

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**INJEÇÃO DE AR VIA IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTOS
SUPERFICIAL E SUBSUPERFICIAL NA CULTURA DA ALFACE**

GABRIEL PERIN GOMES

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Irrigação e Drenagem).

BOTUCATU-SP
Julho – 2015

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**INJEÇÃO DE AR VIA IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTOS
SUPERFICIAL E SUBSUPERFICIAL NA CULTURA DA ALFACE**

GABRIEL PERIN GOMES

Orientador: Prof. Dr. Hélio Grassi Filho

Coorientador: Dr. Luiz Antonio de Andrade

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências
Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu,
para obtenção do título de Mestre em Agronomia
(Irrigação e Drenagem).

BOTUCATU-SP
Julho – 2015

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

G633i Gomes, Gabriel Perin, 1991-
Injeção de ar via irrigação por gotejamentos superficial e subsuperficial na cultura da alface / Gabriel Perin Gomes. - Botucatu : [s.n.], 2015
xi, 72 f. : fots. color., grafs. color., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2015

Orientador: Hélio Grassi Filho

Coorientador: Luiz Antonio de Andrade

Inclui bibliografia

1. Alface - Irrigação. 2. Irrigação por gotejamento. 3. Solos - Aeração. 4. Nitrogênio na agricultura. 5. Tensiômetros. I. Grassi Filho, Hélio. II. Andrade, Luiz Antonio de. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. IV. Título.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: INJEÇÃO DE AR VIA IRRIGAÇÃO POR GOTEJAMENTOS SUPERFICIAL E SUBSUPERFICIAL NA CULTURA DA ALFACE

AUTOR: GABRIEL PERIN GOMES

ORIENTADOR: Prof. Dr. HÉLIO GRASSI FILHO

CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. LUIZ ANTONIO DE ANDRADE

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM AGRONOMIA (IRRIGAÇÃO E DRENAGEM), pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. HÉLIO GRASSI FILHO

Dep de Solos e Recursos Ambientais / Faculdade de Ciências Agrômicas de Botucatu



Prof. Dr. ANTONIO DE PADUA SOUSA

Dep de Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrômicas de Botucatu



Prof. Dr. RODRIGO DOMINGUES BARBOSA

Departamento de Agronomia / Eduvale - Associação Educacional do Vale Da Jurumirim

Data da realização: 28 de julho de 2015.

Dedico,

A toda minha família pelo
apoio e incentivo em todos os momentos.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus pela rica oportunidade e força a qual tem me dado para ultrapassar mais esse desafio.

À minha Família por sempre ter me apoiado, aconselhado e encorajado a seguir, em especial ao meu irmão por ter passado boa parte do seu tempo me ajudando nas análises durante o experimento.

À Serly Melo Boschetti e seus pais José Celso Porta e Cleonice Melo Silva Porta por terem sido prontos em me ajudar em momentos de grandes necessidades.

Ao meu e ex-orientador Prof. Dr. Raimundo Leite Cruz, o qual tive a oportunidade de tê-lo como orientador antes de sua aposentadoria.

Ao amigo e orientador Prof. Dr. Hélio Grassi Filho, pelas conversas, conselhos, paciência, dedicação e por ter me acolhido como orientado.

Ao meu coorientador Dr. Luiz Antonio de Andrade pelo suporte o qual me deu, pelos aprendizados adquiridos em cada conversa, conselhos e orientação.

À Prof^a. Dr^a. Silvia Regina Lucas de Souza que muito tem me ajudado desde a época de graduação, que nesse mestrado não foi diferente.

À Minha amiga Cristiana Araújo Soares, por sempre ter me ajudado ao longo do curso, pelos conselhos, nas análises, nos artigos e pela confiança.

À toda equipe da empresa Petroisa Irrigação, em especial aos meus amigos Abner, Cesar, Clóvis e Cícero pela oportunidade de por vários anos estarmos juntos.

Aos colegas de profissão e amigos, Heroy Ótilo Mehl e Marcio Henrique Lanza, o qual muito me ajudaram.

Aos funcionários e técnicos, que de maneira inestimável me ajudaram ao longo de todo o curso, em especial ao mesmo amigos, Gilberto, Israel e Dejair.

SUMÁRIO

	Página
AGRADECIMENTOS.....	IV
SUMÁRIO.....	V
LISTA DE FIGURAS.....	VII
LISTA DE TABELAS.....	VIII
RESUMO.....	1
SUMMARY.....	3
1 INTRODUÇÃO.....	5
2 REVISÃO DE LITERATURA	7
2.1 A cultura da alface.....	7
2.2 Manejo da água com base na umidade do solo	8
2.3 Irrigação por gotejamento.....	9
2.4 Irrigação por gotejamento subsuperficial	11
2.4.1 Definição e desenvolvimento histórico	11
2.4.2 Profundidade e espaçamento das linhas laterais.....	11
2.5 Aeração do solo	12
2.6 Injeção de ar.....	14
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	16
3.1 Localização e caracterização da área experimental.....	16
3.2 Caracterização climática.....	17
3.3 Caracterização do solo.....	20
3.4 Condução da cultura	21
3.4.1 Sistema de irrigação.....	22
3.4.2 Manejo da irrigação	23
3.5 Delineamento experimental.....	26
3.6 Características avaliadas.....	28
3.6.1 Análises paramétricas	28
3.6.1.1 Número de folhas (NF).....	28
3.6.1.2 Diâmetro de caule (DC).....	28
3.6.1.3 Massa aérea fresca (MAF).....	28
3.6.1.4 Massa aérea seca (MAS)	28
3.6.1.5 Massa radicular fresca (MRF)	28

3.6.1.6 Massa radicular seca (MRS).....	28
3.6.1.7 Comprimento radicular (CR).....	29
3.6.1.8 Volume radicular (VR).....	29
3.6.1.9 Produção comercial (PC).....	29
3.6.2 Análise nutricional.....	29
3.6.2.1 Teores de macro e micronutrientes (TMM)	29
3.6.3 Avaliação da irrigação	30
3.6.3.1 Eficiência no uso da água de irrigação (EUAI).....	30
3.7 Análise estatística	30
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1 Avaliação do sistema de irrigação	31
4.2 Tensões e lâminas aplicadas	31
4.3 Resultado das análises	33
4.3.1 Ciclo I.....	33
4.3.1.1 Ensaio I.....	33
4.3.1.1.1 Análises biométricas.....	33
4.3.1.1.2 Análises nutricionais.....	40
4.3.1.2 Ensaio II.....	45
4.3.1.2.1 Produção comercial (PC).....	45
4.3.1.2.2 Avaliação da irrigação	46
4.3.2 Ciclo II.....	47
4.3.2.1 Ensaio I.....	47
4.3.2.1.1 Análises biométricas.....	48
4.3.2.1.2 Análises nutricionais.....	55
4.3.2.2 Ensaio II.....	60
4.3.2.2.1 Produção comum (PC).....	60
4.3.2.2.2 Avaliação da irrigação	61
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	62
6 CONCLUSÕES	63
7 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	64

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Vista da casa de vegetação utilizada (Departamento de Engenharia Rural). ...	16
Figura 2. Termo-higrômetro utilizado para obtenção de temperaturas (°C) e umidades relativas (%) máximas e mínimas.....	17
Figura 3. Valores diários registrados das umidades relativas máxima, mínima e média (%) no interior da casa de vegetação durante o primeiro ciclo da cultura.....	18
Figura 4. Valores diários registrados das temperaturas máxima, mínima e média (°C) no interior da casa de vegetação durante o primeiro ciclo da cultura.....	18
Figura 5. Valores diários registrados das umidades relativas máxima, mínima e média (%) no interior da casa de vegetação durante o segundo ciclo da cultura.....	19
Figura 6. Valores diários registrados das temperaturas máxima, mínima e média (°C) no interior da casa de vegetação durante o segundo ciclo da cultura.	19
Figura 7. Curva de retenção da água no solo da área experimental.	21
Figura 8. Sistemas independentes separados por registros, utilizados para diferenciação dos tratamentos.	23
Figura 9. Tensiômetros instalados a 0,15 m.	24
Figura 10. Tensímetro utilizado para leitura das tensões do teor de água no solo.	24
Figura 11. Croqui geral do experimento, primeiro ciclo.	27
Figura 12. Croqui geral do experimento, segundo ciclo.....	27
Figura 13. Valores diários das tensões de água no solo a 0,15 m de profundidade para cada tratamento, no primeiro ciclo.	32
Figura 14. Valores diários das tensões de água no solo a 0,15 m de profundidade para cada tratamento, no segundo ciclo.....	32
Figura 15. Plantas aos 35 DAT, primeiro ciclo.....	45
Figura 16. Valores de produtividade em t ha ⁻¹ em relação às lâminas aplicadas no ciclo em mm ⁻¹ para cada tratamento.	46
Figura 17. Plantas aos 35 DAT, segundo ciclo.	60
Figura 18. Valores de produtividade em t ha ⁻¹ em relação às lâminas aplicadas no ciclo em mm ⁻¹ para cada tratamento.	61

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Caracterização química do solo da área experimental.....	20
Tabela 2. Caracterização física do solo da área experimental.	20
Tabela 3. Potenciais matriciais (-kPa) e teor de água do solo (%).	20
Tabela 4. Cronograma do cultivo (semeadura, transplante e avaliações).	22
Tabela 5. Parâmetros do modelo de Van Genuchten.....	25
Tabela 6. Análise de variância das variáveis Massa Aérea Fresca (MAF), Massa Aérea Seca (MAS), Número de Folhas (NF) e Diâmetro de Caule (DC) em função da irrigação superficial e subsuperficial, com e sem ar atmosférico, aos 7 DAT.	33
Tabela 7. Análise de variância das variáveis Massa Radicular Fresca (MRF), Massa Radicular Seca (MRS) e Comprimento Radicular (CR) em função da irrigação superficial e subsuperficial, com e sem ar atmosférico, aos 7 DAT.	34
Tabela 8. Análise de variância das variáveis Massa Aérea Fresca (MAF), Massa Aérea Seca (MAS), Número de Folhas (NF) e Diâmetro de Caule (DC) em função da irrigação superficial e subsuperficial, com e sem ar atmosférico, aos 14 DAT.	35
Tabela 9. Análise de variância das variáveis Massa Radicular Fresca (MRF), Massa Radicular Seca (MRS) e Comprimento Radicular (CR) em função da irrigação superficial e subsuperficial, com e sem ar atmosférico, aos 14 DAT.	35
Tabela 10. Análise de variância das variáveis Massa Aérea Fresca (MAF), Massa Aérea Seca (MAS), Número de Folhas (NF) e Diâmetro de Caule (DC) em função da irrigação superficial e subsuperficial, com e sem ar atmosférico, aos 21 DAT.	36
Tabela 11. Análise de variância das variáveis Massa Radicular Fresca (MRF), Massa Radicular Seca (MRS) e Comprimento Radicular (CR) em função da irrigação superficial e subsuperficial, com e sem ar atmosférico, aos 21 DAT.	36
Tabela 12. Análise de variância das variáveis Massa Aérea Fresca (MAF), Massa Aérea Seca (MAS), Número de Folhas (NF) e Diâmetro de Caule (DC) em função da irrigação superficial e subsuperficial, com e sem ar atmosférico, aos 28 DAT.	37
Tabela 13. Análise de variância das variáveis Massa Radicular Fresca (MRF), Massa Radicular Seca (MRS) e Comprimento Radicular (CR) em função da irrigação superficial e subsuperficial, com e sem ar atmosférico, aos 28 DAT.	37

Tabela 14. Análise de variância das variáveis Massa Aérea Fresca (MAF), Massa Aérea Seca (MAS) e Diâmetro de Caule (DC) em função da irrigação superficial e subsuperficial, com e sem ar atmosférico, aos 35 DAT.	38
Tabela 15. Análise de variância da variável Número de Folhas (NF) em função da irrigação superficial e subsuperficial, com e sem ar atmosférico, aos 35 DAT.	38
Tabela 16. Análise de variância das variáveis Massa Radicular Fresca (MRF), Massa Radicular Seca (MRS) e Comprimento Radicular (CR) em função da irrigação superficial e subsuperficial, com e sem ar atmosférico, aos 35 DAT.	38
Tabela 17. Análise de variância dos macronutrientes N, F, K, Ca, Mg, S em função da irrigação superficial e subsuperficial, com e sem ar atmosférico, aos 35 DAT.	41
Tabela 18. Análise de variância dos micronutrientes B, Cu, Fe, Mn e Zn em função da irrigação superficial e subsuperficial, com e sem ar atmosférico, aos 35 DAT.	41
Tabela 19. Análise de variância da variável Produção Comercial (PC) em função da irrigação superficial e subsuperficial, com e sem ar atmosférico, aos 35 DAT.	46
Tabela 20. Valores médio das variáveis Lâmina Aplicada (mm ciclo^{-1}), Produtividade (t ha^{-1}) e Eficiência do Uso da Água de Irrigação ($\text{t ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$) em função da irrigação superficial e subsuperficial, com e sem ar atmosférico.	47
Tabela 21. Análise de variância das variáveis Massa Aérea Fresca (MAF), Massa Aérea Seca (MAS), Número de Folhas (NF) e Diâmetro de Caule (DC) em função da irrigação superficial e subsuperficial, com e sem ar atmosférico, aos 7 DAT.	48
Tabela 22. Análise de variância das variáveis Massa Radicular Fresca (MRF) e Massa Radicular Seca (MRS) em função da irrigação superficial e subsuperficial, com e sem ar atmosférico, aos 7 DAT.	48
Tabela 23. Análise de variância das variáveis Comprimento Radicular (CR) e Volume Radicular (VR) em função da irrigação superficial e subsuperficial, com e sem ar atmosférico, aos 7 DAT.	48
Tabela 24. Análise de variância das variáveis Massa Aérea Fresca (MAF), Massa Aérea Seca (MAS), Número de Folhas (NF) e Diâmetro de Caule (DC) em função da irrigação superficial e subsuperficial, com e sem ar atmosférico, aos 14 DAT.	49
Tabela 25. Análise de variância das variáveis Massa Radicular Seca (MRS) e Volume Radicular (VR) em função da irrigação superficial e subsuperficial, com e sem ar atmosférico, aos 14 DAT.	49

Tabela 26. Análise de variância das variáveis Massa Radicular Fresca (MRF) e Comprimento Radicular (CR) em função da irrigação superficial e subsuperficial, com e sem ar atmosférico, aos 14 DAT.	50
Tabela 27. Análise de variância das variáveis Massa Aérea Fresca (MAF) e Diâmetro de Caule (DC) em função da irrigação superficial e subsuperficial, com e sem ar atmosférico, aos 21 DAT.....	50
Tabela 28. Análise de variância das variáveis Massa Aérea Seca (MAS) e Número de Folhas (NF) em função da irrigação superficial e subsuperficial, com e sem ar atmosférico, aos 21 DAT.....	51
Tabela 29. Análise de variância das variáveis Massa Radicular Fresca (MRF), Massa Radicular Seca (MRS) e Comprimento Radicular (CR) em função da irrigação superficial e subsuperficial, com e sem ar atmosférico, aos 21 DAT.	51
Tabela 30. Análise de variância da variável Volume Radicular (VR) em função da irrigação superficial e subsuperficial, com e sem ar atmosférico, aos 21 DAT.	51
Tabela 31. Análise de variância das variáveis Massa Aérea Fresca (MAF), Massa Aérea Seca (MAS), Número de Folhas (NF) e Diâmetro de Caule (DC) em função da irrigação superficial e subsuperficial, com e sem ar atmosférico, aos 28 DAT.	52
Tabela 32. Análise de variância das variáveis Massa Radicular Fresca (MRF), Comprimento Radicular (CR) e Volume Radicular (VR) em função da irrigação superficial e subsuperficial, com e sem ar atmosférico, aos 28 DAT.	53
Tabela 33. Análise de variância da variável Massa Radicular Seca (MRS) em função da irrigação superficial e subsuperficial, com e sem ar atmosférico, aos 28 DAT.	53
Tabela 34. Análise de variância das variáveis Massa Aérea Fresca (MAF), Massa Aérea Seca (MAS), Número de Folhas (NF) e Diâmetro de Caule (DC) em função da irrigação superficial e subsuperficial, com e sem ar atmosférico, aos 35 DAT.	54
Tabela 35. Análise de variância das variáveis Massa Aérea Fresca (MAF), Massa Aérea Seca (MAS), Número de Folhas (NF) e Diâmetro de Caule (DC) em função da irrigação superficial e subsuperficial, com e sem ar atmosférico, aos 35 DAT.	54
Tabela 36. Análise de variância dos macronutrientes N, F, K, Ca, Mg, S em função da irrigação superficial e subsuperficial, com e sem ar atmosférico, aos 35 DAT.	56
Tabela 37. Análise de variância dos micronutrientes B, Cu, Fe, Mn e Zn em função da irrigação superficial e subsuperficial, com e sem ar atmosférico, aos 35 DAT.	56
Tabela 38. Análise de variância da variável Produção Comercial (PC) em função da irrigação superficial e subsuperficial, com e sem ar atmosférico, aos 35 DAT.....	60

Tabela 39. Valores médio das variáveis Lâmina Aplicada (mm ciclo^{-1}), Produtividade (t ha^{-1}) e Eficiência do Uso da Água de Irrigação ($\text{t ha}^{-1} \text{mm}^{-1}$) em função da irrigação superficial e subsuperficial, com e sem ar atmosférico. 61

RESUMO

O Estado de São Paulo possui o maior setor produtivo de olerícolas do Brasil, com 20% da produção e o principal mercado consumidor, 22% da população. Com a crise hídrica presente no dia-a-dia, é visto a importância do uso adequado da água na olericultura, atividade que exige manejo intensivo do solo, uso de fertilizantes e água na irrigação. Para melhorar a eficiência do uso da água de irrigação, é necessário que intensifique as pesquisas e o desenvolvimento de novas tecnologias. O presente trabalho teve como objetivo avaliar a injeção de ar via irrigação por gotejamento superficial e subsuperficial no desenvolvimento da alface, onde as lâminas de irrigação foram baseadas por meio de tensiometria. O experimento foi conduzido em casa de vegetação localizada na área experimental do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, Campus de Botucatu, São Paulo. Utilizou-se o delineamento experimental foi em blocos casualizados (DBC) em esquema fatorial 2 x 2 sendo o primeiro fator a irrigação (gotejamentos superficial e subsuperficial) e o segundo fator a aeração (com e sem injeção de ar), foram realizadas cinco avaliações ao longo do ciclo, utilizando três plantas como repetições de cada uma das 20 parcelas, separados em dois ensaios. O primeiro ensaio contou com 16 parcelas para avaliação dos parâmetros de planta e o segundo ensaio com as quatro parcelas restantes, onde foram utilizados os mesmos tratamentos dos demais, porém, só foram avaliados os parâmetros de produção no último dia de avaliação. Foram conduzidos dois ciclos da cultura, para constatação e validação do efeito da injeção de ar na cultura. Para o tratamento com injeção de ar foi utilizado um injetor tipo Venturi de 3/4". Foram avaliados o número de folhas, massa fresca e seca da parte aérea, diâmetro de caule, massa fresca e seca da parte radicular, comprimento radicular, volume radicular e teor de macro e micronutrientes. Os dados foram submetidos a análise de variância e ao teste de Tukey, a 5% de probabilidade. No primeiro ciclo, apesar de não apresentar diferença significativa, a irrigação subsuperficial com injeção de ar apresentou maior massa aérea fresca e número de folhas equivalente a maior média. Para o segundo ciclo, cultivado no outono, as plantas que apresentaram maior massa fresca foram

as irrigadas por gotejamento superficial sem injeção de ar, além de apresentarem maior número de folhas, diâmetro de caule e eficiência no uso da água de irrigação.

