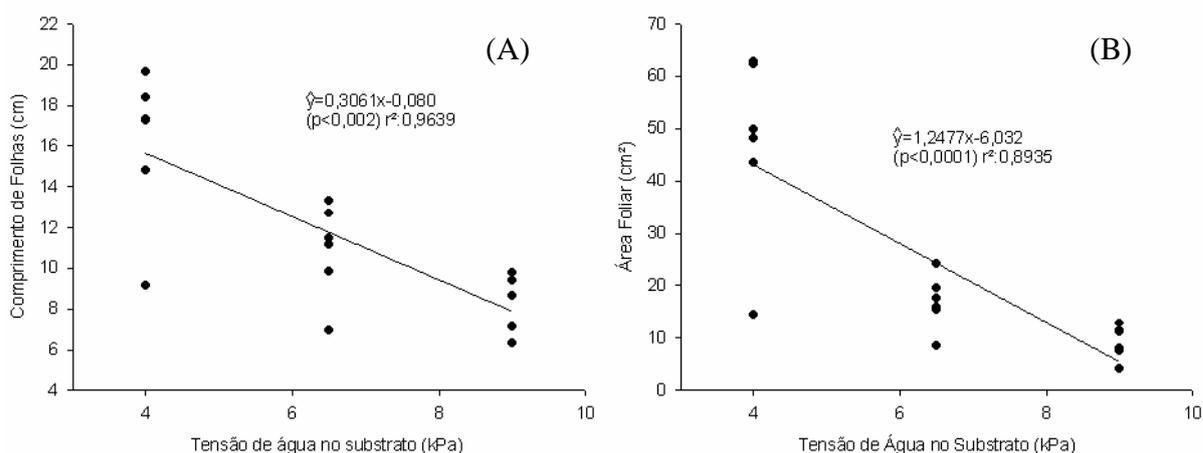


Figura 33: Comprimento das folhas (A) e área foliar (B) das mudas de alface aos 15 dias após a semeadura para cada tratamento avaliado.

Os dados das avaliados dão suporte para considerar que tensões de água no substrato maiores do que 4 kPa prejudicam o crescimento e o desenvolvimento de mudas de alface. No entanto, as mudas com tensão de 6,5 kPa apesar de apresentarem percentual de mortes (8 %) e

menores valores para todas as características de produção avaliadas, poderiam ser consideradas para utilização no plantio em campo, visto que estas plantas estariam mais bem adaptadas à situações adversas e poderiam demonstrar melhor rendimento na produção, fato que não foi avaliado nesse trabalho de dissertação e poderá ser estudado em estudos futuros. Porém, Callegari et al. (2001) e Marques et al. (2003) demonstraram que mudas produzidas sob estresses diversos e com prejuízo no crescimento não influencia a produção da cultura no campo. Desta forma, a utilização de tensões maiores a 4 kPa atrapalha o desenvolvimento das mudas e acarreta em perdas por morte, porém necessita-se de estudos complementares para saber se existe interferência na utilização dessas mudas para a produção de alfaces.

4.5.6. Eficiência no Uso da Água (EUA)

Os valores de EUA (Figura 34) apresentaram redução linear para os tratamentos a medida que se aumentava a tensão de água no substrato. Em média, a EUA para o tratamento de 4 kPa foi de 1,86 g L⁻¹ sendo necessário um volume de 38.3 mL para a produção de uma muda. Esse valor está próximo dos encontrados por Santos et al. (2015) para o cultivo de plantas adultas de alface em vasos, visto que não encontrou-se trabalhos de EUA em mudas de alface. Da mesma forma, Dias et al. (2013) avaliando a utilização do ASI na produção de mudas de mamão, encontraram uma EUA máxima de 0,69 g L⁻¹.

Desse modo, não foi possível encontrar trabalhos em que se avaliem EUA em mudas como no presente estudo, além do conduzido por Dias et al. (2013). Muitos estudos são conduzidos para a avaliação de diferentes substratos na produção de mudas (GONÇALVES et al., 2014; FREITAS, et al.; 2013; COSTA et al., 2012; SILVA et al., 2008; TRANI et al.; 2004) além de avaliação de bandejas com diferentes números de células (MARQUES et al., 2003). No entanto, são poucos os que avaliam a aplicação eficiente de água na produção de mudas de qualquer espécie, como o apresentado por Scalon et al. (2011) que avaliou a EUA fisiológica em mudas de mutambo (*Guazuma ulmifolia* Lam.) calculada com base na razão entre a taxa fotossintética e a taxa de transpiração. Como nesse trabalho foi utilizada a EUA agrônômica é inadequado qualquer comparação com Scalon et al. (2011), porém, vale ressaltar que o autor utilizou o manejo de irrigação pela capacidade de campo.

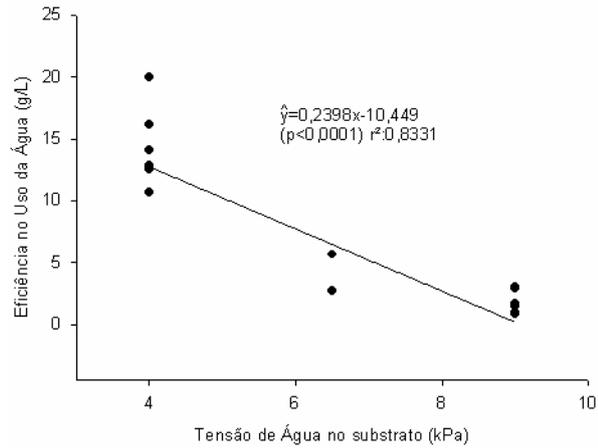


Figura 34: Eficiência no uso da água para a produção de mudas de alface para cada tratamento.

4.5.7. Teor de Clorofila

O teor de clorofila (Figura 35) se correlacionou positivamente com as tensões de água no substrato. As maiores tensões apresentaram os maiores teores de clorofila a, que é a mais importante e mais abundante no vegetal, e por isso, afetou da mesma forma o teor de clorofila total.

As maiores tensões levaram a produção de mudas menores (Figura 32.A) e conseqüentemente de menor área foliar (Figura 33.B). A magnitude da área foliar está relacionado diretamente à disposição do pigmento de clorofila nas folhas, interferindo na concentração dessas moléculas quando considerada uma determinada área de leitura. O aumento das moléculas de clorofila mediante a estresse hídrico também foi observado para *Plantago ovata* Forsk por Rahimi et al. (2013) e para *Salix spp.* por Weih et al. (2011).

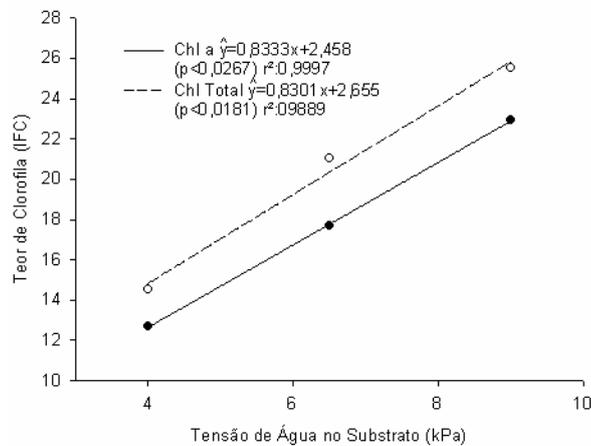


Figura 35: Teor de clorofila nas mudas de alface aos 28 dias após a semadura para cada tratamento avaliado.