Palavras-chave: Irrigação localizada, produção de alimento, hortaliças, *Lactuca sativa* L., aeração do solo, ar atmosférico, tensiometria.

EFFECT OF AIR INJECTION UNDER SURFACE AND SUBSURFACE DRIP IRRIGATION ON LETTUCE (*Lactuca Sativa* L.) Botucatu, 2015. 82 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/ Irrigação e Drenagem) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: GABRIEL PERIN GOMES

Adviser: HÉLIO GRASSI FILHO

Co-adviser: LUIZ ANTONIO DE ANDRADE

SUMMARY

São Paulo State has the largest production of the vegetable sector of Brazil, 20% of production and the main consumer market, 22% of the population. With the water crisis present in our day by day, are seen the importance of adequate water use in olericulture, activity that requires intensive soil management, use of fertilizers and irrigation water. To improve the irrigation water use efficiency, it is necessary to intensify the research and development of new technologies. This study aimed to evaluate the influence of air injection through irrigation by surface and subsurface drip in the development of lettuce, where water depths were based through tensiometry. The experiment was conducted in a greenhouse located in the Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP – Univ Estadual Paulista, Campus Botucatu, Departamento de Engenharia Rural. Was used the experimental design was a randomized block design (RBD) in factorial 2 x 2, being the first factor irrigation (surface and subsurface drip) and the second factor aeration (with and without air injection), were performed five evaluations throughout the cycle, using three plants like repeats in each of the 20 plots, in two separate tests. The first test had 16 plots for evaluation of plant parameters and the second test with the remaining four plots with the same treatment from others, however, were used only for production parameter at the last valuation date. Two cycles were conducted for finding and validation of the effect of the air injection into the culture. For treatment with air injection we used a Venturi injector type injector ¾". We evaluated the number of leaves, fresh and shoot dry, stem diameter, fresh and dry weight of roots, root length, root volume and content of macro and micronutrients. The data were subjected to analysis of variance by Tukey test at 5% probability. In the first cycle, although no significant difference, but the subsurface irrigation with air injection showed higher fresh air mass and equivalent number of leaves like the highest average. For the second cycle,

cultivated in autumn, the plants had higher fresh weight were irrigated by surface drip irrigation arranged without air injection, and presented greater number of leaves, stem diameter and efficient use of irrigation water.

Keywords: Drip irrigation, food production, vegetable crop, *Lactuca sativa* L., soil aeration, atmospheric air, tensiometry.

1 INTRODUÇÃO

A água é o recurso natural mais importante para o desenvolvimento da agricultura no mundo, as tecnologias para o aumento da produtividade das áreas agrícolas dependem desse meio, sua escassez é um fator limitante para os desenvolvimentos social e econômico de uma região (GOMES et al., 2012).

De acordo com Christofidis (2001) a agricultura é reconhecida como a atividade humana que mais consome água, em média 70% de todo o volume captado, destacando-se a irrigação como atividade de maior demanda.

A olericultura é uma atividade agrícola que demanda intenso manejo do solo, uso intensivo de água na irrigação, de defensivos e de fertilizantes agrícolas (REZENDE, 2008).

Tendo em vista a importância da irrigação para o desenvolvimento da planta e para a sustentabilidade na agricultura, é de grande estima que se busque formas de otimização do uso e aproveitamento da água e novas tecnologias capazes de maximizar os retornos econômicos.

Bhattarai et al., (2004) e Bhattarai et al., (2006) relataram que um aumento dramático na produtividade das culturas, a eficiência do uso da água e a tolerância à salinidade pode ser alcançado com o uso de água de irrigação por gotejamento subsuperficial oxigenado, especialmente para as culturas em solos argilosos.

O objetivo deste projeto foi verificar os efeitos da injeção de ar no cultivo irrigado de alface utilizando a irrigação por gotejamentos superficial e subsuperficial, visando promover o desenvolvimento e otimizar a qualidade da planta. Foram analisadas as variações quanto aos parâmetros biométricos, tais como: número de folhas (NF), massa aérea fresca (MAF), massa aérea seca (MAS), diâmetro de caule (DC), massa radicular fresca (MRF), massa radicular seca (MRS), comprimento radicular (CR), volume radicular (VR) e produção comercial (PC), parâmetros nutricionais: teores de macro e

micronutrientes (TMM), e parâmetros de irrigação: eficiência no uso da água de irrigação (EUAI).

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A cultura da alface

A alface (*Lactuca sativa* L.) originou-se de espécies silvestres, ainda atualmente encontradas em regiões de clima temperado, no sul da Europa e na Ásia Ocidental (FILGUEIRA, 2003). Dentre as hortaliças, a alface se destaca pelo seu alto consumo mundial, sendo também umas das mais consumidas no Brasil (MEIRELLES, 1998). A alface é uma cultura muito sensível às condições meteorológicas, principalmente ao excesso de chuva e altas temperaturas, e mais adaptada a temperaturas amenas (SOUZA et al., 2008), com variação de rendimento conforme a cultivar e as mudanças de tempo ocorridas durante o ano. A faixa ideal de temperatura para produção de folhas e cabeças de qualidade está entre 12 e 22°C (FILGUEIRA, 2008).

A produção de hortaliças apresenta crescente importância no cenário nacional tanto por suas características de alta produtividade, alta rentabilidade e capital investido, quanto pela sua importância social para o emprego do elevado número de mão-de-obra e também pela fácil aquisição social do produto.

De acordo com Instituto de Economia Agrícola (2012) no estado de São Paulo, a cultura ocupa uma área de aproximadamente 10 mil hectares, que gera uma produção de 15 milhões de caixas. E os principais municípios produtores são Ibiúna, Suzano, Piedade e Embu Guaçu.

A alface é uma planta herbácea, cujas raízes são do tipo pivotante, com finas ramificações concentradas nos primeiros 0,25 m. Possui caule curto e apresentam a coloração desde o verde-amarelo a verde levemente escuro, com algumas variedades com coloração de vermelha a roxa.

O solo ideal para o cultivo dessa hortaliça é o de textura média, rico em matéria orgânica e com boa disponibilidade de nutrientes (LIMA, 2007). As maiores produções podem ser obtidas a partir da melhoria das características químicas e físico-

química do solo, o que pode ser obtida com o acréscimo de doses crescentes de compostos orgânicos (SOUZA et al., 2005).

De acordo com Henz e Suinaga (2009), a alface pode ser agrupada em cinco tipos morfológicos, com base na formação da cabeça e tipo de folha:

- Repolhuda Lisa: apresenta folhas lisas, delicadas e macias, com nervuras, pouco salientes, com aspecto oleoso “manteiga”, formando uma cabeça típica e compacta. Cultivares Áurea, Aurélia, Aurora, Carla entre outras;

- Repolhuda Crespa ou Americana: possuem folhas crespas, consistentes e crocantes, cabeça grande e bem compacta. Cultivares América Delícia, Bounty Empire, Crespa Repolhuda, Hanson entre outras;

- Solta Lisa: tem como característica folhas lisas e soltas, relativamente delicadas, sem formação de cabeça compacta. Cultivares Babá, Babá de Verão, Regina, Monalisa entre outras;

- Solta Crespa: possuem folhas grandes e crespas, textura macia, mas consistente, sem formação de cabeça, pode ter coloração verde ou roxa. Cultivares Elba, Mimosa, Vanessa, Verônica entre outras; quanto as roxas, cultivares Mimosa Vermelha, Veneza Roxa, Vermelha Ruby entre outras.

- Romana: apresentam folhas tipicamente alongadas, duras, com nervuras claras, com uma cabeça fofa e alongada, na forma de cone. Cultivares Romana Balão, Branca de Paris, Ideal Cos e Romana Balão.

O cultivo é realizado normalmente com um espaçamento de 0,25 a 0,30 m por 0,25 a 0,30 m, entre linhas e plantas, sendo feito em patamares ou em canteiros (FAHL et al., 1998). O período de cultivo varia de 40 a 70 dias dependendo do sistema (semeadura direta ou transplante de mudas), época de plantio (verão ou inverno), cultivar utilizado e sistema de condução, no campo ou protegido (LIMA, 2007).

2.2 Manejo da água com base na umidade do solo

Diversos métodos podem ser utilizados para medir a umidade do solo visando a determinação da disponibilidade de água às plantas de forma a permitir seu pleno desenvolvimento, minimizando o gasto de energia na absorção de água e nutrientes (LIMA, 2007). Os principais métodos são: o padrão da estufa, que fornece de forma direta os valores de umidade no solo, e os indiretos, que tomam como base medidas da moderação

de nêutrons, da resistência do solo à passagem de uma corrente elétrica, da constante dielétrica do solo e da tensão da água no solo (TEIXEIRA e COELHO, 2005).

A força de atração das moléculas de água pelas partículas do solo é denominada tensão de água do solo ou potencial matricial. Quando o solo está cheio d'água, esta atração ou tensão é baixa e, à medida que o solo seca, a força de retenção cresce (SILVEIRA e STONE, 1994). Ao se instalar um tensiômetro no solo, há uma tendência de equilíbrio entre a água do solo e a água do aparelho com a cápsula. A água do solo, estando sob tensão, exerce uma sucção sobre o aparelho e dele retira certa quantidade de água causando a queda de sua pressão interna (vácuo), a qual é detectada pelo vacuômetro metálico ou pelo mercúrio (REICHARDT, 1978).

Quando ocorre chuva ou irrigação, a tensão de água do solo diminui e ocorre o movimento inverso de água, do solo para o aparelho, diminuindo o vácuo existente, e, conseqüentemente, a leitura do tensiômetro (FARIA e COSTA, 1987).

Segundo Faria e Costa (1987), o tensiômetro opera na faixa de 0 a 80kPa. A partir de 80kPa, o ar penetra no instrumento através dos poros da cápsula e a água passa do estado líquido para o estado de vapor fazendo com que as medições percam precisão (FARIA, 1998).

2.3 Irrigação por gotejamento

O sistema de irrigação mais utilizado no Brasil é a aspersão, entretanto hortaliças para produção de sementes, de frutos e que necessitam de pulverizações frequentes, a melhor opção são os sistemas que não molham as plantas como o gotejamento e sulcos (SILVA e MAROUELLI, 1998).

A irrigação por gotejamento é compreendida como um sistema de irrigação onde um volume de água pré-determinado é aplicado ao solo, diretamente sobre a região radicular em pequenas intensidades e alta frequência na intenção de manter a umidade do solo próximo a capacidade de campo. O gotejamento tem a vantagem de permitir a integração de um conjunto de técnicas agrícolas nos cultivos de determinadas plantas, como o controle de umidade do solo, adubação, salinidade, doença e variedades selecionadas, de modo que se obtenham efeitos significativos na produtividade por água consumida, bem como na época da colheita e na qualidade do produto.

Segundo Frizzone et al. (1994), nos sistemas pressurizados, a irrigação por gotejamento e por microaspersão oferecem maior flexibilidade na fertirrigação, seguidos pela aspersão.

Embora o sistema de irrigação por gotejamento, tenha se mostrado uma prática bastante eficiente, ainda apresenta alguns problemas como: entupimento – sendo o diâmetro dos orifícios muito pequenos, a exigência de água limpa é uma característica inerente (Bernardo, 1989). Porém, tecnologias têm sido desenvolvidas tanto para prevenir, quanto para limpar o sistema em caso de já haver a obstrução. Quanto a prevenção, pode ser citado o sistema de filtragem da água (disco, tela ou areia) o qual faz parte do próprio sistema, para evitar a obstrução dos gotejadores. Quanto a limpeza do sistema, existem diversos produtos como cloro, ácidos nítricos, fosfóricos, entre outros que variam de acordo com o material causador da obstrução.

Demattê et al., (1981) observou que o sistema da irrigação por gotejamento proporcionou melhores resultados de produção em um experimento com hortaliças quando comparado com um sistema de aspersão, entretanto, o custo total unitário de produção gerado pelo gotejamento poderá ser elevado em relação à aspersão, devido ao custo inicial do equipamento e sua imobilidade, e pela utilização de grandes números de linhas de distribuição em espaçamentos reduzidos, porém, como é possível cultivar mais de um ciclo por ano, o custo fixo unitário de produção poderá, deste modo, diminuir.

2.4 Irrigação por gotejamento subsuperficial

2.4.1 Definição e desenvolvimento histórico

A irrigação por gotejamento subsuperficial (SDI- *subsurface drip irrigation*), também denominada de irrigação por gotejamento subterrâneo ou enterrado, é um sistema de irrigação que visa suprir/complementar as necessidades hídricas da planta com aplicação de água à zona radicular das culturas, utilizando-se linhas de gotejadores abaixo da superfície do solo, em profundidade variável, de acordo com parâmetros como tipo de solo, cultura a ser irrigada, disponibilidade hídrica, entre outros fatores.

A técnica de irrigação por gotejamento surgiu em Israel, principalmente devido à escassez de recursos hídricos (MANFRINATO, 1985). A irrigação por gotejamento tem se desenvolvido rapidamente desde os anos 60 com o advento das

modernas indústrias de plástico (MARQUES, 2006). Nos Estados Unidos teve início aproximadamente em 1959, especialmente na Califórnia e Hawaii, sendo que de 1981 até 1995 a área irrigada por gotejamento passou de 185.000 ha para mais de 1.000.000 ha (5% do total da área irrigada) (AYARS et al., 1999). Por volta de 1970, ensaios com cana-de-açúcar estavam sendo realizados usando tipo de emissores nas linhas laterais (HANSON e PETERSON, 1974). Na mesma época, em Israel, estavam sendo desenvolvidos sistema de SDI, juntamente com sistemas de injeção de fertilizantes (GOLDBERG e SHMUELI, 1970).

Vários autores constataram vantagens do SDI sobre outros sistemas de irrigação e em várias condições de manejo. Produções de batata com SDI foram maiores quando comparadas com irrigação por aspersão na Califórnia, mas o sistema de SDI requereu entre 50% e 70% da máxima necessidade de água da cultura (DETAR et al., 1996).

Segundo Juan (2000), a irrigação por gotejamento subsuperficial é utilizada em diversas culturas, tais como cana-de-açúcar, algodão, melão, batata e numerosas hortaliças, comprovando-se que aumenta a produção e a qualidade, diminui os custos de produção e se adapta bem a uma ampla variedade de climas e solos.

Pesquisas mostraram que as produtividades com SDI foram de 12% a 14% maior do que a irrigação por sulco e aspersão respectivamente para milho doce (PHENE e BEALE, 1976) e 20% maior que com irrigação por sulco para tomate (ROSE et al., 1982), porém, semelhante em melão, cebola e cenoura (BUCKS et al., 1981).

Comparando SDI com sistemas de irrigação por gotejamento superficial, pesquisas desenvolvidas em várias partes do mundo constataram aumento na produtividade das culturas cultivadas sob SDI (PHENE et al., 1987; CAMP et al., 1993).