4.6. CONCLUSÕES

A produção de mudas de alface em bandejas de isopor utilizando o ASI para manejo da irrigação se mostrou promissora, não sendo recomendadas, no entanto, tensões maiores que 6,5 kPa no substrato.

A utilização do ASI proporcionou um controle adequado dos déficits hídricos estudados, além de evitar perdas por lixiviação, não sendo observada qualquer drenagem.

O controle da água de irrigação assim como a automação da aplicação de água de irrigação na produção de mudas de qualquer espécie é inovador e requer novos estudos para a obtenção de parâmetros que auxiliem na aplicação dessa tecnologia para um maior número de espécies de interesse econômico.

5. CONCLUSÕES GERAIS

A utilização do ASI se mostrou satisfatória para a produção de alfaces tanto em sistema de “Vasoponia Orgânica” como para a produção de mudas em ambiente protegido.

Para a produção de alface em “Vasoponia Orgânica” o maior ganho de massa seca e EUA foram indicadas respectivamente nos volumes de 126 e 83 % do tratamento controle onde o ASI estava instalado para a tensão de 6 kPa.

O déficit hídrico controlado pelo ASI não provocou danos severos as variáveis fisiológicas de status hídrico e fotossíntese no sistema de vasoponia orgânica.

Para a produção de mudas de alface em bandejas, o ASI deve ser instalado na tensão de 4 kPa.

O ASI foi eficiente no controle dos déficits hídricos avaliados ao longo dos experimentos, além de não ter sido verificado a ocorrência de drenagem, o que para sistemas que não necessitam de uma fração de drenagem é uma vantagem, pois, impede a lixiviação de nutrientes.

A “Vasoponia Orgânica” é promissora e oferece um uso eficiente da água de irrigação.

A automação da irrigação de mudas de alface é totalmente inovador e proporcionou um uso eficiente da água de irrigação evitando perdas de nutrientes por lixiviação.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU MF; ABREU CA; BATAGLIA OC. 2002. **Uso da análise química na avaliação da qualidade de substratos e componentes.** In: FURLANI AMC. Caracterização, manejo e qualidade de substratos para produção de plantas. Campinas: Instituto Agronômico, p.17-28. (IAC. Documentos 70).
- ALARCON, A.L.; MADRID, R.; EGEA, C.; RINCÓN, L. **Respuesta del melón Galia (Cv. Revigal) sobre lana de roca, a diferentes aguas de riego y zonas de cultivo.** Acta Horticulturae, v. 16, p. 91 - 97, 1997.
- 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, MG, v.15, n.2, p. 109-118, Abr./Jun., 2007.
- ALKHADER, A. M. F. and RAYYAN, A. M. A.; Improving Water Use Efficiency of Lettuce (*Lactuca sativa*L.) Using Phosphorous Fertilizers. **Springer Plus** 2:563, 2013.
- ALPI, A.; TOGNONI, F. **El cultivo en invernadero.** Lisboa: Presença, 196p. 1984.
- ANDRADE, I. P. S.; **Manejo da Irrigação na cultura da Figueira (*Ficus carica* L.) utilizando o balanço de água no solo.** 56p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo), Instituto de Agronomia, Departamento de Solo, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 2013.
- ANDRADE JÚNIOR, A.S.; RODRIGUES, B.H.N.; ATHAYDE SOBRINHO, C.; MELO, F. de 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
- ANDRIOLO, J. L. Fisiologia da produção de hortaliças em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, v.18, p.26-33, 2000.
- BANDEIRA, G. RL.; PINTO, H. C. S.; MAGALHÃES, P. S.; ARAGÃO, C. A.; QUEIROZ, S. OP.; SOUZA, E. R.; SEIDO, S. L.; Manejo de irrigação para o cultivo de alface em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira** 29: 237-241, 2011
- BARRETO, A. N.; SILVA, A. A. G.; BOLFE, E. L. **Irrigação e drenagem na empresa agrícola: impacto ambiental versus sustentabilidade.** Aracaju: EMBRAPA, 2004. 418 p.
- 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 e Environment** Vol 11 (2) p. 485–489, 2013.

BATISTA, S. C. O.; CARVALHO, D. F.; MEDICI, L. O.; **Dispositivo automático de baixo custo para irrigação:** visando à automação de sistemas de irrigação a partir do monitoramento do conteúdo de água no solo. Novas Edições Acadêmicas 2014. 88p.

BAUMGARTEN A. 2002. Methods of chemical and physical evaluation of substrate for plants. In: FURLANI AMC. **Caracterização, manejo e qualidade de substratos para produção de plantas.** Campinas: Instituto Agronômico, p.7-15. (IAC. Documentos 70).

BERNARDO, S.; SOARES, A. A.; MANTOVANI, E. C.; **Manual de irrigação.** 8.ed. Viçosa-MG: Ed. UFV, 2008. 625p.

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, jan.-mar. 2005.

BLANC, D. Les substrats. In : BLANC, M. ed. **Les cultures hors sol**, Paris: INRA, 1987. p. 9 - 13.

BLUM, A. 1997. Crop responses to drought and the interpretation of adaptation. In: Drought tolerance in higher plants. **Genetical, physiological and molecular biological analysis.** Belhassen E. (Ed.). Kluwer Academic Publ., Dordrecht. p. 57-70.

BOYLE, R. K. A.; MCAINSH, M.; DODD, I. C.; Daily irrigation attenuates xylem abscisic acid concentration and increases leaf water potential of *Pelargonium x hortorum* compared to infrequent irrigation. **Physiologia Plantarum.** 2016 (no prelo).

BRASIL (País). Ministério do Meio Ambiente. Brasília, 16p. **Água um recurso cada vez mais ameaçado.** Disponível em: http://www.mma.gov.br/estruturas/secex_consumo/_arquivos/3%20-%20mcs_agua.pdf. Acesso em: 05/01/2016.

BRESLER, E. Analysis of trickle irrigation with application to design problems. **Irrigation Science**, New York, v.1, p.3-17, 1978.

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.

CAMPANHARO M; RODRIGUES J.J.V.; JUNIOR M.A.L.; ESPINDULA M.C.; COSTA J.V.T. 2006. Características físicas de diferentes substratos para produção de mudas de tomateiro. **Caatinga** 19: 40-145.

CAÑIZARES, K.A.; COSTA, P.C.; GOTO, R.; VIEIRA, A.R.M. Desenvolvimento de mudas de pepino em diferentes substratos com e sem uso de solução nutritiva. **Horticultura Brasileira**, Brasília v. 20, n. 2, p. 227-229, 2002.

CARLILE WR. 1997. The requirements of growing media. **Peat in Horticulture** 2: 17-23.