Ayars et al. (1999) fizeram uma revisão e apresentaram dados para irrigação e fertilização no manejo de tomate, algodão, milho doce e alfafa. Os resultados desses estudos mostraram significantes aumentos na produtividade e na eficiência do uso de água em todas as culturas.

2.4.2 Profundidade e espaçamento das linhas laterais

A profundidade ideal para instalação da linha lateral depende de vários fatores, especialmente das características físicas, hídricas e químicas do solo. Assim, solos profundos, férteis e com alta condutividade hidráulica não saturada permitem maiores profundidades de instalação da lateral (MAROUELI e SILVA, 2002).

Segundo Phene e Sanders (1976) a germinação das sementes, o estabelecimento, o crescimento de mudas e a existência de camadas de solo que interferem o movimento ascendente da água, também são outros fatores que afetam a profundidade lateral.

As profundidades das linhas laterais variam de 0,2 m a 0,7 m dependendo do solo e da cultura. Em casos em que a cultura não é considerada como: grama e alfafa, profundidades variam de 0,10 m a 0,40 m. Porém, Dasberg e Bresler (1985) consideram que emissores subsuperficiais aos 15 – 30 cm são suficientes para a maioria das culturas.

Camp (2000) sugere que a profundidade deve ser suficiente para que não haja afloramento de umidade na superfície do solo e que as operações de preparo possam ser realizadas sem causar danos às laterais, tendo em vista que a lateral deve permanecer instalada no campo.

Em relação ao espaçamento da linha lateral, algumas culturas de alto valor econômico podem requerer espaçamentos menores entre linhas laterais em solo arenosos e/ou em áreas áridas, para assegurar um adequado equilíbrio entre saís, qualidade de colheita e produção consistente (MARQUES, 2006). Maiores espaçamentos entre linhas laterais são possíveis em áreas úmidas, com produções aceitáveis em anos com chuva moderada e redução de produtividade em anos com períodos significativos de seca, especialmente em culturas como o milho (PHENE et al., 1983).

2.5 Aeração do solo

A aeração do solo é definida como a renovação da composição do seu ar, tendendo a igualá-la à do ar atmosférico, pois, devido à respiração das plantas e dos microrganismos e à decomposição do material orgânico, a atmosfera livre e a do solo tendem a diferenciar-se, quantitativamente, na sua composição (CAMARGO e GTIOKMAIN, 2008). É a renovação do ar do solo e o aumento da concentração de oxigênio que permitem que o processo de respiração radicular e o metabolismo microbiano aeróbico sejam mantidos em níveis adequados (SCANLON et al. 2002). No solo, as trocas gasosas são governadas pela difusão e, em menor escala pelo fluxo de massa (HILLEL, 1980). Em solos bem aerados, a composição do ar é próxima daquela do ar atmosférico, uma vez que o O₂

consumido no solo é prontamente repostado e o dióxido de C gerado é liberado na atmosfera (HILLEL, 1998).

Períodos curtos de anaerobismo no solo causam irreparáveis danos ao sistema radicular de muitas plantas, induzem os microrganismos a formar grandes quantidades de materiais tóxicos e podem causar consideráveis perdas de nitrato do solo (GREENWOOD, 1968; GROVER, 1955).

O crescimento das plantas é restringido quando a porosidade de aeração for menor que $0,10 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ por longo tempo (DREWRY et al., 2008). Em períodos quando o solo permanece com alto conteúdo de água a situação piora, pois as trocas gasosas são praticamente comprometidas, e a difusão dos gases na água é bastante lenta (BALL e SMITH, 1991).

A importância da aeração para o desenvolvimento dos vegetais e da vida microbiana há muito tempo é conhecida (GROVER, 1955). O efeito da deficiência no transporte de gases no solo sobre o metabolismo das plantas é dependente do tempo de duração dessas restrições (DREW e LINCH, 1980). Nas plantas, o primeiro efeito de uma aeração deficiente no solo é a deficiência de oxigênio na rizosfera e, conseqüentemente, o cessamento da respiração (SILVEIRA JUNIOR, 2012). Isso leva à paralisação na absorção de nutrientes e do crescimento da planta (SOJKA, 1992), podendo ser irreversível se a deficiência for prolongada, causando a morte da planta (DREW, 1997). A aeração deficiente do solo também promove o aumento da incidência de doenças radiculares (COOK e PAMPEDICK, 1972) e o condicionamento do metabolismo microbiano anaeróbico, que leva à síntese de substâncias fitotóxicas as raízes (ALLMARAS et al., 1988).

Algumas pesquisas têm demonstrado que as culturas podem apresentar crescimento radicular sob resistências superiores a 2,0 MPa (EHLERS et al., 1983), ou restrito sob resistências ainda menores que este valor (BENGOUGH e MULLINS, 1990).

Em um solo compactado, Boone et al., (1987) demonstraram que a ocorrência de restrições ao crescimento das plantas por excessiva resistência e/ou reduzida difusão de oxigênio dependeu da distribuição da precipitação. Segundo Davies e Zhang, (1991) há uma interação entre as condições físicas do solo e o crescimento das plantas, e algumas pesquisas sugerem que as raízes parecem dispor de mecanismos de detecção destas condições, enviando-lhes sinais os quais controlam o crescimento da parte aérea das plantas

Primavesi et al., (1984) constataram que a consideração da macroporosidade parece ser o fator físico mais adequado para correlacionar a produção ótima em diferentes solos.

2.6 Injeção de ar

Alguns autores relataram que a produção comercial das culturas sob (*SDI*), em relação a gotejamento superficial do solo, foi semelhante ou sofreu decréscimos (CAMP et al., 1993; MACHADO e OLIVEIRA, 2005). Este comportamento pode estar relacionado com a redução do teor de oxigênio na rizosfera, uma vez que a formação do bulbo molhado é caracterizada pela expulsão do ar dos poros do solo (BHATTARAI et al., 2008), muitas vezes à custa do rendimento e da eficiência na utilização da água (GOORAHOO et al., 2001a; BARRETT-LENNARD, 2003).

Os ambientes com excesso de umidade no solo impõem um estresse à planta, pelo decréscimo da concentração de oxigênio no meio de cultivo (JACKSON e DREW, 1984), acarretando uma série de distúrbios no metabolismo, que se manifestam por meio de alterações no seu crescimento e desenvolvimento (KOZLOWSKI e PALLARDY, 1984; PELACANI et al., 1995). As raízes da maioria das espécies vegetais precisam de um bom suprimento de oxigênio de modo a satisfazer as necessidades de água e nutrientes dos brotos (MEEK, 1983).

Segundo Goorahoo et al. (2001b), para evitar a falta de oxigênio, pode-se injetar ar diretamente na água via (*SDI*), o que pode favorecer a respiração das raízes e a atividade microbológica, aumentando a nitrificação.

A mais de 70 anos, Durell (1941) escreveu “um estudo de um transportador de oxigênio adequado, que poderia ser aplicado como fertilizante, e que iria liberar oxigênio lentamente para o solo durante o período de crescimento, o qual poderia ser vantajoso”. Recentemente, através do trabalho em outras áreas, a *Mazzei® Corporation* desenvolveu um venturi injetor de alta eficiência, capaz de aerar a água formando bolhas finas.

Os estudos sobre a influência desta técnica no crescimento e desenvolvimento das plantas são ainda recentes e têm sido desenvolvidos na Austrália (BHATTARAI et al., 2006; BHATTARAI et al., 2008) e na Califórnia (GOORAHOO et al., 2001a) mostrando potencial para aumentar a produção e a eficiência do uso da água. A

injeção de ar na irrigação aumentou a produção e a eficiência no uso da água em algodão (PENDERGAST e MIDMORE, 2006) em soja, grão-de-bico, abóbora (BHATTARAI et al., 2006; BHATTARAI et al., 2008), em milho (ABUARAB, 2012), em abacaxi (DHUNGEL, 2011), e o número e peso de frutos respectivamente em 33 % e 39 %, em pimentão (GOORAHOO et al., 2001a).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e caracterização da área experimental

O experimento foi conduzido em casa de vegetação situada na área experimental do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agronômicas UNESP – Campus de Botucatu - São Paulo, com localização geográfica definida pelas coordenadas 22° 51' latitude Sul e 48° 25' longitude Oeste em relação ao meridiano de Greenwich com altitude de 762 m.

Segundo a classificação de Köppen, o município de Botucatu – SP apresenta clima do tipo (Cfa) subtropical úmido (KÖPPEN e GEIGER, 1928).

A casa de vegetação a qual o experimento foi conduzido possui 21,5 m de comprimento, 7 m de largura e 2,20 m de pé direito. A cobertura é constituída de filme plástico de polietileno aditivado transparente, com 150µm de espessura e as laterais são protegidas de tela com 30% de sombreamento, para diminuir a entrada de insetos. A casa de vegetação é posicionada, em seu comprimento, no sentido Leste/Oeste. (Figura 1).



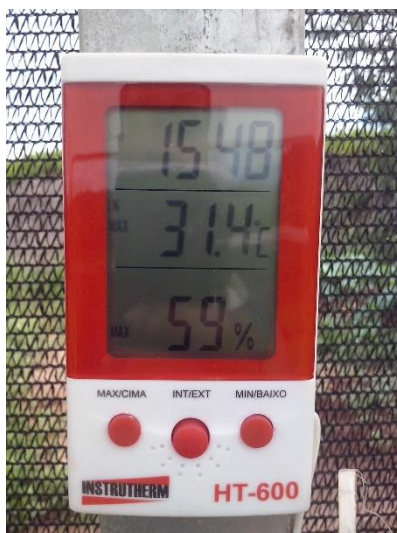
Fonte: Gomes (2015)

Figura 1. Vista da casa de vegetação utilizada (Departamento de Engenharia Rural).

3.2 Caracterização climática

Segundo Suinaga et al. (2013), em experimento com métodos de avaliação do florescimento precoce e identificação de fontes de tolerância ao calor em cultivares de alface do grupo varietal ‘crespa’, relataram que a variedade Vera apresentou maior adaptação a altas temperaturas em relação às demais.

Para a obtenção das temperaturas (°C) e umidades relativas (%) máximas e mínimas, foi utilizado termo-higrômetro - Instrutherm®, modelo HT-600 (Figura 2), onde foram realizadas as leituras diariamente entre 9 e 10 horas da manhã, no ciclo de verão e de outono.



Fonte: Gomes (2015)

Figura 2. Termo-higrômetro utilizado para obtenção de temperaturas (°C) e umidades relativas (%) máximas e mínimas.

Com os dados obtidos nas leituras, foi possível constatar que durante a condução do primeiro ciclo, a temperatura média registrada foi de 31,29°C, apresentando máxima de 41,4°C e mínima de 23,85°C. A umidade relativa do ar apresentou média de 66,31%, sendo a máxima de 99% e mínima 27% ao longo do período (Figuras 3 e 4).

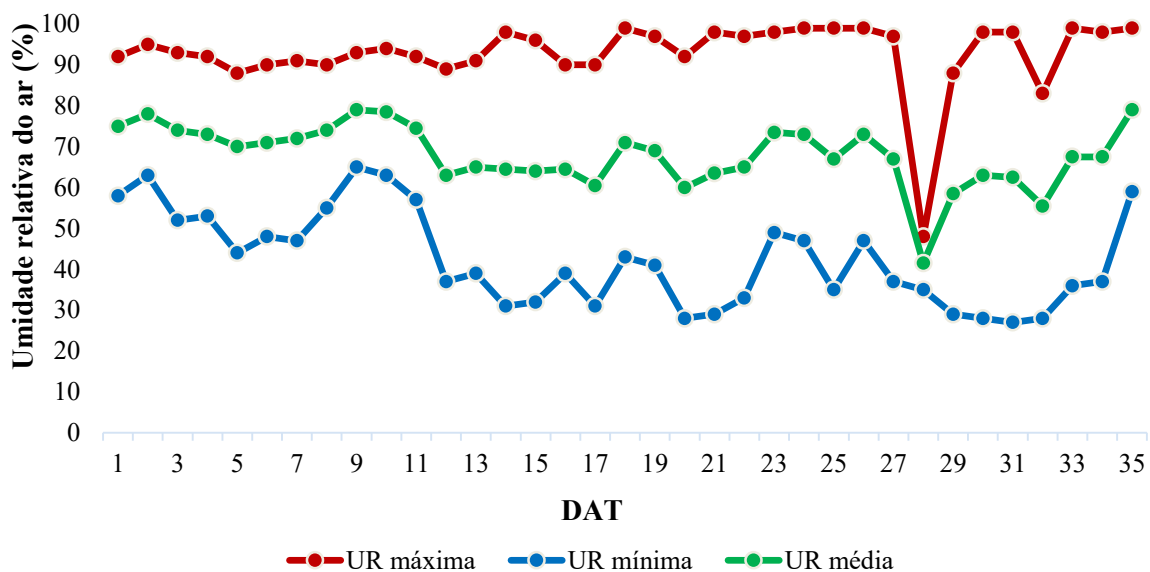


Figura 3. Valores diários registrados das umidades relativas máxima, mínima e média (%) no interior da casa de vegetação durante o primeiro ciclo da cultura.

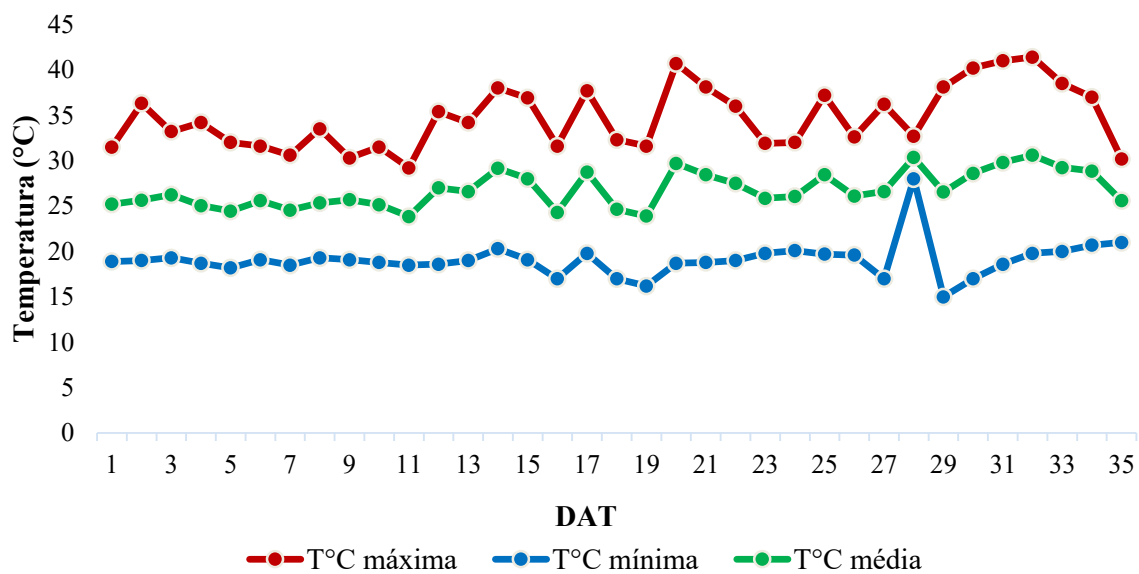


Figura 4. Valores diários registrados das temperaturas máxima, mínima e média (°C) no interior da casa de vegetação durante o primeiro ciclo da cultura.

O segundo ciclo apresentou temperatura média de 24,17 °C, registrando temperatura máxima de 38°C e mínima de 12°C. A umidade relativa média no período da condução foi de 72,36%, com registros máximos e mínimos de 99% e 36%, respectivamente (Figuras 5 e 6).

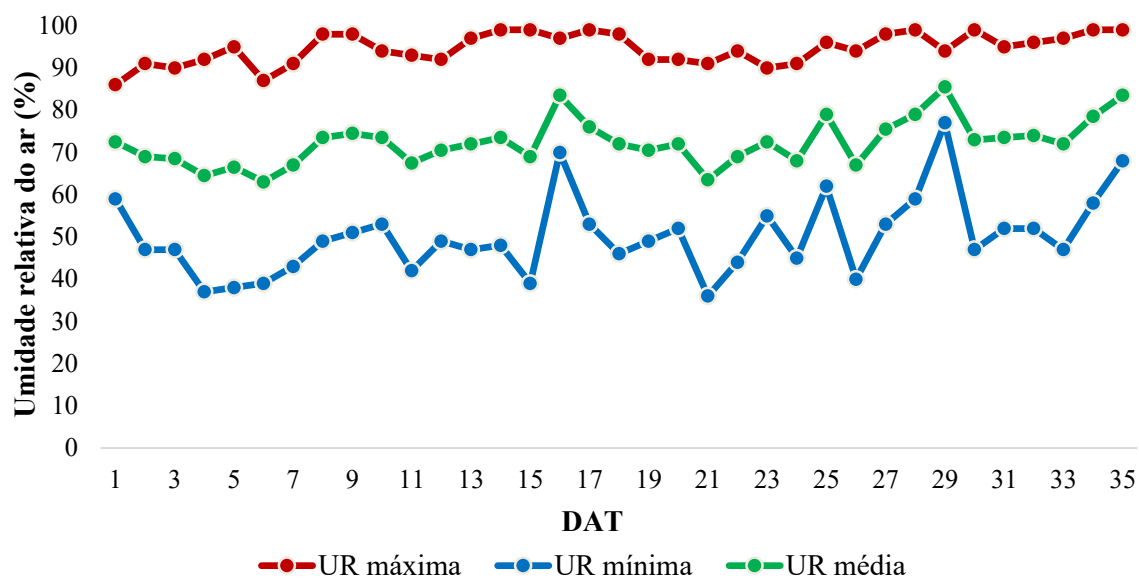


Figura 5. Valores diários registrados das umidades relativas máxima, mínima e média (%) no interior da casa de vegetação durante o segundo ciclo da cultura.

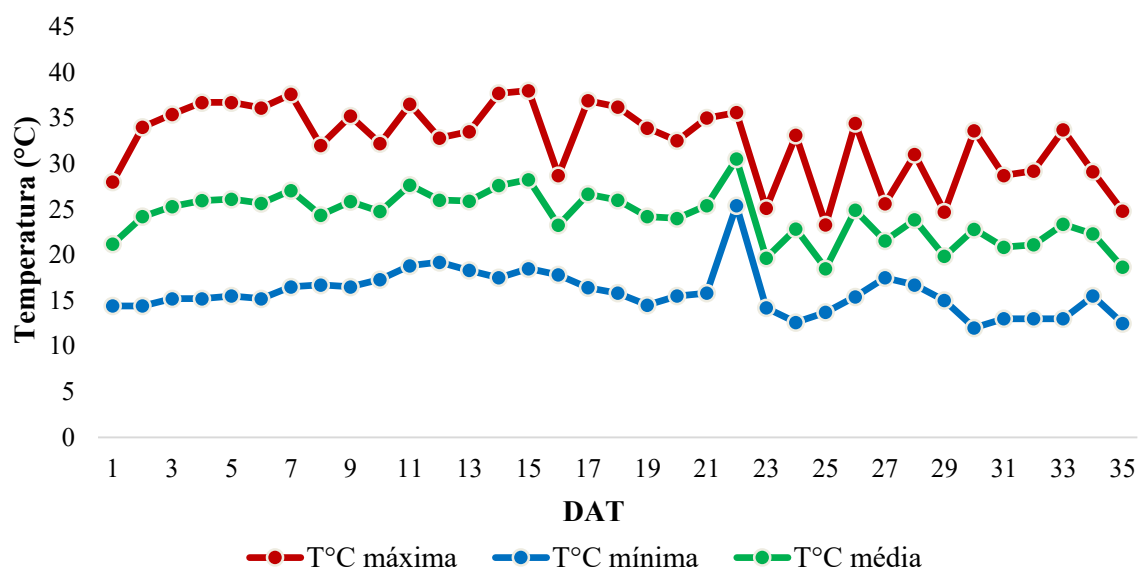


Figura 6. Valores diários registrados das temperaturas máxima, mínima e média (°C) no interior da casa de vegetação durante o segundo ciclo da cultura.

3.3 Caracterização do solo

Para a caracterização química do solo da área experimental (Tabela 1), foram retiradas amostras na camada de 0 – 0,20 m de todas as parcelas do tratamento para análise o qual foram realizadas no Laboratório de Fertilidade do Solo do Departamento de Solos e Recursos Ambientais, pertencente a UNESP – Campus de Botucatu, segundo metodologia descrita por Rajj et al. (2001).

Tabela 1. Caracterização química do solo da área experimental.

Camada m	pH	M.O. g dm ⁻³	P _{resina} mg dm ⁻³	Al ³⁺ -----	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC	V%	S mg dm ⁻³
0-0,20	5,1	18	41	0	29	3,7	26	8	38	67	57	20
B				Cu		Fe		Mn		Zn		
-----				-----		-----		-----		-----		
0,18				0,7		29		2		1,3		

Quanto a classificação do solo da área experimental, foram coletadas amostras na camada de 0 – 0,20 m. O solo foi classificado como Latossolo vermelho distrófico de textura argilosa (EMBRAPA, 1999) (Tabela 2).

Tabela 2. Caracterização física do solo da área experimental.

Grossa	Areia Fina	Total g kg ⁻¹	Argila	Silte	Teor de água %	Textura do solo	Densidade g cm ⁻³
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
260	296	556	357	87	----	Argilosa	1,26

Os valores do teor de água em função dos potenciais matriciais (Ψ) (Tabela 3) foram determinados em amostras deformadas, no Laboratório de Água-Solo-Planta, Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrônômicas, pertencente a UNESP – Campus de Botucatu.

Tabela 3. Potenciais matriciais (-kPa) e teor de água do solo (%).

Ψ -kPa	Teor de água %
10	20,37
30	15,54
50	14,68
100	13,59
300	12,43
500	11,61
1500	11,47

Os teores de água para os potenciais foram obtidas segundo a metodologia proposta por Richards (1965), determinando uma relação entre teor de água no

solo e potencial matricial, em seguida ajustado a curva (Figura 7) por um do modelo proposto por Van Genuchten (1980).

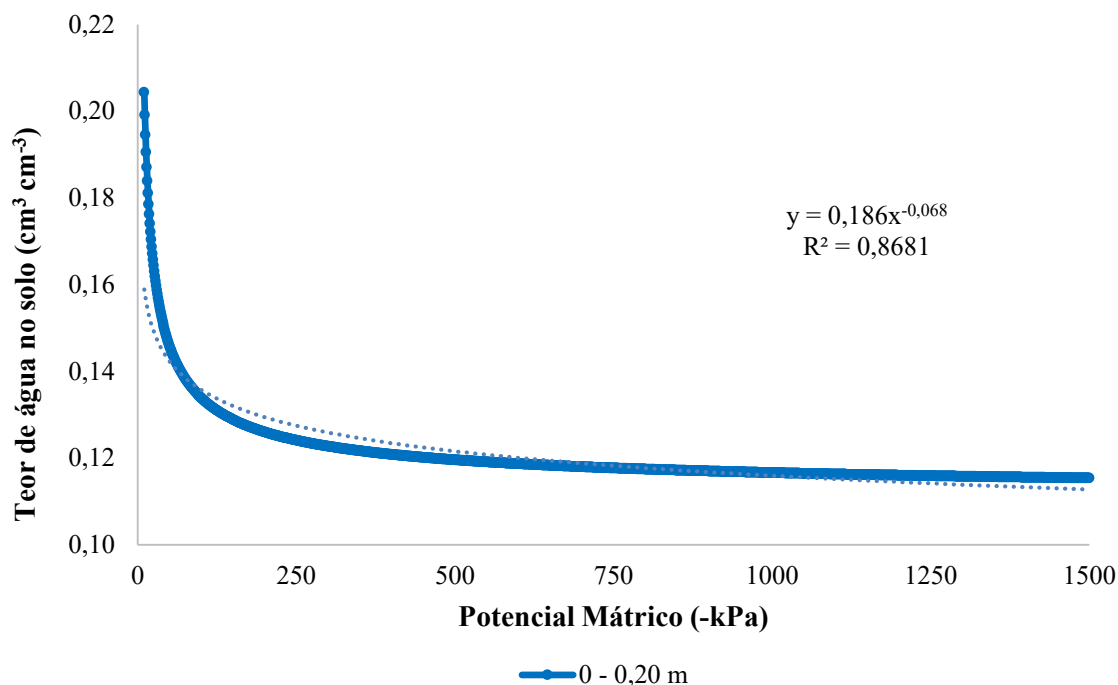


Figura 7. Curva de retenção da água no solo da área experimental.

3.4 Condução da cultura

Para constatação dos dados, o ensaio foi realizado em dois ciclos utilizando-se a alface da variedade Vera - Sakata®, do tipo crespa. Esta foi escolhida por apresentar boa adaptação às condições climáticas da região e algumas características agronômicas, tais como, tolerância a algumas doenças e pragas e uma excelente resistência pós-colheita.

As sementes foram semeadas em bandejas de poliestireno expandido de 288 células, colocando-se uma semente por célula contendo substrato Carolina Soil®. Após a semeadura, as bandejas foram mantidas em viveiro com sistema de irrigação o qual era ligado automaticamente três vezes ao dia. O transplântio foi realizado 30 dias após a semeadura (DAS) e espaçados de 0,25 m x 0,25 m, contendo uma planta por cova.

As avaliações foram feitas em 5 diferentes momentos, sendo a primeira aos 7 dias após o transplântio (DAT), a segunda foi realizada aos 14 DAT, terceira aos 21 DAT, a quarta aos 28 DAT e a quinta análise realizada aos 35 DAT (Tabela 4).

Tabela 4. Cronograma do cultivo (semeadura, transplante e avaliações).

Ciclos (anos)	Semeadura	Transplante	7 DAT	14 DAT	21 DAT	28 DAT	35 DAT
1° Ciclo (2014)	18/10	17/11	24/11	01/12	08/12	15/12	22/12
2° Ciclo (2015)	09/03	08/04	15/04	21/04	28/04	05/05	12/05

Para o transplante, os canteiros foram elevados a capacidade de campo. Nos primeiros sete dias não houve diferenciação nos tratamentos, sendo aplicado as mesmas lâminas para todos os tratamentos.

O preparo de solo no interior da casa de vegetação foi realizado com auxílio de um trator do tipo “Tobata”, revolvendo o solo a profundidade de 0,30 m através de uma enxada rotativa. No mesmo processo foi incorporado 1,6 t ha⁻¹ de calcário dolomítico (PRNT 91%) para elevação da saturação por base (V%) a 80%. Após essa etapa, os canteiros foram levantados com enxada. Após isso, os canteiros foram levantados com enxada, deixando-os com uma altura de 0,20 m acima do nível do terreno, medindo 1,10 m de largura e 3,50 m de comprimento, totalizando 3,85 m² de área.

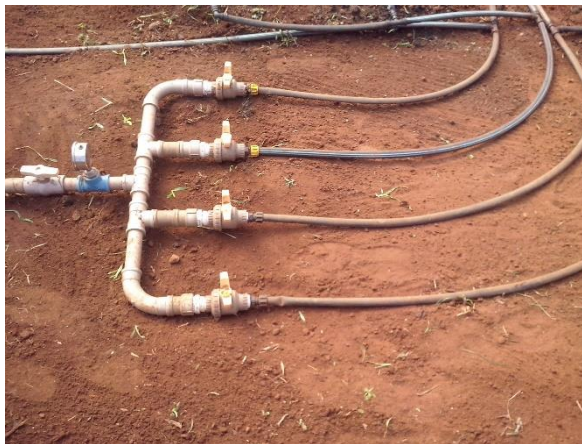
A adubação de plantio ocorreu 30 dias antes do transplante, utilizando-se uréia, superfosfato triplo, cloreto de potássio e Bórax como fonte de nutriente, nas medidas de 90 kg ha⁻¹, 665 kg ha⁻¹, 84 kg ha⁻¹ e 90 kg ha⁻¹ na área total das parcelas, respectivamente.

A adubação de cobertura foi realizada através da fertirrigação, onde foi aplicado 180 kg ha⁻¹ de uréia, divididas em 3 aplicações, aos 10, 20 e 30 DAT.

Para manter as plantas livres de plantas invasoras, foi feito a limpeza da área periodicamente, evitando a incidência. O controle de pragas e doenças foi feito sempre em caráter preventivo.

3.4.1 Sistema de irrigação

Os métodos de irrigação utilizados foram gotejamento superficial - *Drip irrigation (DI)* e subsuperficial – *Subsurface drip irrigation (SDI)*, ambos de maneira convencional e com injeção de ar, composto de quatro sistemas independentes separados por registros (Figura 8), onde as linhas principais e de derivações eram constituídas de mangueira de polietileno de 16 mm.



Fonte: Gomes (2015)

Figura 8. Sistemas independentes separados por registros, utilizados para diferenciação dos tratamentos

O sistema era constituído por um cavalete de injeção munido de um Venturi de $\frac{3}{4}$ ", o qual foi utilizado tanto para a fertirrigação quanto para a injeção de ar, e um manômetro para regular a pressão de operação, a qual foi mantida em 7 m.c.a..

A irrigação subsuperficial foi enterrada a 0,15 m, respeitando a profundidade efetiva da raiz.

Para os sistemas que havia a injeção de ar, foi instalado um retorno ao final das linhas na intenção de manter a velocidade da água constante, permitindo que as microbolhas proveniente da injeção chegasse até o ultimo gotejador.

Cada parcela era constituída por 2 linhas de irrigação espaçadas em 0,50 m, onde foi utilizado a mangueira gotejadora Tiquira - Petroísa®, com gotejadores espaçados em 0,20 m e vazão média de $1,20 \text{ L h}^{-1}$ a uma pressão e 7 m.c.a. (68,64 kPa).

3.4.2 Manejo da irrigação

Para o manejo da irrigação, foram instalados 3 tensiômetros por tratamento, distribuídos de maneira aleatória com profundidade de 0,15 m (Figura 9).

Para obtenção do momento de irrigar, foi utilizado a média dos tensiômetros, sendo o manejo da irrigação realizado separadamente de acordo com a necessidade de cada tratamento em estudo.



Fonte: Gabriel Perin Gomes

Figura 9. Tensiômetros instalados a 0,15 m.

As leituras de tensões no solo foram realizadas e registradas com uso de tensímetro (Figura 10) diariamente entre 9 e 10 horas da manhã.



Fonte: Gabriel Perin Gomes

Figura 10. Tensímetro utilizado para leitura das tensões do teor de água no solo.

Os valores das leituras foram convertidos em potencial matricial Ψ (-kPa), com o auxílio do software *Soil Water Retention Curve* (DOURADO NETO et al., 1995) e os parâmetros do modelo descrito por Van Genuchten (1980) (Tabela 5), determinou-se os teores de água no solo.

Tabela 5. Parâmetros do modelo de Van Genuchten.

Camada m	A cm ⁻¹	m	N	θ_r ----- cm ³ cm ⁻³ -----	θ_s -----
0 - 0,20	1,1737	0,2101	2,9049	0,111	0,531

Em que:

α , m e n – parâmetros empíricos do modelo matemático, cm⁻¹;

θ_r – teor de água residual, cm³ cm⁻³;

θ_s – teor de água de saturação, cm³ cm⁻³;

Para uma lâmina correta e uma distribuição adequada, foi realizado o teste de uniformidade em cada um dos sistemas de irrigação antes de iniciar o experimento, de acordo com o procedimento proposto por Merriam e Keller (1978). Foram selecionadas quatro linhas laterais e quatro emissores em cada linha, sendo eles, o primeiro, o situado a 2/4, a 3/4 e o último emissor, foi realizada a coleta da vazão para o cálculo do coeficiente de uniformidade de distribuição (CUD) (Equação 1).

(1)

$$CUD = \frac{q_{25}}{\bar{q}}$$

Em que:

CUD – coeficiente de uniformidade de distribuição;

q_{25} – médias das 25% menores vazões coletadas, L h⁻¹;

\bar{q} – média das vazões coletadas, L h⁻¹.

A determinação da lâmina aplicada foi realizada conforme a relação entre o teor de água atual e a CAD (Capacidade de água disponível) (Equação 2).

$$CAD = (CC - PMP) . Z$$

Em que:

CAD – capacidade de água disponível, mm^{-1} ;

CC – teor de água volumétrica na capacidade de campo, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$;

PMP – teor de água volumétrica no ponto de murcha permanente, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$;

Z – profundidade efetiva do sistema radicular, mm^{-1} .

Para a injeção de ar, antes de iniciar o experimento a campo, foram feitos análises em bancada no Laboratório de Hidráulica, no Departamento de Engenharia Rural, da Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP/ Botucatu. Foi constatado que quando acionado o sistema de injeção, a vazão reduz em 12% devido ao volume de ar, assim como relatado por Abuarab (2012).

3.5 Delineamento experimental

Utilizou-se o delineamento em blocos casualizados (DBC) em esquema fatorial 2 x 2, sendo o primeiro fator a irrigação (gotejamentos superficial e subsuperficial) e o segundo fator a aeração (com e sem injeção de ar) totalizando vinte parcelas, divididas em dois ensaios.

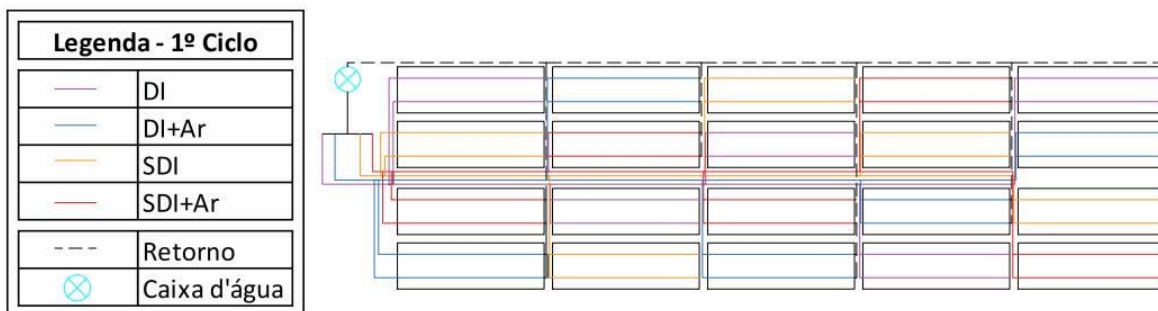
Cada parcela, foi representada por um canteiro medindo 3,50 m de comprimento e 1,10 m de largura, totalizando 3,85 m^2 de área. O espaçamento entre plantas de 0,25 x 0,25 m, totalizou 58 plantas. Nas avaliações realizadas, as plantas da bordadura foram descartadas, sendo somente as plantas centrais utilizadas.