- CARMELLO, Q. A. C.; Nutrição e adubação de plantas hortícolas. **In:** MINAMI, K.; Produção de mudas de alta qualidade em horticultura. São Paulo: T. A. Queiroz, p. 27-37, 1995.
- 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.
- CARVALHO, L. A.; TESSARIOLI NETO, J. Produtividade de tomate em ambiente protegido, em função do espaçamento e número de ramos por planta. **Horticultura Brasileira**, v.23, p.986-989, 2005.
- CERMENO, Z. S. **Cultivo de plantas hortícolas em casa-de-vegetação**. 368p. Lisboa: Litexa, 1979.
- CHAVES, M. M. Effects of water stress on carbon assimilation. **J. Exp. Bot.**, 42: 1- 16. 1991.
- CHINNICI, G.; DÁMICO, M.; PECORINO, B. A multivariate statistical analysis on the consumers of organic products. **British Food Journal**, v. 104, n. 3, p. 187-199, 2002.
- CHOI, J. M; LEE, C. W.; PARK, J. S.; Performance of Seedling Grafts of Tomato as Influenced by Root Substrate Formulations, Fertigation Leaching Fractions, and N Concentrations in Fertilizer Solution. **Hort. Environ. Biotechnol.** 56(1):17-21. 2015
- CIA, M. C. ;GUIMARÃES, A.C.R. ;MEDICI, L.O. ; CHABREGAS, S.M. ; AZEVEDO, R.A. Antioxidant responses to water deficit by drought-tolerant and -sensitive sugarcane varieties. **Annals of Applied Biology JCR**, v. 161, p. 313–324, 2012.
- COELHO, E. F.; COELHO FILHO, M. A.; OLIVEIRA, S. L. Agricultura irrigada: eficiência de irrigação e de uso de água. **Bahia Agrícola**, v. 07, n. 01, p. 57-60, 2005.
- COSTA, K. D. S.; CARVALHO, I. D. E.; FERREIRA, P. V.; SILVA, J.; TEIXEIRA, J. S.; Avaliação de substratos alternativos para a produção de mudas de alface. **Revista Verde (Mossoró – RN)**, v. 7, n. 5, p. 58-62, dezembro de 2012 (Edição Especial)
- COSTA, G. F.; MARENCO, R. A.; Fotossíntese, condutância estomática e potencial hídrico foliar em árvores jovens de andiroba (*Carapa guianensis*). **Acta Amazonica**. Vol. 37(2). 229-234. 2007.
- COSTA, C. P.; SALA, F. C. A evolução da alfacultura brasileira. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 23, n. 1, 2005.
- CHRISTIANSEN, J.E. **Irrigation by sprinkling**. Berkeley: California Agricultural Station. 1942. 124p. Bulletin, 670
- DEN HOLLANDER, N.G.; BASTIAANS, L.; KROPFF, M.J. Clover as a cover crop for weed suppression in an intercropping design II. Competitive ability of several clover species. **European Journal of Agronomy**, v. 26, n. 2, p. 104-112, 2007.

DIAS, G. C. de O.; MEDICI, L.O.; VASCONCELLOS, M.A. DA S.; CARVALHO, D.F.; PIMENTEL, C. Papaya seedlings growth using a low-cost, automatic watering controller. **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal - SP, v. 35, n. 2, p. 527-535, Junho 2013.

DINAR, A. Economic factors and opportunities as determinants of water use efficiency in agriculture. **Irrigation Science**, New York, v.14, p.47-52, 1993.

FEIDEN, A.; ALMEIDA, D. L.; VITOI, V.; ASSIS, R. L.; Processo de conservação de sistemas de produção convencionais para sistemas de produção orgânicos. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, Brasília, v.19, n.2, p.179-204, mai/ ago. 2002.

FERRAREZI, R. S.; DOVE, S. K.; IERSEL, M. W. V.; An Automated System for Monitoring Soil Moisture and Controlling Irrigation Using Low-cost Open-source Microcontrollers. **Horttechnology**. p. 110-118. February, 2015 25(1).

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

FLEXAS, J.; BOTA, J.; LORETO, F. et al.; Diffusive and Metabolic Limitations to Photosynthesis under Drought and Salinity in C₃ Plants. **Plant Biology** 6 (2004): 269 – 279.

FREITAS, G. A.; SILVA, R. R.; BARROS, H. B.; MELO, A. V.; ABRAHÃO, A. P.; Produção de mudas de alface em função de diferentes combinações de substratos. **Revista Ciência Agronômica**, v. 44, n. 1, p. 159-166, jan-mar, 2013.

FREWER, L.; SHEPHERD, D.; SPARKS, P. The interrelationship between perceived knowledge, control and risk associated with a range of food-related hazards targeted at the individual, other people and society. **Journal Food Safety**, v. 4, n. 8, p. 19-40, 1994.

FRIZZONE, J. A. Irrigação por aspersão: uniformidade e eficiência. **In: SILVA, C. A.; SILVA, C. J. Avaliação de uniformidade em sistema de irrigação localizada. Revista Científica Eletrônica de Agronomia**. Publicação científica da faculdade de agronomia e engenharia florestal de garça/faef ano IV, n 08, 2005.

FURLANI, P. R. **Cultivo de alface pela técnica de hidroponia - NFT**. Campinas: IAC, 1995. 18 p. (IAC. Documentos, 55).

GALLÉ, A.; HALDIMANN, P.; FELLER, U.; Photosynthetic performance and water relations in young pubescent oak (*Quercus pubescens*) trees during drought stress and recovery. **New Phytologist** 174: 799–810, 2007

GINESTAR, C.; EASTHAM, J.; GRAY, S.; ILAND, P.; Use of sap-flow sensors to schedule vineyard irrigation. I. Effects of post-veraison water deficits on water relations, vine growth and yield of shiraz grapevines. **American Journal of Enology and Viticulture**, 49 (4): 413-420. 1998a.

GINESTAR, C.; EASTHAM, J.; GRAY, S.; ILAND, P.; Use of sap-flow sensors to schedule vineyard irrigation. II. Effects of post-veraison water deficits on composition of shiraz grapevines. **American Journal of Enology and Viticulture**, 49 (4): 421-428. 1998b.

GILBERT, P.A.; VANASSE, A.; ANGERS, D.A. Harrowing for weed control: impacts on mineral nitrogen dynamics, soil aggregation and wheat production. **Soil Tillage Research**, v. 103, n. 2, p. 373-380, 2009.

GLENDINING, M.J.; DAILEY, A.G.; WILLIAMS, A.G.; VAN EVERT, F.K.; GOULDING, K.W.T.; WHITMORE, A.P. Is it possible to increase the sustainability of arable and ruminant agriculture by reducing inputs? **Agricultural Systems**, v. 99, n.2-3, p.117-125, 2009.

GLIESSMAN, S.R. **Agroecologia: processos ecológicos em agricultura sustentável**. Porto Alegre: UFRGS, ed. 2, p. 653, 2001.

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.; Irrigation with Irrigás , Class A pan and an low cost controller in the organic cultivation of lettuce. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.44, n.11, p.1950-1955, 2014.

GONÇALVES, M. S.; FACCHI, D. P.; BRANDÃO, M. I.; BAUER, M.; PARIS JUNIOR, O.; Produção de mudas de alface e couve utilizando composto proveniente de resíduos agroindustriais. **Rev. Bras. de Agroecologia**. 9(1): 216-224 (2014)

GONZÁLES, A.; TEZARA, W.; RENGIFO, E. and HERRERA, A.; Ecophysiological responses to drought and salinity in the cosmopolitan invader *Nicotiana glauca*. **Braz. J. Plant Physiol.**, 24(3): 213-222, 2012.

GOTO. R.; TIVELLI, W. **Produção de hortaliças em ambientes protegidos: condições subtropicais**. São Paulo: Fundação Editora da UNESP, 1998.

GUIRRA, A. P. P. M.; SILVA, E. R.; **Automação em Sistemas de Irrigação**. Faculdades Associadas de Uberaba, ISSN 2177-854X, Uberaba, MG. Setembro de 2010. (Comunicado Técnico 08)

HARMANTO, V. M., SALOKHE, BABEL, M. S.,TANTAU, H. J. Water requirement of drip irrigated tomatoes grown in greenhouse in tropical environment. **Agricultural Water Management**. n. 71, p.225-242, 2005.

HENZ, G. P.; SUINAGA, F. **Tipos de Alface cultivadas no Brasil**. 7p. EMBRAPA. Brasília. Novembro. 2009 (Comunicado Técnico 75)

HILTBRUNNER, J.; JEANNERET, P.; LIEDGENS, M.; STAMP, P.; STREIT, B. Response of weed communities to legume living mulches in winter wheat. **Journal of Agronomy and Crop Science**, v. 193, n. 2, p. 93-102, 2007.