O primeiro ensaio contou com dezesseis parcelas, onde foram retiradas duas repetições por parcela semanalmente até o final do primeiro ciclo para avaliação dos parâmetros de planta

O segundo ensaio contou com as quatro parcelas restantes, onde foram utilizados os mesmos tratos dos demais, porém, sendo somente avaliado o parâmetro de produção no último dia de avaliação.

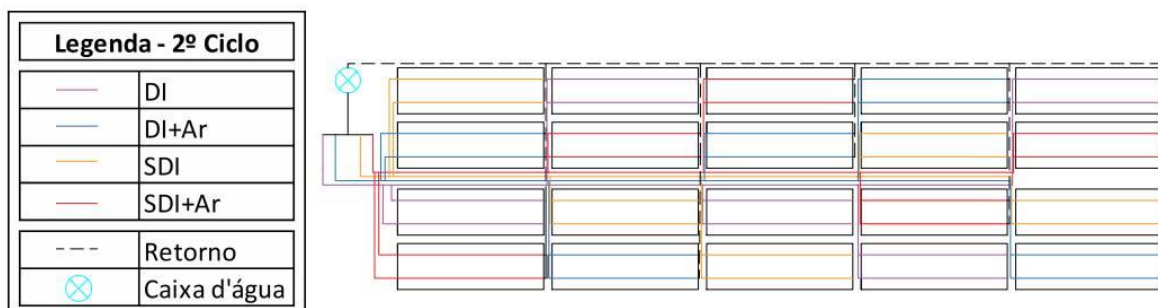
Após o término do primeiro ciclo, foi feito um novo sorteio das disposições, gerando assim um novo arranjo dos tratamentos (Figuras 11 e 12).

O segundo ciclo foi conduzido com os mesmos tratos do anterior, porém, encontrou-se a necessidade de aumentar para 3 o número de repetições por parcelas, afim de diminuir o desvio padrão.



DI - Irrigação por gotejamento superficial; DI+Ar - Irrigação por gotejamento superficial com injeção de ar atmosférico; SDI - Irrigação por gotejamento subsuperficial; SDI+Ar - Irrigação por gotejamento subsuperficial com injeção de ar atmosférico.

Figura 11. Croqui geral do experimento, primeiro ciclo.



DI - Irrigação por gotejamento superficial; DI+Ar - Irrigação por gotejamento superficial com injeção de ar atmosférico; SDI - Irrigação por gotejamento subsuperficial; SDI+Ar - Irrigação por gotejamento subsuperficial com injeção de ar atmosférico.

Figura 12. Croqui geral do experimento, segundo ciclo.

3.6 Características avaliadas

3.6.1 Análises paramétricas

3.6.1.1 Número de folhas (NF)

Após a colheita, foram separadas todas as folhas de cada planta de todos os tratamentos com auxílio de um estilete e realizada a contagem do número de folhas.

3.6.1.2 Diâmetro de caule (DC)

Para a medição do diâmetro do caule, foram tomadas medidas logo acima do solo com a utilização de paquímetro digital.

3.6.1.3 Massa aérea fresca (MAF)

Após a colheita, foi separada a parte aérea das demais partes da planta e pesadas em balança de precisão.

3.6.1.4 Massa aérea seca (MAS)

Após a pesagem da matéria fresca, as amostras foram mantidas em estufa com a temperatura a 65°C com circulação de ar forçada por 72 horas, e após este processo foi feito a pesagem.

3.6.1.5 Massa radicular fresca (MRF)

Após a lavagem e medição do sistema radicular, com a utilização de uma balança de precisão foram pesadas todas as amostras.

3.6.1.6 Massa radicular seca (MRS)

Após a pesagem de massa radicular fresca, as amostras foram mantidas em estufa com temperatura de 65°C, durante 72 horas e em seguida pesadas novamente.

3.6.1.7 Comprimento radicular (CR)

No ato da colheita, as plantas foram retiradas com o auxílio de equipamentos na intenção de manter a maior quantidade possível de raízes. Após lavagem em água corrente, foram medidas com o auxílio de régua milimétrica.

3.6.1.8 Volume radicular (VR)

A determinação do volume radicular foi realizada colocando-se as raízes em proveta graduada, contendo um volume conhecido de água. Pela diferença, obteve-se a resposta direta do volume de raízes, pela equivalência de unidades ($1 \text{ mL} = 1 \text{ cm}^3$), segundo metodologia descrita por Basso (1999).

3.6.1.9 Produção comercial (PC)

A produção comercial foi determinada mediante pesagem e contagem das cabeças sem as folhas externas produzidas na parcela e posteriormente extrapoladas para um hectare, com 60.000 plantas, baseado no espaçamento utilizado.

3.6.2 Análise nutricional

3.6.2.1 Teores de macro e micronutrientes (TMM)

Para a quantificação dos teores de macro e micronutrientes da parte aérea, todas as folhas foram destacadas, lavadas com água destilada e secas em estufa de circulação de ar forçada por 72 horas, à 65°C . Após a secagem, foram trituradas e embaladas em sacos de papel, identificadas e enviadas ao Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas, no Departamento de Recursos Naturais, da Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP/Botucatu.

Foi realizada a quantificação das plantas coletadas aos 35 DAT quanto ao teor dos macronutrientes nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), e dos micronutrientes ferro (Fe), boro (B), cobre (Cu), manganês (Mn), zinco (Zn) e silício (Si), de acordo com a metodologia de Malavolta et al. (1997) e Korndörfer et al. (2004).

3.6.3 Avaliação da irrigação

3.6.3.1 Eficiência no uso da água de irrigação (EUAI)

A eficiência do uso da água de irrigação foi determinada pela relação entre o rendimento da cultura e a lâmina de água aplicada pela irrigação durante o ciclo (Equação 3).

(3)

$$EUAI = \left(\frac{R_c}{L_a} \right)$$

Em que:

EUAI – eficiência no uso da água de irrigação ($t \text{ ha}^{-1} \text{ mm}^{-1}$);

R_c - rendimento da cultura ($t \text{ ha}^{-1}$);

L_a – lâmina de água aplicada pela irrigação (mm^{-1}).

3.7 Análise estatística

Foi realizada análise de variância complementado com o teste de Tukey para todas as variáveis citadas anteriormente. Sendo considerado significativo quando $P < 0,05$. As análises serão realizadas no software Minitab 16.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Avaliação do sistema de irrigação

Para os sistemas de irrigação, foram utilizadas mangueiras gotejadoras Tiquira - Petroisa® espaçadas em 0,20 m entre gotejadores e 0,50 m entre as linhas, com vazão nominal de 1,2 L h⁻¹ a pressão de 7 m.c.a.. Para cada tratamento foi estabelecido um sistemas de irrigação independente. Assim, houve a necessidade de realizar o teste de uniformidade para que todos os tratamentos recebessem água de maneira proporcional.

O sistema utilizado para irrigação por gotejamento superficial convencional apresentou uniformidade de 94,21%, enquanto que o sistema de irrigação convencional subsuperficial foi de 93,77%, para as irrigações com injeção de ar superficial e subsuperficial, apresentaram uniformidade de 93,35% e 92,8%, respectivamente. Sendo assim, foi assegurado que a água fosse distribuída de maneira uniforme em todos os tratamentos. Para o segundo ciclo, as uniformidades encontradas foram 93,27% para irrigação superficial convencional, já para a irrigação subsuperficial foi de 92,65%, para as irrigações com injeção de ar atmosférico, foi encontrado 92,4% e 91,86% para irrigação superficial e subsuperficial, respectivamente.

4.2 Tensões e lâminas aplicadas

Com intuito de estabelecimento da cultura, nos primeiros 7 DAT não houve diferenciação dos tratamentos na condução dos 2 ciclos. Neste período, foi aplicado aproximadamente 40 mm em cada tratamento.

As leituras e registros das tensões para cada tratamento foram realizadas diariamente antes da irrigação, sendo possível observar o comportamento da água no solo.

No primeiro ciclo, os tratamentos apresentaram as tensões máxima e mínima próximas, sendo registrada no tratamento cultivado com *DI* + ar, máxima -19,41 kPa e mínima de -11,58 kPa, seguido por *SDI* + ar, *DI* e *SDI*, com máximas de -19,39, -19,32 e -19,25 kPa, e mínimas de -12,52, -12,30 e -12,10 kPa, respectivamente.

Já no segundo ciclo, a maior tensão foi registrada no tratamento *SDI*, com máxima de -17,01 kPa e mínima de -11,07 kPa, seguido pelos tratamentos *DI*, *SDI* + ar e *DI* + ar, registrando máximas de -16,69, -16,13 e -15,11 kPa, e mínimas de -10, -12,46 e -10 kPa, respectivamente (Figuras 13 e 14).

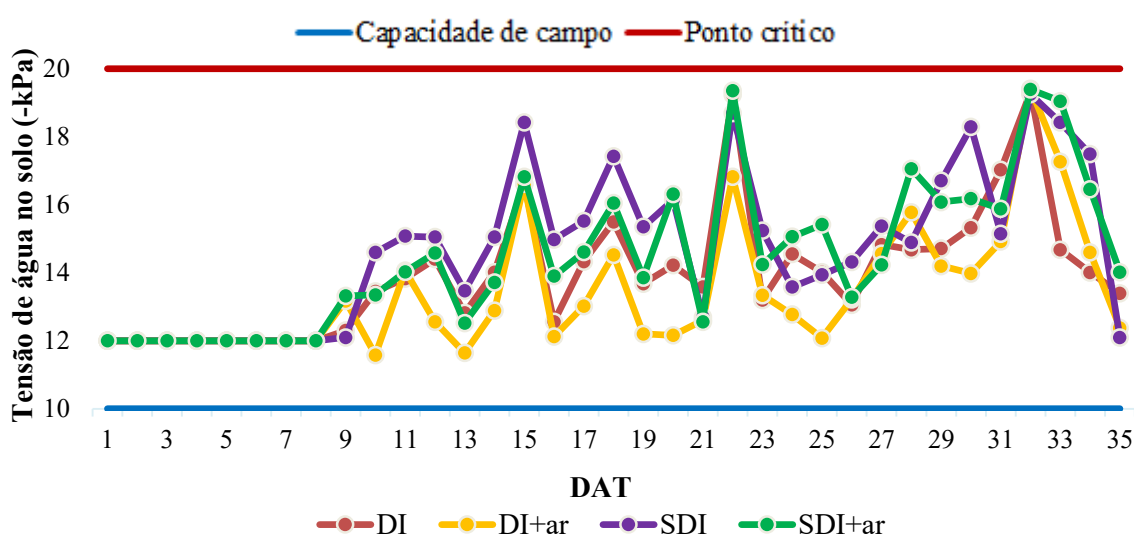


Figura 13. Valores diários das tensões de água no solo a 0,15 m de profundidade para cada tratamento, no primeiro ciclo.

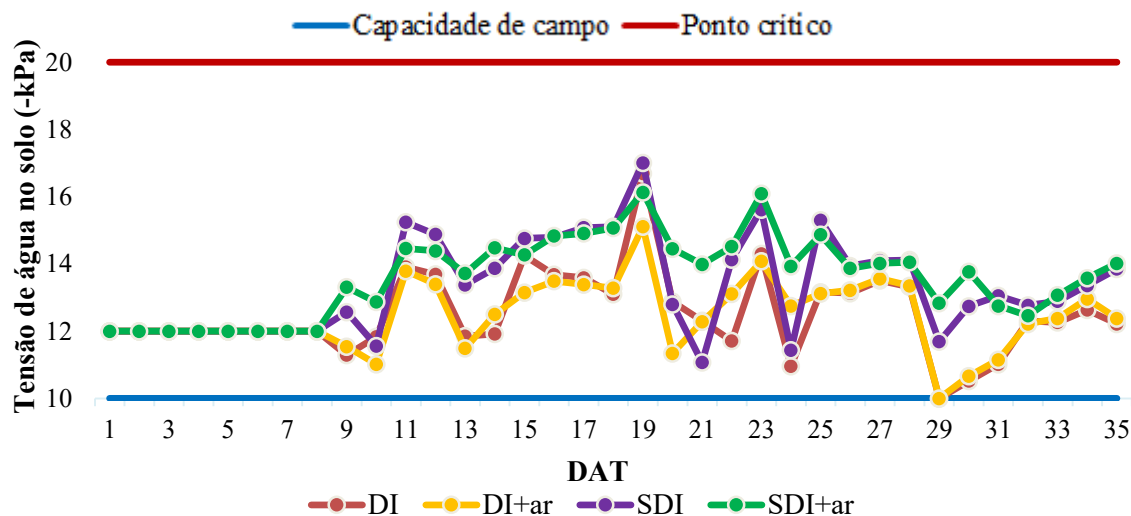


Figura 14. Valores diários das tensões de água no solo a 0,15 m de profundidade para cada tratamento, no segundo ciclo.

4.3 Resultado das análises

4.3.1 Primeiro ciclo

O experimento contou com 2 ciclos, o primeiro cultivado no período de verão e o segundo no outono. Ambos foram conduzidos com os mesmos tratamentos culturais, adubações e dias de coletas. Os ciclos foram ainda separados em 2 ensaios, o primeiro contou com 16 parcelas para análises destrutivas, sendo coletado 2 plantas por parcela para análises paramétricas. O segundo ensaio contou com as 4 parcelas restantes onde os mesmos tratamentos foram utilizados, porém, essas parcelas foram utilizadas somente para análise de produção no último dia de coleta.

4.3.1.1 Ensaio I

O primeiro ciclo da cultura foi conduzido no período de 17 de novembro à 22 de dezembro de 2014. As avaliações foram feitas em 5 diferentes momentos, sendo a primeira aos 7 dias após o transplante (DAT), a segunda foi realizada aos 14 DAT, terceira aos 21 DAT, a quarta aos 28 DAT e a quinta análise realizada aos 35 DAT

4.3.1.1.1 Análises biométricas

Ainda que nos primeiros 7 dias de condução do ciclo, os tratamentos não foram diferenciados, aos 7 DAT as análises foram realizadas para ter como referência a evolução dos parâmetros nas avaliações futuras (Tabelas 6 e 7).

Tabela 6. Análise de variância das variáveis Massa Aérea Fresca (MAF), Massa Aérea Seca (MAS), Número de Folhas (NF) e Diâmetro de Caule (DC) em função da irrigação superficial e subsuperficial, com e sem ar atmosférico, aos 7 DAT.

Métodos	(MAF)			(MAS)			(NF)			(DC)		
	Usual	Ar	Média	Usual	Ar	Média	Usual	Ar	Média	Usual	Ar	Média
<i>DI</i>	1,9	1,9	1,9	0,2	0,2	0,2	5,5b	6,0a	6,0	2,9	2,7	2,8
<i>SDI</i>	2,0	1,9	1,9	0,2	0,2	0,2	6,0a	6,0a	6,0	2,7	2,8	2,8
Média	1,9	1,9		0,2	0,2		6,0	6,0		2,8	2,8	
CV (%)	26,44			38,65			15,19			12,68		

Somente as médias seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Tabela 7. Análise de variância das variáveis Massa Radicular Fresca (MRF), Massa Radicular Seca (MRS) e Comprimento Radicular (CR) em função da irrigação superficial e subsuperficial, com e sem ar atmosférico, aos 7 DAT.

Métodos	(MRF)			(MRS)			(CR)		
	Usual	Ar	Média	Usual	Ar	Média	Usual	Ar	Média
<i>DI</i>	0,4Aa	0,4Ab	0,4	0,04	0,04	0,04	8,4	6,5	7,4
<i>SDI</i>	0,4Ab	0,3Bb	0,4	0,04	0,04	0,04	8,3	7,8	8,0
Média	0,4a	0,3b		0,04	0,04		8,3	7,2	
CV (%)	22,46			24,08			22,97		

Somente as médias seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Como nos primeiros 7 DAT não houve diferenciação de tratamentos, as lâminas foram iguais e distribuídas da mesma maneira, era esperado que não houvesse diferenças significativas tanto na parte aérea quanto radicular das plantas. Porém, a MRF apresentou diferença significativa e interação entre os tratamentos utilizados, mas isso pode ter ocorrido possivelmente devido ao vigor das sementes utilizadas ou condição ambiental. Diversas pesquisas confirmam que o nível de vigor das sementes de hortaliças está diretamente relacionado à emergência das plântulas (MARCOS FILHO E KIKUTI, 2006), podendo causar desuniformidades, resultando em estandes irregulares.

Na segunda coleta realizada aos 14 DAT, já com os tratamentos diferenciados, lâminas aplicadas de acordo com as leituras realizadas com uso de tensiômetro foi possível ver diferenças significativas quanto a parte aérea da planta, porém, somente em relação a injeção de ar. O tratamento o qual foi utilizado a irrigação por gotejamento disposto superficialmente sem a injeção de ar atmosférico mostrou maior massa comparado aos demais tratamentos.

A MRF e CR, assim como a MAF apresentou diferença significativa quanto a injeção de ar atmosférico, não diferenciando-se quanto à disposição dos sistemas.