HORTIBRASIL – Instituto Brasileiro de Qualidade em Horticultura, 2009. Disponível em: <http://hortibrasil.org.br/> Acessado em 08 de fevereiro de 2016.

- HSIE, B. S.; MENDES, K. R. et al.; *Jatropha curcas* L. (Euphorbiaceae) modulates stomatal traits in response to leaf-to-air vapor pressure deficit. **Biomass and Bioenergy** 81 (2015) 273-281.
- HSIAO, T. C. 1990. Measurements of plant water status. **In: Irrigation of Agricultural Crops.** Stewart, B. A. & Nielsen, D. R. (Ed.). Am. Soc. Agr., Madison. p. 244-279.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário 2006: Brasil, grandes regiões e unidades da federação** - primeiros resultados. Rio de Janeiro, 2009
- JALEEL, C. A.; MANIVANNAN, P.; WAHID, A. et al.; Drought stress in Plants: a review on Morphological characteristics and pigments composition. **International Journal of Agriculture e Biology.** Vol. 11, No. 1, 2009.
- KATO, Y.; OKAMI, M.; Root morphology, hydraulic conductivity and plant water relations of high-yielding rice grown under aerobic conditions. **Annals of Botany**, 2011.
- KERR, J.P. et al. **Horticulture facts and figures.** The horticulture and food research institute of New Zealand Ltd. Palmerston North, New Zealand, 2003. 32 p.
- KIANI, S.P., P. MAURY, A. SARRAFI AND P. GRIEU. QTL analysis of chlorophyll fluorescence parameters in sunflower (*Helianthus annuus* L.) under well-watered and water-stressed conditions. **Plant Sci.**, 175: 565–573, 2008
- KIEHL, J.K. Fertilizantes Orgânicos. Piracicaba: **Ceres**, 1985. 492 p.
- KIM, H.; GOINS, G. D. et al. Stomatal Conductance of Lettuce Grown Under or Exposed to Different Light Qualities. **Annals of Botany** 94: 691–697, 2004
- KLEIN, V. A.; Uma Proposta de Irrigação Automática Controlada por Tensiômetros. **Revista Brasileira de Agrociência**, v7 n3, p231-234, set-dez, 2001.
- KOETZ, M. et al. Produção do meloeiro em ambiente protegido irrigado com diferentes lâminas de água. **Irriga**, v. 11. n. 04, p. 500-506, 2006.
- KONRAD, M.; HERNANDEZ, F.B.T.; SASSAKI, N.; BOLIANI, A.C. Manejo da irrigação e produção de uva fina de mesa no noroeste paulista. **In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA**, 29., 2000, Fortaleza-CE. **Anais.** Fortaleza : SBEA, trab.EAS119, 2000. p.73.
- KRAMER, P. J.; BOYER, J. S. **Water relations of plants and soils.** Academic Press. San Diego. 1995.
- LAWLOR, D. W. Limitation to photosynthesis in water-stressed leaves: stomata vs. metabolism and the role of ATP. **Ann. Bot.**, 89: 871-885. 2002
- LEAL, M.A.A.; Caetano, L.C.S.; Ferreira, J.M. **Estufa de baixo custo: modelo PESAGRO - RIO.** 2. ed. Niterói: PESAGRO-RIO, 30 p. 2006. (PESAGRO- RIO. Informe Técnico, 33).
- LEAL, M.A.A.; GUERRA J.G.G.; PEIXOTO R.T.G.; ALMEIDA D.L.; Utilização de compostos orgânicos como substrato na produção de mudas de hortaliças. **Horticultura Brasileira** 25: 392-395. 2007.

- LÊDO, F. J. S.; SOUZA, J. A.; SILVA, M. R. Avaliação de cultivares e híbridos de repolho no Estado do Acre. **Horticultura Brasileira**, 18: 138-140. 2000.
- LIMA, R. L. S.; SEVERINO, L.S.; ALBUQUERQUE, R.C.; BELTRÃO, N.E.M.; SAMPAIO, L.R. **Caatinga (Mossoró, Brasil)**, v.21 n.5 (Número Especial), p.102-106, dezembro de 2008.
- LIMA, M.E.; CARVALHO, D.F.; SOUZA, A.P.; GUERRA, J.G.M.; RIBEIRO, R.L.D. Desempenho da alface em cultivo orgânico com e sem cobertura morta e diferentes lâminas d'água. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.33, n.6, p.1503-1510. 2009.
- 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.
- LIN, Y. L. P.; HOLCOMB, E. J.; LYNNCH, J. P. Marigold growth and phosphorus leaching in a soilless médium amended with phosphorus-charged alumina. **Hortscience**, Alexandria, v.31, n.1, p.94-98, 1996.
- LONG, S. P., HUMPHRIES S.; FALKOWSKI, P. G. Photoinhibition of photosynthesis in nature. **Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.**, 45: 633-62. 1994
- LONGO, A. D. **Minhoca, de fertilizadora do solo a fonte alimentar**. São Paulo: Ícone, 1995.
- LLORET, F.; SISCART, D.; DALMESES, C.; Canopy recovery after drought dieback in holm-oak Mediterranean forests of Catalonia (NE Spain). **Global Change Biology** 10, 2092–2099, 2004
- LUCINI, L.; ROUPHAEL, Y.; CARDARELLI, M. et al.; The effect of a plant-derived biostimulant on metabolic profiling and crop performance of lettuce grown under saline conditions. **Scientia Horticulturae** 182 (2015) 124–133.
- LUZ, J. M. Q.; BELLODI A.L.; MARTINS S.T.; DINIZ K.A.; LANA R.M.Q. 2004. Composto orgânico de lixo urbano e vermiculita como substrato para produção de mudas de alface, tomate e couve- flor. **Bioscience**. 20: 67-74.
- MACEDO, D. C.; **Doses de N-Ureia e de esterco bovino na qualidade nutricional da rúcula em consórcio com alface**. 91p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Jaboticabal, SP, 2012.
- MANDELBAUM R; HADAR Y. 1997. **Methods for determining Pythium suppression in container media**. *Compost Science and Utilization* 5: 15-22.
- MANTELL, A.; FRENKEY, H.; MEIRI, A. Drip irrigation of cotton with saline sodic water. **Irrigation Science**, Berlin, v. 6, n. 2, p. 95-106, June 1985.
- MANTOVANI, E. C. **AVALIA**: Programa de Avaliação da Irrigação por Aspersão e Localizada. Viçosa, MG: UFV, 2001.
- MARQUELLI, W.A.; OLIVEIRA, R.A.; SILVA, W.L.C. **Irrigação da cultura da cenoura**. Embrapa hortaliças, 13 p., 2007. (Circular Técnica 48).

- 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.
- 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.
- MARSH, A. Irrigation. **In**: Water Reuther, The Citrus Industry. University of California. v.3, p.230-279. 1968.
- 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.
- MARTINAZZO, E. G. et al. Photosynthetic activity in the rootstock of hybrid peach trees submitted to water restriction and flooding. v. 23, n. 3, p. 231–236, 2011.
- MARTINS, S.R.; FERNANDES, H.S.; ASSIS, F.N.; MENDEZ, M.E.G. **Caracterização climática e manejo de ambientes protegidos: a experiência brasileira**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v.20, n.200/201, p.15-23, 1999.
- MASSACCI, A., S.M. NABIEV, L. PIETROSANTI, S.K. NEMATOV, T.N. CHERNIKOVA, K. THOR AND J. LEIPNER. Response of the photosynthetic apparatus of cotton (*Gossypium hirsutum*) to the onset of drought stress under field conditions studied by gas-exchange analysis and chlorophyll fluorescence imaging. **Plant Physiol. Biochem.**, 46: 189–195 , 2008
- MAXWELL, K. & JOHNSON, G. N. Chlorophyll fluorescence – a practical guide. **J. Exp. Bot.**, 51:659-668. 2000
- MEDICI, L. O.; REINERT, F.; CARVALHO, D. F.; KOZAK, M.; AZEVEDO, R. A.; What about keeping plants well watered?. **Environmental and Experimental Botany**. (99) 38–42, 2014
- MEDICI, L. O.; ROCHA, H. S.; CARVALHO, D. F. PIMENTEL, C.; AZEVEDO, R. A. Automatic controller to water plants. **Scientia Agricola**, v.67, n.6, p.727-730, 2010.
- MINAMI, K. **Produção de Mudas de Alta Qualidade em Horticultura**. São Paulo. T. A. Editor. 1995. 135p.
- MONTE, José Antônio. **Irrigação sob déficit controlado para a cultura do tomateiro, em Seropédica-RJ: Seropédica, RJ. 2011**. 88p Tese (Doutorado em Fitotecnia). Instituto de Agronomia, Departamento de Fitotecnia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2011.
- MUSARD, M.; LETARD, M. Le marâchage sous serres et abris en culture sur substrats. **In** : RASTOIN, F. ed. Cultures légumières sur substrat. Infos-Ctfil hors série, 1990. p. 5 – 7.
- NAR, H.; SAGLAM, A.; TERZI, R.; VÁRKONYI, Z; KADIOGLU, A. Leaf rolling and photosystem II efficiency in *Ctenanthe setosa* exposed to drought stress. **Photosynthetica**, v.47(3), p.429-436, 2009.

NEVES, M.C.P.; GUERRA, J.G.M.; CARVALHO, S.R.; RIBEIRO, R.L.D.; ALMEIDA, D.L. Sistema integrado de produção agroecológica ou fazendinha agroecológica do Km 47. **In:** AQUINO, A.M.; ASSIS, R.L. Agroecologia: Princípios e técnicas para uma agricultura orgânica sustentável. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2005. p.149-172.

NICOLAS, E.; TORRECILLAS, A.; ORTUÑO, M. F.; DOMINGO, R.; ALARCÓN, J. J.; Evaluation of transpiration in adult apricot trees from sap flow measurements. **Agricultural Water Management**, 72: 131-145. 2005

NOGUEIRA, L.C.; DUKES, M.D.; HAMAN, D.Z.; SCHOLBERG, J.M.; CORNEJO, C. Data acquisition and irrigation controller based on CR10X datalogger and TDR sensor. **Proceedings Soil and Crop Science Society of Florida**, n.62, p.38-46, 2002.

OLIVEIRA, E. A. G. **Desenvolvimento de substratos orgânicos, com base na vermicompostagem, para produção de mudas de hortaliças em cultivo protegido.** Dissertação. (Mestrado em Fitotecnia) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2011. 81 p.

OLIVEIRA, M.R.V. O emprego de casas de vegetação no Brasil: vantagens e desvantagens. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.30, n.8, p.1049-1060, 1995.

OLIVEIRA, R.P.; SCIVITTARO, W.B.; VASCONCELLOS, L.A.B.C. Avaliação de mudas de maracujazeiro em função do substrato e do tipo de bandejas. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.50, n.2, p.261-266, 1993

OUKARROUM, A.; MADIDI, S. E.; SCHANSKER, G.; STRASSER, R. J. Probing the responses of barley cultivars (*Hordeum vulgare* L.) by chlorophyll a fluorescence OLKJIP under drought stress and re-watering. **Environmental and Experimental Botany**, v.60, p.438-446, 2007.

PENTEADO, S. R.; **Introdução à Agricultura orgânica.** Normas e técnicas de cultivo. Campinas. Editora: Grafimagem, 2000. 110 p

PEREIRA, C.; MARCHI, G.; SILVA, E. C. **Produção de tomate-caqui em Estufa.** Série extensão. Lavras: UFLA, 2000. 26p.

PEREIRA, N. N. C., LEAL, N. R. (Coord.) **Recomendações para a cultura da alface.** Inf. Técn. PESAGRO-Rio, v.21, p.1 - 12, 1989.

PERRY, C.; STEDUTO, P.; ALLEN, R.G.; BURT, C.M. Increasing productivity in irrigated agriculture: Agronomic constraints and hydrological realities. **Agricultural Water Management**, v.96, n. 11, p.1517-1524, 2009.

PFITCHER, L. L.; BERNARDON, D. P.; KOPP, L. M.; HECKLER, M. V. T.; THOMÉ, B.; MONTANI, P.; **Automação da Irrigação para Melhoria da Eficiência Energética em Lavouras de Arroz.** IV Congresso Brasileiro de Eficiência Energética. Juiz de Fora, MG. 2011

PHENE, C.J.; FOUSS, J.L.; SANDERS, D.C. Water-nutrient-herbicide management of potatoes with trickle irrigation. **American Potato Journal**, Orono, v.56, p.51-59, 1979.

PHENE, C.J.; DAVIS, K.R.; HUTMACHER, R.B.; BAR-YOSEF, B.; MEEK, D.W.; MISAKI, J. Effect of high frequency surface and subsurface drip irrigation on root distribution of sweet corn. **Irrigation Science**, New York, v.12, p.135-140, 1991.

PIMENTEL, C.; **A relação da planta com água**. 190p. EDUR. Departamento de Fitotecnia. Instituto de Agronomia. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 2004

PIRES, R. C. M.; ARRUDA, F. B.; SAKAI, E.; CALHEIROS, R. O.; BRUNINI, O.; Agricultura Irrigada. **Revista Tecnologia e Inovação Agropecuária**, São Paulo, Junho de 2008.

PUTTI, F. F. **Produção da cultura de alface irrigada com água magneticamente**. 2014. 123f. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Faculdade de Ciências Agrônômicas da UNESP, Universidade Estadual Paulista, Botucatu. 2014.

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.

RAHIMI, A et al. Effects of water and nitrogen supply on growth , water-use efficiency and mucilage yield of isabgol (*Plantago ovata* Forsk). v. 13, n. 2, p. 341–354, 2013.

RAWLINS, S.L. Principles of managing high frequency irrigation. **Soil Science Society American Proceedings**, Madison, v.37, p.626-629, 1973.

REICHARDT, K. Processos de transferência no sistema solo-planta-atmosfera. Campinas. Fundação Cargill. 1985. 486p.

REIS, L. S.; AZEVEDO, CARLOS A. V. DE; ALBUQUERQUE, ABEL W.; JUNIOR, JOSUÉ F. S. Índice de área foliar e produtividade do tomate sob condições de ambiente protegido. *Revista Brasileira Engenharia Agrícola e Ambiental* vol.17 n.4 Campina Grande, 2013.

RESENDE, F. V.; SAMINÊZ, T. C. O.; VIDAL, M. C.; SOUZA, R. B.; CLEMENTE, F. M. V. **Cultivo de alface em sistema orgânico de produção**. Brasília, DF: Embrapa Hortaliças, 2007. 16 p. (Circular Técnica, 56).