Os demais parâmetros avaliados aos 14 DAT não obtiveram diferenças significativas quanto à disposição dos sistemas e a injeção de ar atmosférico (Tabelas 8 e 9).

Tabela 8. Análise de variância das variáveis Massa Aérea Fresca (MAF), Massa Aérea Seca (MAS), Número de Folhas (NF) e Diâmetro de Caule (DC) em função da irrigação superficial e subsuperficial, com e sem ar atmosférico, aos 14 DAT.

Métodos	(MAF)			(MAS)			(NF)			(DC)		
	Usual	Ar	Média	Usual	Ar	Média	Usual	Ar	Média	Usual	Ar	Média
<i>DI</i>	8,4	5,2	6,8	0,6	0,4	0,5	8,5	8,0	8,0	3,9	3,0	3,4
<i>SDI</i>	6,7	5,8	6,2	0,5	0,5	0,5	8,0	8,5	8,0	3,5	3,9	3,7
Média	7,5a	5,5b		0,6	0,5		8,0	8,0		3,7	3,5	
CV (%)	26,31			20,92			11,00			20,92		

Somente as médias seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Tabela 9. Análise de variância das variáveis Massa Radicular Fresca (MRF), Massa Radicular Seca (MRS) e Comprimento Radicular (CR) em função da irrigação superficial e subsuperficial, com e sem ar atmosférico, aos 14 DAT.

Métodos	(MRF)			(MRS)			(CR)		
	Usual	Ar	Média	Usual	Ar	Média	Usual	Ar	Média
<i>DI</i>	0,5	0,4	0,5	0,08	0,07	0,07	8,6	9,9	9,3
<i>SDI</i>	0,6	0,5	0,5	0,08	0,07	0,07	11,5	9,5	9,3
Média	0,6a	0,4b		0,08	0,07		10,1	9,7	
CV (%)	33,16			31,48			25,22		

Somente as médias seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Prela-Pantano et al., (2015), em experimento avaliando o desempenho de 6 variedades de alface na região de Americana – SP, sendo elas Angelina (americana), Bariri (solta-lisa), Bruna (crespa), Green Ball (mimosa), Maravilha Roxa das Quatro Estações (lisa-repolhuda) e Verdinha (lisa), relata que aos 14 DAT as variedades apresentaram Massa fresca de 2,78, 1,56, 1,47, 1,22, 0,93 e 1,58 g pl⁻¹, respectivamente. Valores inferiores aos relatados em todos os tratamentos utilizados no presente experimento.

Segundo Marques et al., (2006) na irrigação por gotejamento subsuperficial a água é aplicada abaixo da superfície do solo, promovendo assim culturas com raízes profundas. Desse modo se justifica o fato do tratamento utilizando o *SDI* apresentar o maior valor quanto a MRF e CR.

Aos 21 DAT, foi possível constatar um grande aumento da MAF em todos os tratamentos. Em comparação as análises realizadas aos 14 DAT, houve um incremento médio de aproximadamente 500% para as plantas irrigadas via *DI*, e 915% para o mesmo com injeção de ar, 803% para as plantas com irrigação disposta subsuperficialmente e 790% com injeção de ar atmosférico (Tabelas 10 e 11).

Tabela 10. Análise de variância das variáveis Massa Aérea Fresca (MAF), Massa Aérea Seca (MAS), Número de Folhas (NF) e Diâmetro de Caule (DC) em função da irrigação superficial e subsuperficial, com e sem ar atmosférico, aos 21 DAT.

Métodos	(MAF)			(MAS)			(NF)			(DC)		
	Usual	Ar	Média	Usual	Ar	Média	Usual	Ar	Média	Usual	Ar	Média
<i>DI</i>	41,7	47,2	44,5	2,0	2,6	2,3B	13,5	13,5	13,5	7,7	7,8	7,7
<i>SDI</i>	53,8	45,9	49,5	3,3	2,9	3,1A	13,0	12,5	12,5	7,5	7,3	7,4
Média	47,8	46,6		2,6	2,7		13,5	13,0		7,6	7,6	
CV (%)	39,89			37,90			7,04			15,99		

Somente as médias seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Tabela 11. Análise de variância das variáveis Massa Radicular Fresca (MRF), Massa Radicular Seca (MRS) e Comprimento Radicular (CR) em função da irrigação superficial e subsuperficial, com e sem ar atmosférico, aos 21 DAT.

Métodos	(MRF)			(MRS)			(CR)		
	Usual	Ar	Média	Usual	Ar	Média	Usual	Ar	Média
<i>DI</i>	2,3	2,7	2,5	0,2	0,2	0,2	13,7	14,4	14,0
<i>SDI</i>	2,5	2,2	2,4	0,2	0,2	0,2	14,7	13,5	14,1
Média	2,4	2,5		0,2	0,2		14,2	13,9	
CV (%)	31,03			25,27			13,39		

Somente as médias seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Apesar de não significativo, as plantas conduzidas sob *SDI* apresentaram maiores valores quanto a MAF, com aproximadamente 6 g a mais que a segunda maior massa.

A MAS mostrou diferença significativa quando levado em consideração as disposições das mangueiras de gotejamento, onde o *SDI* sem a injeção de ar atmosférico apresentou maior massa em relação aos demais tratamentos, fato que se justifica pelo fato de ter apresentado a maior MAF.

O NF encontrados no presente trabalho aos 21 DAT diverge dos resultados encontrados por Pivetta et al., (2010), que avaliando o efeito da irrigação com injeção de ar na produtividade de alface cultivada em ambiente protegido na região de Évora - Portugal, encontrou valores superiores, relatando média de 15,5 folhas por planta.

Quanto as análises de raiz, a MRF e CR já não apresentam grandes diferenças como apresentavam nas avaliações anteriores, isso ocorre possivelmente devido ao manejo, onde o solo é mantido com teor de água à favorecer a absorção, satisfazendo as necessidades hídricas da planta.

As análises realizadas aos 28 DAT mostram que não houve novamente diferença significativa em nenhuma das análises tanto em relação a disposição dos sistemas quanto a injeção de ar atmosférico (Tabelas 12 e 13).

Tabela 12. Análise de variância das variáveis Massa Aérea Fresca (MAF), Massa Aérea Seca (MAS), Número de Folhas (NF) e Diâmetro de Caule (DC) em função da irrigação superficial e subsuperficial, com e sem ar atmosférico, aos 28 DAT.

Métodos	(MAF)			(MAS)			(NF)			(DC)		
	Usual	Ar	Média	Usual	Ar	Média	Usual	Ar	Média	Usual	Ar	Média
<i>DI</i>	124,4	98,0	111,2	6,2	5,3	5,8	17,5	16,5	16,5	9,3	9,0	9,2
<i>SDI</i>	112,3	116,0	114,2	5,8	6,1	5,9	14,5	15,0	15,0	8,7	8,5	8,6
Média	118,4	107,0		6,0	5,7		15,0	15,0		9,0	8,7	
CV (%)	45,61			36,39			5,35			17,20		

Somente as médias seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Tabela 13. Análise de variância das variáveis Massa Radicular Fresca (MRF), Massa Radicular Seca (MRS) e Comprimento Radicular (CR) em função da irrigação superficial e subsuperficial, com e sem ar atmosférico, aos 28 DAT.

Métodos	(MRF)			(MRS)			(CR)		
	Usual	Ar	Média	Usual	Ar	Média	Usual	Ar	Média
<i>DI</i>	3,7	4,2	3,7	0,4	0,3	0,4	14	13,6	13,8
<i>SDI</i>	3,7	3,6	3,9	0,3	0,3	0,3	14,7	13,9	14,3
Média	3,7	3,9		0,4	0,3		14,3	13,8	
CV (%)	35,85			30,84			17,93		

Somente as médias seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Em todos os tratamentos, a MAF apresentou incremento mínimo de 206% em relação às análises realizadas aos 21 DAT, destacando o tratamento conduzido com *DI* com aproximadamente 300% de aumento, seguido pelo *SDI* + ar com aproximadamente 250% de incremento. As plantas conduzidas com irrigação disposta superficialmente sem injeção de ar se destacou aos 28 DAT, apesar de não significativo em relação aos demais, segundo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Quanto as demais análises da parte aérea das plantas, não houve grandes diferenças entre os tratamentos, porém, assim como a MAF o cultivo sob irrigação superficial convencional apresentou as maiores médias.

Nas análises de raiz, a irrigação via gotejamento superficial com injeção de ar apresentou maiores valores para MRF. A MRS apresentou valores positivos nas plantas conduzidas sob *DI* e o CR sob *SDI*, ambos nas irrigações sem injeção de ar.

Aos 35 DAT, é possível observar que quanto as análises de parte aérea realizada nos tratamentos, somente a NF apresentou diferença significativa com interação entre os tratamentos, além deste, nenhum outro parâmetro obteve diferença com significância, segundo o teste de Tukey (Tabelas 14 e 15).

Quanto as análises de raiz, nenhum parâmetro apresentou diferença significativa (Tabela 16).

Tabela 14. Análise de variância das variáveis Massa Aérea Fresca (MAF), Massa Aérea Seca (MAS) e Diâmetro de Caule (DC) em função da irrigação superficial e subsuperficial, com e sem ar atmosférico, aos 35 DAT.

Métodos	(MAF)			(MAS)			(DC)		
	Usual	Ar	Média	Usual	Ar	Média	Usual	Ar	Média
<i>DI</i>	358,7	362,9	360,8	9,2	9,9	9,6	14,1	14,1	14,1
<i>SDI</i>	434,8	447,6	441,2	11,0	10,2	10,6	13,5	12,8	13,1
Média	396,8	405,8		10,1	10,0		13,8	13,4	
CV (%)		12,81			21,16			11,20	

Somente as médias seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Tabela 15. Análise de variância da variável Número de Folhas (NF) em função da irrigação superficial e subsuperficial, com e sem ar atmosférico, aos 35 DAT.

Métodos	(NF)		
	Usual	Ar	Média
<i>DI</i>	25,0B	24,0B	24,0B
<i>SDI</i>	27,5A	27,0A	27,0A
Média	26,0	25,5	
CV (%)		3,5	

Somente as médias seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Tabela 16. Análise de variância das variáveis Massa Radicular Fresca (MRF), Massa Radicular Seca (MRS) e Comprimento Radicular (CR) em função da irrigação superficial e subsuperficial, com e sem ar atmosférico, aos 35 DAT.

Métodos	(MRF)			(MRS)			(CR)		
	Usual	Ar	Média	Usual	Ar	Média	Usual	Ar	Média
<i>DI</i>	7,6	6,9	7,2	0,8	0,7	0,7	15,4	13	14,2
<i>SDI</i>	8,0	7,3	7,6	0,8	0,7	0,8	15,2	16,5	15,9
Média	7,8	7,1		0,8	0,7		15,3	14,8	
CV (%)		17,78			13,63			16,76	

Somente as médias seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

O parâmetro NF além de diferença significativa, houve interação, porém, somente quando levado em relação os métodos. O tratamento que obteve menor número foi o que dispôs de irrigação superficial com injeção de ar, com média de 24 folhas

por planta. As plantas que apresentaram maior média foram as cultivadas com *SDI*, com média de 27,5, seguida das cultivadas com *SDI* + ar, com 27 folhas por planta. Os resultados encontrados foram superiores ao encontrado por Oliveira et al. (2009), os autores em experimento o qual avaliam diferentes adubos orgânicos e adubação verde na cultura da alface, relatam média de 24,6 folhas para a cultivar Vanda, utilizando adubo orgânico comercial.

A MAF, apesar de não apresentar diferença estatística quanto aos métodos e a injeção de ar atmosférico, as plantas cultivadas com *SDI* apresentou aproximadamente 20% maior massa do que a cultivada em *DI*, e as cultivadas com *SDI* + ar aproximadamente 23% maior que *DI* + ar. As plantas cultivadas com *SDI* + ar apresentaram uma média de aproximadamente 90 g a mais que o menor resultado, plantas cultivadas com *DI*. Resultados bem acima dos encontrado por Sediya et al., (2009) avaliando o desempenho de cultivares de alface para cultivo hidropônico no verão e no inverno. O autores, obtiveram média de 215 g para MAF da cultivar Vera cultivada em sistema hidropônico no período de verão.

Apesar de a MAF, as quais não foram significativas apresentarem grande diferença entre os valores, os resultados obtidos em MAS foram bem próximas, variando de 9,9 a 11 g, onde o maior resultado obtido foi nas plantas conduzidas com *SDI* + ar seguida de *SDI*, assim como apresentado na MAF.

Quanto ao DC não houve diferença significativa, porém, os tratamentos com as irrigações dispostas superficialmente, tanto com injeção de ar como sem, apresentaram os maiores diâmetros, onde ambos apresentaram média de 14,1 mm. Segundo Mota (1999), o diâmetro do caule é muito importante para a indústria de *fast food*, onde os caules são retirados para que haja o fatiamento da cabeça da alface, sendo assim, quanto maior o DC mais rápido é retirado, aumentando o rendimento industrial, tendo em vista o processo ser manual.

Quanto as análises radiculares, a MRF apesar de não apresentar diferença significativa, as plantas cultivadas com *SDI* se destacou das demais apresentando valores superiores, o resultado inferior foi obtido nas plantas cultivadas com *DI* + ar. A MRS não apresentou diferença significativa e os valores foram muito próximos, variando de 0,7 a 0,8 g entre os tratamentos utilizados. Valores maiores foram encontrados por Sediya et al. (2009), avaliando o desempenho de cultivares de alface para cultivo hidropônico no verão

e no inverno. Os autores, obtiveram média de 1,3 g para MRS da cultivar Vera cultivada em sistema hidropônico no período de verão.

Para o CR apesar de não significativo, as plantas que foram cultivadas com *SDI* + ar, apresentaram raízes maiores, cerca de 7% maior que o segundo maior resultado. Resultados possivelmente ocorrido devido ao fato de a injeção de ar atmosférico proporcionar uma aeração maior ao solo, possibilitando um maior crescimento das raízes.

Apesar de a cultura da alface apresentar sistema radicular do tipo pivotante, a raiz primária não possui grande desenvolvimento, segundo Filgueira (2000). Por ser uma cultura de ciclo rápido, seu balanço de energia é direcionado à parte aérea para promover a perpetuação da espécie, apresentando pouco desenvolvimento das demais características.

4.3.1.1.2 Análises nutricionais

Para a verificação do parâmetro nutricional da cultura nos diferentes tratamentos, foi realizada análise foliares aos 35DAT. As análises foram realizadas para os macronutrientes N, F, K, Ca, Mg, S, e os micronutrientes Fe, B, Cu, Mn, Zn e Si (Tabelas 17 e 18).

Tabela 17. Análise de variância dos macronutrientes N, F, K, Ca, Mg, S em função da irrigação superficial e subsuperficial, com e sem ar atmosférico, aos 35 DAT.

Métodos	N			P			K			Ca			Mg			S		
	Usual	Ar	Média	Usual	Ar	Média	Usual	Ar	Média	Usual	Ar	Média	Usual	Ar	Média	Usual	Ar	Média
DI	38,6	38,7	38,6	5,8	5,7	5,7	96,1	89,3	92,7	11,3	10,3	10,8	4,7	4,5	4,6A	2,2	2,3	2,3
SDI	38,7	38,7	38,7	5,4	5,1	5,2	87,6	92,5	90,1	10,5	10,8	10,7	4,1	4,3	4,2B	2,2	2,1	2,2
Média	38,7	38,6		5,6	5,4		91,8	90,9		10,9	10,6		4,4	4,4		2,2	2,2	
CV (%)	6,25			9,47			6,90			9,47			7,40			6,87		

Somente as médias seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Tabela 18. Análise de variância dos micronutrientes B, Cu, Fe, Mn e Zn em função da irrigação superficial e subsuperficial, com e sem ar atmosférico, aos 35 DAT.

Métodos	B			Cu			Fe			Mn			Zn		
	Usual	Ar	Média	Usual	Ar	Média	Usual	Ar	Média	Usual	Ar	Média	Usual	Ar	Média
DI	41,8	40,2	41,0	16,0	16,0	16,0	1196,0	1192,5	1194,3	161,0	183,0	172,0	58,0	54,8	56,9
SDI	42,1	34,7	38,4	16,3	14,3	15,3	1163,8	811,0	987,4	184,5	141,3	162,9	54,3	59,3	56,8
Média	41,9a	37,5b		16,1	15,1		1179,9	1001,8		172,8	162,1		57,0	56,6	
CV (%)	9,01			6,26			39,57			21,75			12,63		

Somente as médias seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Para as análises de macronutrientes nas plantas, somente apresentou diferença significativa os teores de Mg em relação as disposições da irrigação.

O acúmulo de N, nutriente indispensável ao desenvolvimento das plantas (MALAVOLTA, 1989), não foi significativo e apresentou valores muito próximos, variando de 38,6 a 38,7 g kg⁻¹. Segundo Turazi et al., (2006), o nitrogênio é responsável pela expansão celular, portanto, plantas maiores e mais pesadas apresentariam maior teor desse nutriente. Os teores de N do presente trabalho se mostram superiores aos encontrados na cultivar 'Regina 255' por Moura (2009) com valores médios de 31,33 a 59 g kg⁻¹, e Balbinot Júnior et al. (2006) com médias variando de 20 a 36 g kg⁻¹.