ROCHA, E. M. M.; COSTA, R. N. T.; MAPURANGA, S. M. S.; CASTRO, P. T. Uniformidade de distribuição de água por aspersão convencional na superfície e no perfil do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande. v.3, n.2, p.154-160, 1999

ROMERO, R.; MURIEL, J.L.; GARCÍA, I.; MUÑOZ DE LA PEÑA, D. Research on automatic irrigation control: State of the art and recent results. **Agricultural Water Management**, v. 114, p. 59-66, 2012.

ROSA, A.; SOUSA, J.; CAÇO, J. Melancia em substrato de lã de rocha. **Acta Horticultura**, v. 16, p. 127 - 131, 1997.

RICE, P.J.; MCCONNELL, L.L.; HEIGHTON, L.P.; SADEGHI, A.M.; ISENSEE, A.R.; TEASDALE, J.R.; ABDUL-BAKI, A.A.; HARMAN-FETCHO, J.A.; HAPEMAN, C. Runoff loss of pesticides and soil: a comparison between vegetative mulch and plastic mulch in vegetable production systems. **Journal of Environmental Quality**, v. 30, n. 5, p. 1808-1821, 2001.

SABA, A.; ROSATI, S.; VASSALLO, M. Biotechnology in agriculture: perceived risks, benefits and attitudes in Italy. **British Food Journal**, v. 102, n. 2 p. 114-121, 2000.

SANDRI, D.; MATSURA, E. E.; TESTEZLAF, R. Desenvolvimento da alface Elisa em diferentes sistemas de irrigação com água residuária. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.11, n.1, p. 17-29, 2007.

SANTOS, F. J. S.; LIMA, R. N.; RODRIGUES, B. H. N.; CRISÓSTOMO, L. A.; SOUZA, F.; OLIVEIRA, J. J. G.; **Manejo da irrigação da melancia: uso do tanque classe "A"**. EMBRAPA, Fortaleza, CE, Dezembro, 2004. (Circular Técnica)

SANTOS, S.S.; ESPÍNDOLA, J.A.A.; GUERRA, J.G.M.; LEAL, M.A.A; RIBEIRO, R.L.D. Produção de cebola orgânica em função do uso de cobertura morta e torta de mamona. **Horticultura Brasileira**, v. 3, n. 3, p. 549-552, 2012.

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.

SCALON, S. P. Q. MUSSURY, R. M.; EUZÉBIO, V. L. M. KODAMA, F. M.; KISSMANN, C.; Estresse hídrico no metabolismo e crescimento inicial de mudas de mutambo (*Guazuma ulmifolia* Lam.). **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 4, p. 655-662, out.-dez., 2011

SCHUMACHER, M. V.; CALDEIRA, M. V. W.; OLIVEIRA, E. R. V.; PIROLI, E. L.; Influence of vermicompost in the production of *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden seedlings. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 2, p. 121-130, 2001.

SEVERINO, L. S. et al. **Casca e Torta de Mamona Avaliadas em vasos como fertilizantes Orgânicos**. EMBRAPA. Campina Grande, p. 16. 2007. (ISSN 0103-0841). Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 83.

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, E. C. **Estudos genéticos relacionados à adaptação da alface (*Lactuca sativa* L.) sob altas temperaturas em cultivo protegido na região norte fluminense**. 1997. Tese (Doutorado em genética e melhoramento vegetal). Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. Rio de Janeiro. 1997

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

SINCLAIR, T. R. & LUDLOW, M. M. Influence of soil water supply on the plant water balance of four tropical grain legumes. *Austr. J. Plant Physiol.*, 13: 329- 341. 1986.

SGANZERLA, E. **Nova agricultura, a fascinante arte de cultivar com os plásticos**. Porto Alegre: Plasticultura Gaúcha. 297p. 1997.

SOUZA, R. B. D.; ALCÂNTARA, F. A. D. **Adubação no Sistema Orgânico de Hortaliças**. EMBRAPA. Brasília, p. 8. 2008. (ISSN 1415-3033). Circular Técnica.

SOUZA, L. M. A. Avaliação da fertirrigação potássica na produção e qualidade da alface (*Lactuca sativa L*) americana em estufa. **Irriga** v. 6,n. 1, 2001.

SOUZA, V. F. et al. Eficiência do uso da água pelo meloeiro sob diferentes frequências de irrigação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 04, n. 02, p.183 188, 2000.

SOUZA, A. P.; SAMPAIO, R. A.; COUTINHO, O. Produtividade da cenoura em Roraima submetida à diferentes fontes de adubos orgânicos. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 14, n. 2, p. 279, maio 1995.

SOUZA, V. F.; MATSURA, E. E. Avaliação de sondas de TDR multi-haste segmentadas para estimativa da umidade do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.6, n.1, p.63-68, 2002.

SRINIVAS, K.; HEGDE, D.M.; HAVANAGI, G.V. Plant water relations, canopy temperature, yield and water-use efficiency of watermelon (*Citrullus lanatus* (Thamb) Matsum et Nakai) under drip and furrow. **Journal of Horticultural Science**, Ashford, v.64, n.1, p.115-124, 1989

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.

THANER DOS SANTOS, T.; CARVALHO, D.F; SOUZA,C. F.; MEDICI, L. O.; Lettuce growing under automated irrigation and hydrogel application. **Jornal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering**. Jaboticabal, v35, n.5, p.852-862, set/out, 2015. (ISSN: 1809-4430)

TOP, G. C.; DAVIS, J. L.; ANNAN, A. Electromagnetic determination of soil water content: measurement in coaxial transmission lines. **Water Resources Research**, Washington, v.16, p.576-583, 1980.

TRANI, P.E.; NOVO, M.C.S.S.; CAVALLARO JÚNIOR, M.L.; TELLES, L.M.G. Produção de mudas de alface em bandejas e substratos comerciais. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.22, n.2, p.290-294, abril-junho 2004.

TURNER, N. C., JONES, M. M. Turgor maintenance by osmotic adjustment: a review and evaluation. **In:** Adaptation of plants to water and high temperature stress. Turner, N. C. e Kramer, P. J. (Ed) Wiley Publ., New York. p. 87-103. 1980.

VAZIFEDOUST, M.; VAN DAM, J.C.; FEDDES, R.A.; FEIZI, M. Increasing water productivity of irrigated crops under limited water supply at field scale. **Agricultural Water Management**, v.95, n. 2, p.89 - 102, 2008.

VIEIRA, O.V. **Produção de mudas de alface (*Lactuca sativa* L.) em bandejas multicelulares.** 1990. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1990.

VIETS, F.G. Fertilizers and the efficient use of water. **Advances in Agronomy**, v. 14, n. 1962, p. 223-264, 1962.

XU, Z.; ZHOU, G.; SHIMIZU, H.; Plant responses to drought and rewatering. **Plant Signaling & Behavior** 5:6, 649-654; June 2010.

ZOCOLER, J. L. Avaliação de desempenho de sistemas de irrigação. **In:** SILVA, C. A.; SILVA, C. J. Avaliação de uniformidade em sistema de irrigação localizada. **Revista Científica Eletrônica de Agronomia.** Publicação científica da faculdade de agronomia e engenharia florestal de garça/faef ano IV, n 08, 2005.

WEIH, M. et al. Optimizing nitrogen economy under drought: Increased leaf nitrogen is an acclimation to water stress in willow (*Salix* spp.). **Annals of Botany**, v. 108, n. 7, p. 1347–1353, 2011.

YORDANOV, I.; VELIKOVA, V.; & TsoneV. **Plant response to drought, acclimatation and stree tolerance.** Photosynthetica. 30: 171-186. 2000.