Para o acúmulo de P, apesar de não significativo, as plantas conduzidas com uso da irrigação de maneira superficial, com e sem injeção de ar, apresentaram maior teores quando comparadas as plantas conduzidas com irrigação subsuperficial. Segundo Grangeiro et al. (2006), apesar das quantidades de fósforo exigidas pelas culturas serem baixas, principalmente quando comparadas com o nitrogênio e potássio, a sua deficiência afeta o desenvolvimento da planta e pode interferir no equilíbrio nutricional da cultura. Os resultados encontrados, se enquadram nos teores considerados adequados para plantas bem nutridas de acordo com Garcia (1982), que encontraram teores entre 4,4 e 7,1 g kg⁻¹ de fósforo de massa seca, nas cultivares 'Brasil 48' e 'Clause's Aurélia', respectivamente.

Quanto ao teor de K na planta, não apresentaram diferença significativa segundo teste de Tukey a 5%, porém, apresentou grande diferença entre os tratamentos, variando de 89,3 g kg⁻¹ para as plantas cultivadas com *DI* + ar e 96,1 para o mesmo sem injeção de ar, valores acima da média estipulada como ideal, de 50 a 80 g kg⁻¹. Como a absorção e a retenção de potássio nas células das plantas são afetadas pela competitividade de H⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ e Na⁺, o acúmulo de Ca²⁺ abaixo da média considerada ideal pode ter favorecido a absorção de K⁺. Os resultados encontrados, são superiores aos encontrado por Moura (2009) com média de 23,64 a 62,5 g kg⁻¹ e encontrados por Silva et al. (2005), de 16 g kg⁻¹. Os resultados obtidos concordam com os obtidos por Grangeiro et al. (2006), que observaram que o potássio foi o nutriente encontrado em maior quantidade pelas plantas de alfaca. Os resultados superiores encontrados em relação aos demais autores citados, podem provavelmente ser justificadas pelo tipo de solo, cultivar usada ou maior exigência em K, diferente da utilizada no presente trabalho.

O teor de cálcio, não apresentou diferença significativa e apresentou pouca diferença entre os tratamentos com irrigação subsuperficial, variando de 10,5 a 10,8 g kg⁻¹ sem e com injeção de ar, respectivamente, valores abaixo da média considerada ideal, entre 15 a 25 g kg⁻¹. O Ca²⁺ é Para os tratamentos com irrigações dispostas superficialmente, apresentaram média de 10,3 g kg⁻¹ sem injeção de ar e 11,3 g kg⁻¹ com injeção de ar atmosférico. A forma absorvida pela planta (Ca²⁺) existentes na solução do solo, é diminuída por altas concentrações de K⁺ e Mg²⁺ e são absorvidas pelas plantas por interceptação radicular e fluxo de massa. As irrigações dispostas subsuperficialmente, com e sem injeção de ar atmosférico, apesar de apresentarem maior comprimento, não favoreceram a absorção. Segundo Grangeiro et al. (2006), a deficiência de cálcio é um dos principais problemas na cultura da alface, pois é responsável por um distúrbio fisiológico conhecido como “queima dos bordos”. Os teores de Ca encontrado, são superiores aos obtidos por Moura (2009), com valores de 5,5 a 10,7 g kg⁻¹ na massa seca.

O acúmulo de Mg nas plantas apresentou diferença significativa quando levado em consideração as disposições dos sistemas de irrigação, apresentando maior valor nas plantas cultivadas com uso da irrigação disposta superficialmente, sendo esse 4,7 g kg⁻¹, em contrapartida, as plantas cultivadas com irrigação subsuperficial apresentaram médias de 4,1 g kg⁻¹. A absorção de Mg²⁺ é fortemente influenciado pela presença de K⁺ e Ca²⁺, como o acúmulo de potássio apresentou valor acima da média considerada ideal, é provável que a absorção tenha sido influenciada. Os acúmulos de Mg encontrado, são similares aos obtidos por Moura (2009) de 4,2 a 8,1 g kg⁻¹ em massa seca, e aos obtidos Garcia (1982), com teores que variaram de 3,5 a 4,3 g kg⁻¹.

O teor de S acumulado nas plantas não mostraram diferença significativa entre si à probabilidade de 5%, apresentando valores próximos, variando de 2,1 a 2,3 g kg⁻¹. Os teores de S acumulado obtidos se estão acima dos valores médios encontrados por Silva et al. (2005) - 1,9 g Kg⁻¹, similares aos encontrados por Balbinot Júnior et al. (2006) - 1,2 a 2,3 g Kg⁻¹ em massa seca, e as médias de Moura (2009) de 5,83 e 5,58 g kg⁻¹.

Em relação aos micronutrientes nas plantas, houve variações perceptíveis nos teores de todos nutrientes, porém, somente o teor de B apresentou diferença significativa em relação a injeção de ar atmosférico na irrigação.

O maior acúmulo de B foi encontrado nas plantas sob irrigação subsuperficial, apresentando 42,1 mg kg⁻¹ sem e 40,2 mg kg⁻¹ com injeção de ar atmosférico. Quanto as plantas com irrigação disposta subsuperficialmente, quando sem a injeção de ar, o

acúmulo foi bem maior do que com injeção, sendo 42,1 e 34,7 mg kg⁻¹, respectivamente. O B é de extrema importância para a alfaca, o acúmulo considerado ideal na planta varia de 30 a 60 mg kg⁻¹. A absorção desse nutriente está diretamente relacionado ao seu teor na concentração total na solução do solo e não no teor total no solo. Para conclusões mais precisas sobre o nutriente, é necessário mais pesquisas voltada para o assunto. Os teores obtidos no presente trabalho, estão bem abaixo dos encontrado por Moura (2009), de 89,86 a 128,97 mg kg⁻¹ em massa seca, e acima dos relatados por Balbinot Júnior et al. (2006), com teores entre 14,0 a 22,0 mg kg⁻¹ e por Silva et al. (2005), que obteve 16,6 mg kg⁻¹.

O acúmulo de Cu não apresentou diferença significativa entre os tratamentos utilizados, porém, as plantas irrigadas via *SDI* + ar apresentaram valores inferiores aos demais, com média de 14,3 mg kg⁻¹, aproximadamente 12% menor que a segunda menor média. Segundo Alvarenga et al. (2003), o cobre é importante para alfaca americana, tendo em vista que a deficiência desse nutriente resulta na má formação da cabeça. Os acúmulos de Cu obtidos estão acima dos encontrados por Yuri et al. (2004), com médias de 10,4 a 11,6 mg kg⁻¹ em massa seca, por Balbinot et al. (2006), que variaram de 2,0 a 5,0 mg kg⁻¹ e relatados por Alvarenga et al. (2003), com variação de 5,0 a 8,0 mg kg⁻¹.

Para o acúmulo de Fe, houve grande diferença entre as irrigações dispostas subsuperficialmente apesar de não significativas. As plantas com *SDI* + ar, apresentou valor de 811 mg kg⁻¹, aproximadamente 43% inferior ao mesmo sem a adição de ar atmosférico na irrigação. Quanto as irrigações dispostas superficialmente, apresentaram valores próximos, variando em 3,5 mg kg⁻¹. A forma Fe²⁺ é mais importante para a planta fisiologicamente, porém, é facilmente oxidado a Fe³⁺ e em seguida precipitado. Para uma conclusão precisa, é necessário pesquisas com aprofundamento no assunto. Os teores de Fe, foram superiores aos encontrados por Trani e Raij (1997), que obtiveram valores que variam de 7,0 a 20,0 mg kg⁻¹ em massa seca, relatados por Balbinot Júnior et al. (2006), com teores variando de 15,0 a 47,0 mg kg⁻¹ e por Moura (2009), que variam de 50,77 a 102,40 mg kg⁻¹.

Os teores de Mn nas plantas, variaram quanto as disposições do sistema e quanto a injeção de ar atmosférico, apesar de não demonstrar diferença significativa. Nas plantas cultivadas com *DI*, os valores foram de 161 e 183 mg kg⁻¹ sem e com injeção de ar, respectivamente. Para as cultivadas sob *SDI*, as diferenças foram ainda maiores, apresentando 141,3 mg kg⁻¹ com ar e 184,5 sem injeção de ar atmosférico. O manganês em excesso é tóxico para as plantas (MALAVOLTA, 1989). O acúmulo

encontrado nas plantas são superiores às médias encontradas por Moura (2009), variando de 31,33 a 109,67 mg kg⁻¹ e Alvarenga (2003) com médias de 28,6 mg kg⁻¹.

Quanto aos teores de Zn nas plantas, além de não apresentarem valores significativos, segundo teste de Tukey a 5% de probabilidade, não mostraram grandes diferenças quanto aos valores. As plantas com maior acúmulo de Zn, foram as irrigadas via *SDI* + ar, com média de 56,8 mg kg⁻¹. Com aproximadamente 9% a menos, as plantas sob o mesmo sistema, porém, sem injeção de ar atmosférico, apresentaram a pior média. O acúmulo de Zn encontrado nas plantas concordam com os encontrados por Moura (2009), variando de 44,0 a 91,67 mg kg⁻¹ em massa seca e acima dos valores relatados por Balbinot Júnior et al. (2006), com acúmulo de Zn variando de 15,0 a 47,0 mg kg⁻¹.

4.3.1.2 Ensaio II

O segundo ensaio contou com as 4 parcelas restantes, das 20 utilizadas durante o experimento, onde cada uma é representada por um canteiro medindo 3,50 m de comprimento e 1,10 m de largura, totalizando 3,85 m² de área, com os mesmos tratamentos utilizados no Ensaio I. Porém, utilizadas somente para análise de produção.

4.3.1.2.1 Produção comercial (PC)

Para a análise de Produção Comercial, as plantas foram coletadas aos 35 DAT (Figura 15), feito a pesagem e extrapolando o valor para um hectare com população de 60.000 plantas, com base no espaçamento utilizado (Tabela 19).



Fonte: Gomes (2015)

Figura 15. Plantas aos 35 DAT, primeiro ciclo

Tabela 19. Análise de variância da variável Produção Comercial ($t\ ha^{-1}$) em função da irrigação superficial e subsuperficial, com e sem ar atmosférico, aos 35 DAT.

Método	(PC)		
	Usual	Ar	Média
<i>DI</i>	14,7	15,7	15,2
<i>SDI</i>	16,8	15,8	16,3
Média	15,7	15,7	
CV (%)	34,57		

Somente as médias seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

É possível observar que os valores não apresentaram diferença significativa. Porém, as plantas cultivadas sob *SDI* apresentaram maiores valores em relação as demais, com $16,8\ t\ ha^{-1}$, cerca $1,68\ kg\ m^{-2}$, aproximadamente 6% mais massa que o segundo maior valor. Pivetta et al. (2010) trabalhando com injeção de ar via irrigação subsuperficial na cultura da alface, variedade Mention, encontraram valores inferiores quanto a produção comercial, com médias de $7,52\ t\ ha^{-1}$ para irrigação subsuperficial com injeção de ar e $7,39\ t\ ha^{-1}$ para o mesmo sem injeção de ar atmosférico, destacando que os baixos resultados encontrados no experimento foram mais influenciados pela variedade cultivada do que pela funcionalidade da injeção de ar.

4.3.1.2.2 Avaliação da irrigação

Na Figura 16, é possível visualizar a Produtividade ($t\ ha^{-1}$) referente a cada tratamento e suas respectivas lâminas ($mm\ ciclo^{-1}$).

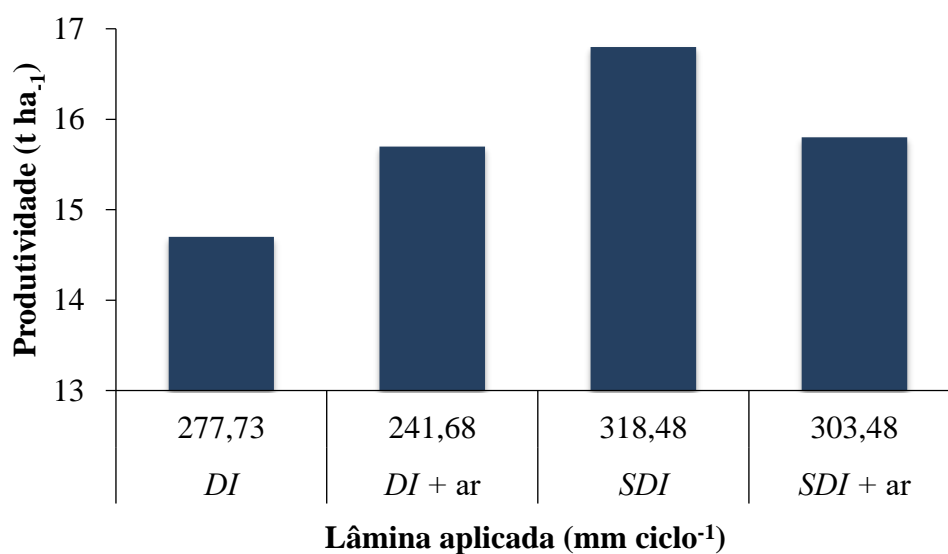


Figura 16. Valores de produtividade em $t\ ha^{-1}$ em relação às lâminas aplicadas no ciclo em mm^{-1} para cada tratamento.

Como é possível ver na Figura 16, a irrigação a qual foi disposta subsuperficialmente sem injeção de ar, obteve a maior produção ($t\ ha^{-1}$) em relação aos demais tratamentos e a maior lâmina aplicada (mm^{-1}) durante todo o ciclo.

Apesar do tratamento com cultivo sob *SDI* apresentar maior produção, por apresentar a maior lâmina aplicada, fez com que reduzisse a eficiência. Tendo esse parâmetro, o tratamento que apresentou maior eficiência no uso da água de irrigação foi o conduzido com *DI+ar*, produzindo $0,06\ t\ ha^{-1}\ mm^{-1}$ (Tabela 20).

Tabela 20. Valores médio das variáveis Lâmina Aplicada ($mm\ ciclo^{-1}$), Produtividade ($t\ ha^{-1}$) e Eficiência do Uso da Água de Irrigação ($t\ ha^{-1}\ mm^{-1}$) em função da irrigação superficial e subsuperficial, com e sem ar atmosférico.

Métodos	Lâminas Aplicada	Produtividade	EUAI
<i>DI</i>	277,7	14,7	0,05
<i>DI+ar</i>	241,7	15,7	0,06
<i>SDI</i>	318,5	16,8	0,05
<i>SDI+ar</i>	303,5	15,8	0,05

4.3.2 Segundo ciclo

Ao término do primeiro ciclo, encontrou-se a necessidade de aumentar uma repetição por parcela, pois o valor do desvio padrão apresentado foi alto. Além o aumento da repetição, houve a necessidade de analisar o VR das plantas cultivadas para explicar o fato de algumas plantas apresentarem maior MRF, em contrapartida, menor CR.

O segundo ciclo foi cultivado no período de outono, conduzido com os mesmo tratos culturais, adubações e períodos entre coletas do ciclo, separados em 2 ensaios. O primeiro é constituído por 16 parcelas para análises destrutivas e o segundo com as 4 parcelas restantes onde os mesmos tratamentos foram utilizados, porém, essas parcelas utilizadas para análise de produção no último dia de coleta, assim como no primeiro ciclo.

4.3.2.1 Ensaio I

O segundo ciclo da cultura foi conduzido no período de 08 de abril à 12 de maio de 2015. As avaliações foram realizadas em 5 diferentes momentos, sendo a

primeira aos 7 dias após o transplante (DAT), a segunda foi realizada aos 14 DAT, terceira aos 21 DAT, a quarta aos 28 DAT e a quinta análise realizada aos 35 DAT.

4.3.2.1.1 Análises biométricas

Assim como no primeiro ciclo, nos primeiros 7 dias de condução do ciclo, os tratamentos não foram diferenciados, porém, as análises aos 7 DAT foram realizadas para ter como referência a evolução dos parâmetros nas avaliações seguintes (Tabelas 21, 22 e 23).

Tabela 21. Análise de variância das variáveis Massa Aérea Fresca (MAF), Massa Aérea Seca (MAS), Número de Folhas (NF) e Diâmetro de Caule (DC) em função da irrigação superficial e subsuperficial, com e sem ar atmosférico, aos 7 DAT.

Métodos	(MAF)			(MAS)			(NF)			(DC)		
	Usual	Ar	Média	Usual	Ar	Média	Usual	Ar	Média	Usual	Ar	Média
<i>DI</i>	1,9	1,8	1,8	0,2	0,1	0,2	5,0	5,0	5,0	2,6	2,7	2,7
<i>SDI</i>	1,6	1,9	1,8	0,1	0,2	0,1	5,0	5,0	5,0	2,7	2,5	2,6
Média	1,8	1,8		0,2	0,1		5,0	5,0		2,7	2,6	
CV (%)	40,21			39,64			18,13			15,06		

Somente as médias seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Tabela 22. Análise de variância das variáveis Massa Radicular Fresca (MRF) e Massa Radicular Seca (MRS) em função da irrigação superficial e subsuperficial, com e sem ar atmosférico, aos 7 DAT.