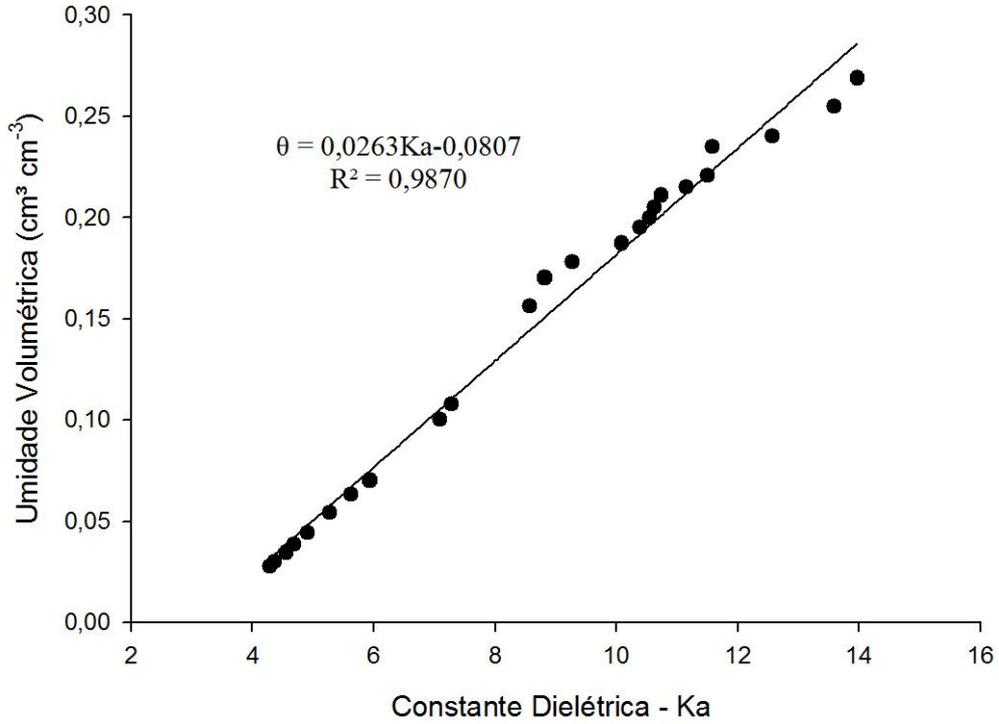
ANEXOS

A – Curvas de calibração das sondas TDR para duas profundidades de solo

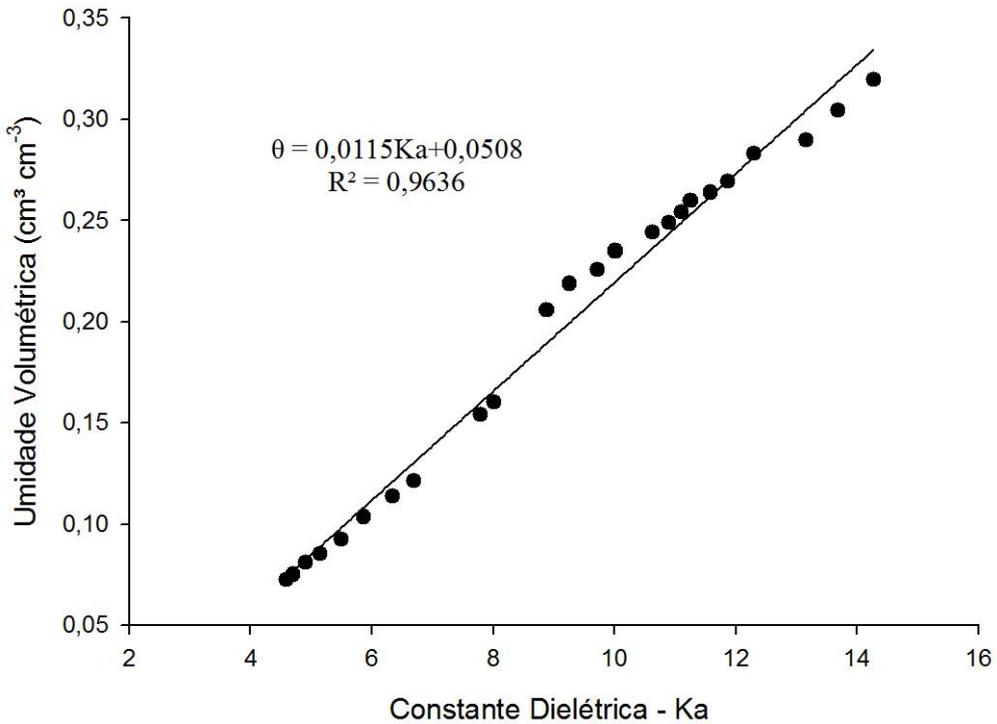
B – Variação do conteúdo de água e do volume aplicado em cada irrigação ao longo do experimento no Bloco IV.

Anexo A - Curvas de calibração das sondas TDR para duas profundidades de solo

Curva de calibração das sondas TDR
(solo prof. 0-20 cm)

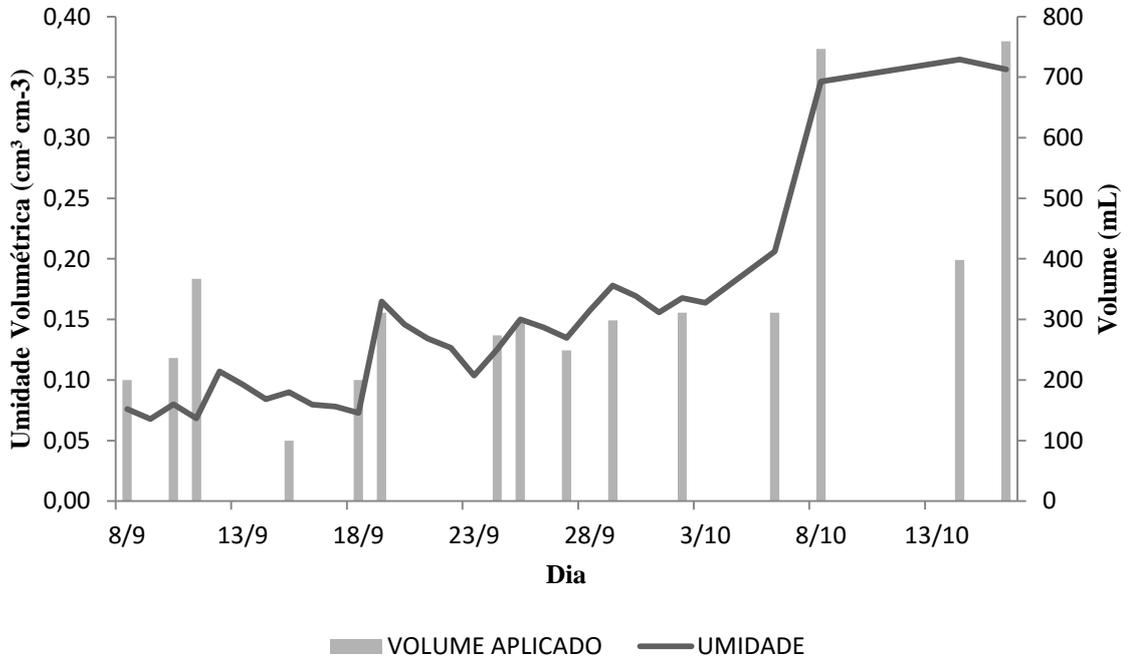


Curva de calibração das sondas TDR
(solo prof. 20-40 cm)

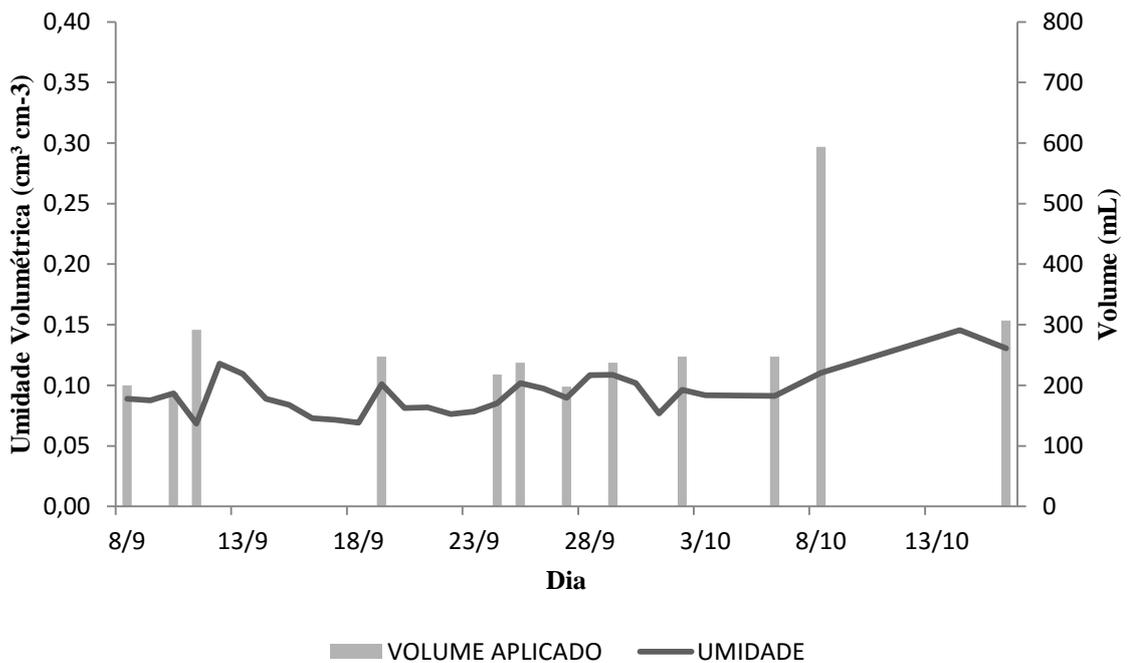


B – Variação do conteúdo de água e do volume aplicado em cada irrigação ao longo do experimento no Bloco IV.

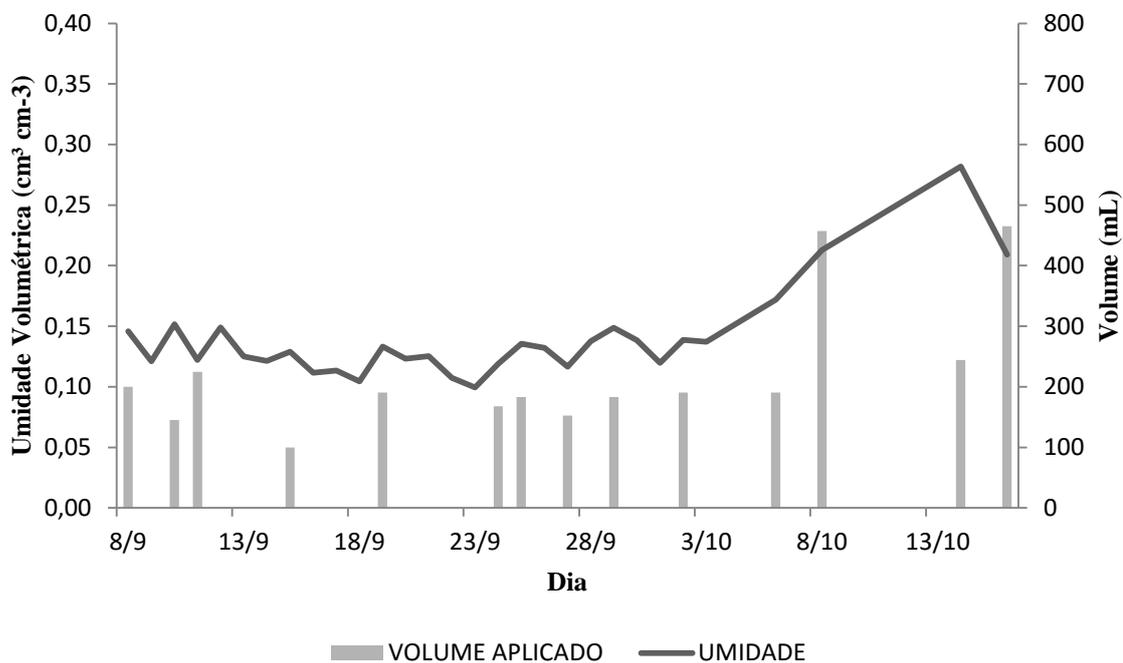
**130 % DO VOLUME DO ASI
BLOCO IV**



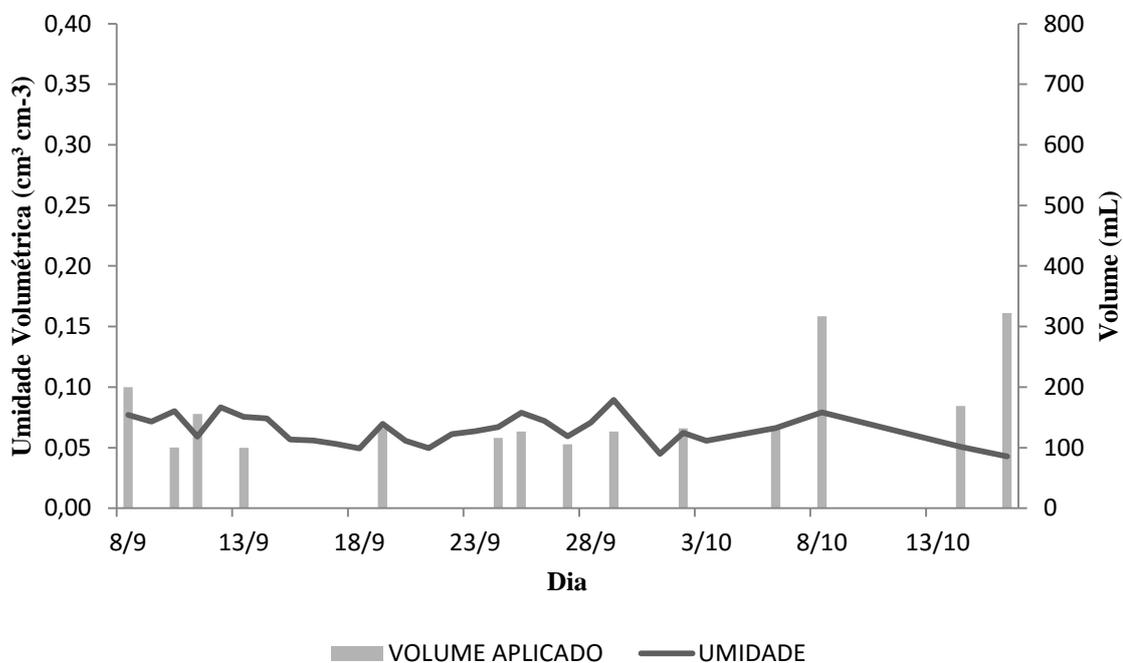
**100 % DO VOLUME DO ASI
BLOCO IV**



80 % DO VOLUME DO ASI BLOCO IV



60 % DO VOLUME DO ASI BLOCO IV



33 % DO VOLUME DO ASI BLOCO IV