Métodos	(MRF)			(MRS)		
	Usual	Ar	Média	Usual	Ar	Média
<i>DI</i>	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1	0,1
<i>SDI</i>	0,1	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2
Média	0,2	0,2		0,2	0,1	
CV (%)	32,69			30,98		

Somente as médias seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Tabela 23. Análise de variância das variáveis Comprimento Radicular (CR) e Volume Radicular (VR) em função da irrigação superficial e subsuperficial, com e sem ar atmosférico, aos 7 DAT.

Métodos	(CR)			(VR)		
	Usual	Ar	Média	Usual	Ar	Média
<i>DI</i>	8,0Ab	7,6Ab	7,8	0,3Ab	0,3Bb	0,3B
<i>SDI</i>	6,8Bb	9,1Aa	8,0	0,4Ab	0,5Aa	0,4A
Média	7,4	8,3		0,4	0,4	
CV (%)	24,23			37,66		

Somente as médias seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Nos primeiros 7 DAT não houve diferenciação de tratamentos, as lâminas foram distribuídas de forma igualitária por meio de irrigação por aspersão, aplicando uma média de 40 mm de água para cada tratamento ao longo dos 7 dias. Por tal motivo, esperava-se não haver diferenças significativas nos parâmetros no primeiro dia de análises, porém, o CR apresentou interação entre os tratamentos e o VR diferença significativa quando em consideração as disposições das mangueiras de irrigação e interação entre os tratamentos utilizados. Assim como no primeiro ciclo, o fato pode ser explicado possivelmente devido ao vigor das sementes utilizadas ou condição do ambiental.

Os demais parâmetros não apresentaram diferença significativas, apresentando valores muito próximos entre os tratamentos, nos parâmetros aéreos e radicular.

Na coleta realizada aos 14 DAT, com diferenciação dos tratamentos há 7 dias, como aos 7 DAT não foi possível ver diferenças significativas quanto a parte aérea da planta.

A MRS e VR, não apresentaram diferença significativa, já a MRF e CR, mostram diferença estatística quando levado em consideração o fator injeção de ar atmosférico.

Tabela 24. Análise de variância das variáveis Massa Aérea Fresca (MAF), Massa Aérea Seca (MAS), Número de Folhas (NF) e Diâmetro de Caule (DC) em função da irrigação superficial e subsuperficial, com e sem ar atmosférico, aos 14 DAT.

Métodos	(MAF)			(MAS)			(NF)			(DC)		
	Usual	Ar	Média	Usual	Ar	Média	Usual	Ar	Média	Usual	Ar	Média
<i>DI</i>	4,3	4,7	4,9	0,3	0,4	0,4	7,0	7,5	7,0	3,2	3,5	3,4
<i>SDI</i>	5,6	5,5	5,1	0,4	0,4	0,4	7,0	7,5	7,0	3,5	3,7	3,6
Média	4,5	5,5		0,4	0,4		7,0	7,5		3,4	3,6	
CV (%)	47,69			38,44			15,48			31,45		

Somente as médias seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Tabela 25. Análise de variância das variáveis Massa Radicular Seca (MRS) e Volume Radicular (VR) em função da irrigação superficial e subsuperficial, com e sem ar atmosférico, aos 14 DAT.

Métodos	(MRS)			(VR)		
	Usual	Ar	Média	Usual	Ar	Média
<i>DI</i>	0,05	0,06	0,05	0,4	1,2	0,8
<i>SDI</i>	0,05	0,06	0,05	0,5	0,9	0,7
Média	0,05	0,06		0,5	1,1	
CV (%)	30,87			30,32		

Somente as médias seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Tabela 26. Análise de variância das variáveis Massa Radicular Fresca (MRF) e Comprimento Radicular (CR) em função da irrigação superficial e subsuperficial, com e sem ar atmosférico, aos 14 DAT.

Métodos	(MRF)			(CR)		
	Usual	Ar	Média	Usual	Ar	Média
<i>DI</i>	0,2Bb	0,4Aa	0,3	8,2Bb	10,0Aa	9,1
<i>SDI</i>	0,3Ab	0,5Aa	0,4	9,5Ab	10,2Aa	9,8
Média	0,3b	0,5a		8,8b	10,1a	
CV (%)	45,62			16,53		

Somente as médias seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Quanto ao parâmetro de MRF, as maiores massas foram obtidas nas plantas cultivadas sob irrigação subsuperficial com injeção de ar atmosférico, com média de 0,5 g. O menor valor apresentado, foi as plantas cultivadas sob irrigação disposta superficialmente sem injeção de ar, média de 0,2 g.

Para o CR, houve diferença significativa em relação à injeção de ar na irrigação, apresentando valores superiores às demais, com médias de 10,2 e 10,1 cm para irrigação superficial e subsuperficial, respectivamente.

Aos 21 DAT, a MAF e DC não apresentaram diferença significativa (Tabela 27). Porém, a MAS apresenta interação entre os tratamentos, o NF apresenta diferença significativa quando em relação as disposições das mangueiras de irrigação, além de interação entre os tratamentos (Tabela 28).

Quanto as análises radiculares, a MRF e MRS não apresentaram diferença significativa (Tabela 29). O CR apresentou diferença significativa quanto as disposições das irrigações, e o VR apresentou diferença significativa entre si, tanto quanto às disposições quanto a injeção de ar, além de interação entre os tratamentos (Tabela 30).

Tabela 27. Análise de variância das variáveis Massa Aérea Fresca (MAF) e Diâmetro de Caule (DC) em função da irrigação superficial e subsuperficial, com e sem ar atmosférico, aos 21 DAT.

Métodos	(MAF)			(DC)		
	Usual	Ar	Média	Usual	Ar	Média
<i>DI</i>	29,7	26,5	28,1	6,8	7,0	6,9
<i>SDI</i>	26,8	34,2	30,5	6,3	7,0	6,6
Média	28,2	30,4		6,5b	7,0a	
CV (%)	28,58			10,96		

Somente as médias seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Tabela 28. Análise de variância das variáveis Massa Aérea Seca (MAS) e Número de Folhas (NF) em função da irrigação superficial e subsuperficial, com e sem ar atmosférico, aos 21 DAT.

Métodos	(MAS)			(NF)		
	Usual	Ar	Média	Usual	Ar	Média
<i>DI</i>	1,8Ab	1,7Ab	1,7	12,0A	11,0B	11,5B
<i>SDI</i>	1,4Bb	2,1Aa	1,8	11,5B	13,0A	12,0A
Média	1,6	1,9		12,0	12,0	
CV (%)	27,23			9,65		

Somente as médias seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Tabela 29. Análise de variância das variáveis Massa Radicular Fresca (MRF), Massa Radicular Seca (MRS) e Comprimento Radicular (CR) em função da irrigação superficial e subsuperficial, com e sem ar atmosférico, aos 21 DAT.

Métodos	(MRF)			(MRS)			(CR)		
	Usual	Ar	Média	Usual	Ar	Média	Usual	Ar	Média
<i>DI</i>	1,5	2,0	1,8	0,2	0,2	0,2	13,5	13,2	13,3B
<i>SDI</i>	2,0	2,3	2,1	0,2	0,2	0,2	14,6	14,6	14,6A
Média	1,8	2,1		0,2	0,2		14,0	13,9	
CV (%)	25,27			22,11			15,16		

Somente as médias seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Tabela 30. Análise de variância da variável Volume Radicular (VR) em função da irrigação superficial e subsuperficial, com e sem ar atmosférico, aos 21 DAT.

Métodos	(VR)		
	Usual	Ar	Média
<i>DI</i>	1,8Bb	2,5Ab	2,1B
<i>SDI</i>	2,8Aa	2,9Aa	2,8A
Média	2,3b	2,7a	
CV (%)	30,92		

Somente as médias seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Apesar de a MAF não apresentar diferença estatística entre os tratamentos, houve grande variação entre os valores, onde as plantas cultivadas sob *SDI* + ar apresentaram maiores valores em relação aos demais tratamentos, com média de 34,2 g, 15% maior massa que o segundo maior valor.

Quanto a MAS, apresentou interação entre os tratamentos, onde as plantas sob irrigação via *SDI* + ar apresentou maior valor, com média de 2,1 g, aproximadamente 0,7 g maior que o menor valor apresentado para as análises.

O NF apresentou diferença significativa em relação a disposição das mangueiras gotejadoras. O tratamento que apresentou maior NF foi o que as plantas foram

irrigadas sob *SDI* + ar, com média de 13 folhas por planta, número 73% maior que as apresentadas aos 14 DAT para o mesmo tratamento.

Para os parâmetros radiculares, a MAF e MRS não apresentaram diferença significativa, porém o tratamento que apresentou maior MRF foi o com manejo via irrigação subsuperficial com injeção de ar.

O VR apresentou diferença significativa quanto as disposições dos sistemas e interação entre os tratamentos. Os tratamentos com disposições subsuperficiais apresentaram médias de 2,8 e 2,9 cm³ sem e com injeção de ar, respectivamente. O tratamento que tinha a irrigação disposta superficialmente com injeção de ar, apresentou média de 2,5 cm³ de raiz por planta, enquanto que sem a injeção de ar atmosférico, 1,8 cm³. Os resultados obtidos pode ser explicado pelo fato que a injeção de ar atmosférico via irrigação melhora a aeração do solo, proporcionando melhores condições para o desenvolvimento da raiz.

Nas análises realizadas aos 28 DAT, a parte aérea das plantas não apresentaram diferença significativa entre os tratamentos utilizados (Tabela 31).

Quanto aos parâmetros de raiz, a MRF, CR e VR não apresentaram diferença significativa entre eles (Tabela 32), somente a MRS apresentou diferença significativa, quando levado em consideração as disposições do sistema de irrigação, além de apresentar interação entre os tratamentos (Tabela 33).

Tabela 31. Análise de variância das variáveis Massa Aérea Fresca (MAF), Massa Aérea Seca (MAS), Número de Folhas (NF) e Diâmetro de Caule (DC) em função da irrigação superficial e subsuperficial, com e sem ar atmosférico, aos 28 DAT.

Métodos	(MAF)			(MAS)			(NF)			(DC)		
	Usual	Ar	Média	Usual	Ar	Média	Usual	Ar	Média	Usual	Ar	Média
<i>DI</i>	91,7	71,7	81,7	4,1	3,3	3,7	18,0	18,0	18,0	9,0	9,7	9,4
<i>SDI</i>	68,5	72,4	70,4	3,3	3,7	3,5	18,5	18,0	18,0	9,9	9,6	9,8
Média	80,1	72,1		3,7	3,5		18,0	18,0		9,5	9,7	
CV (%)		34,19		25,97				10,29			10,93	

Somente as médias seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Tabela 32. Análise de variância das variáveis Massa Radicular Fresca (MRF), Comprimento Radicular (CR) e Volume Radicular (VR) em função da irrigação superficial e subsuperficial, com e sem ar atmosférico, aos 28 DAT.

Métodos	(MRF)			(CR)			(VR)		
	Usual	Ar	Média	Usual	Ar	Média	Usual	Ar	Média
<i>DI</i>	3,9	4,1	4,0	14,9	14,5	14,7	4,4	4,6	4,5
<i>SDI</i>	3,8	4,1	4,0	13,7	15,1	14,4	4,4	5,1	4,7
Média	3,8	4,1		14,3	14,8		4,4	4,8	
CV (%)		21,87			13,63			23,30	

Somente as médias seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Tabela 33. Análise de variância da variável Massa Radicular Seca (MRS) em função da irrigação superficial e subsuperficial, com e sem ar atmosférico, aos 28 DAT.

Métodos	(MRS)		
	Usual	Ar	Média
<i>DI</i>	0,4Aa	0,3Ab	0,4A
<i>SDI</i>	0,3Ab	0,3Bb	0,3B
Média	0,3	0,3	
CV (%)		22,49	

Somente as médias seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Os valores obtidos em MAF não foram significativos entre eles, porém no tratamento o qual as plantas foram cultivadas sob *DI*, apresentou 26% maior massa que a segunda maior, com valor médio de 91,7 g planta⁻¹. O menor valor foi encontrado nas plantas cultivadas sob *SDI*, com média de 68,5 g planta⁻¹. A MAS segue o mesmo padrão de valores que a MAF, onde o tratamento *DI* apresenta maior valor e *SDI* o menor, com média de 4,1 e 3,3 g planta⁻¹.

Para o parâmetro de NF, não apresentaram diferença significativa entre os valores obtidos, todos os tratamentos apresentaram média de 18 folhas por planta.

Quanto as análises radiculares, a MRF, CR e VR não apresentaram diferença significativas. A MRF apresentou valores muito próximos entre os valores, variando de 3,8 a 4,1 g para *SDI* e *SDI* + ar, respectivamente.

O CR, mostrou pouca variação entre os tratamentos. O maior comprimento foi obtido nas plantas cultivadas sob *SDI* + ar seguida de *DI* + ar, com média de 15,1 e 14,7 cm⁻¹.

No parâmetro de VR, o *SDI* + ar, foi tratamento que se destacou em relação aos demais, com 5,1 cm⁻³, 10% a mais que o segundo maior volume.

A MRS apresentou diferença significativa a 5% de probabilidade quanto as disposições das mangueiras de irrigação e interação entre os tratamentos. As

plantas que apresentaram maior MRS, foi as cultivadas sob *DI*, com 0,4 g planta⁻¹, os demais tratamentos apresentaram média de 0,3 g planta⁻¹.

Aos 35 DAT, somente o parâmetro de MAS apresentou diferença significativa a 5% de probabilidade, segundo teste de Tukey (Tabelas 34 e 35).

Tabela 34. Análise de variância das variáveis Massa Aérea Fresca (MAF), Massa Aérea Seca (MAS), Número de Folhas (NF) e Diâmetro de Caule (DC) em função da irrigação superficial e subsuperficial, com e sem ar atmosférico, aos 35 DAT.

Métodos	(MAF)			(MAS)			(NF)			(DC)		
	Usual	Ar	Média	Usual	Ar	Média	Usual	Ar	Média	Usual	Ar	Média
<i>DI</i>	241,4	222,0	231,7	11,0	9,5	10,3	26,5	25,0	25,5	13,1	13,0	13,0
<i>SDI</i>	207,8	207,8	209,2	10,4	8,8	9,6	24,3	20,9	25,0	12,4	12,6	12,5
Média	224,6	216,3		10,7a	9,2b		25,0	25,0		12,7	12,8	
CV (%)		30,61			24,07			8,97			11,81	

Somente as médias seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Tabela 35. Análise de variância das variáveis Massa Aérea Fresca (MAF), Massa Aérea Seca (MAS), Número de Folhas (NF) e Diâmetro de Caule (DC) em função da irrigação superficial e subsuperficial, com e sem ar atmosférico, aos 35 DAT.

Métodos	(MRF)			(MRS)			(CR)			(VR)		
	Usual	Ar	Média	Usual	Ar	Média	Usual	Ar	Média	Usual	Ar	Média
<i>DI</i>	6,0	5,8	5,9	0,6	0,5	0,5	15,7	16,5	16,1	7,3	7,0	7,2
<i>SDI</i>	6,2	5,9	6,1	0,5	0,5	0,5	16,3	16,5	16,4	7,4	7,1	7,3
Média	6,1	5,9		0,5	0,5		16,0	16,5		7,4	7,1	
CV (%)		37,34			27,06			15,03			21,18	

Somente as médias seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Para todos os parâmetros relacionados à parte aérea, as plantas conduzidas sob *DI* apresentaram os maiores resultados em relação as demais, e *SDI* os menores apesar de as diferenças não serem significativas a 5% de probabilidade.

Quanto a MAF, as plantas sob o tratamento com *DI* apresentaram média de 241,4 g planta⁻¹, aproximadamente 16% maior massa que o menor valor, observado nos tratamentos sob *SDI* com e sem injeção de ar atmosférico.

Para a MAS, o maior valor é encontrado nas plantas cultivadas sob *DI* seguidas de *SDI*, com médias de 11,0 e 10,4 g planta⁻¹, respectivamente.

O NF, apesar de não significativos houve diferenças nos valores entre os tratamentos. As plantas que foram irrigadas através da *DI* apresentaram média de 26,5 folhas por planta, em contrapartida, as plantas conduzidas sob *SDI* + ar obteve resultados médio de 20,9 folhas por planta, valor superior ao obtido por Santos et al. (2005) para a cultivar ‘Verônica’, onde obtiveram uma média de 15 folhas por planta.

Para o DC, as plantas cultivadas com irrigação disposta superficialmente tanto com injeção de ar quanto sem, apresentaram maiores resultados comparados aos demais, com média de 13,1 e 13,0 mm⁻¹.

Quanto as análises de raiz, houve grande variação quanto aos tratamentos com maiores resultados.

A MRF não apresenta diferença significativa e os valores se mantiveram próximos, variando de 5,8 a 6,2 g planta⁻¹, para *DI* + ar e *SDI*, respectivamente.

A MRS assim como MRF, se mantiveram com valores muito próximos, porém as plantas que apresentaram maior valor quanto a massa seca, foram as conduzidas sob *DI* com média de 0,6 g planta⁻¹, os demais tratamentos apresentaram média de 0,5 g planta⁻¹.

Quanto ao CR, em ambas as disposições das mangueiras de irrigação com injeção de ar, as plantas apresentaram média de 16,5 cm⁻¹, as demais apresentaram valores de 16,3 e 15,7 cm⁻¹ para *SDI* e *DI*, respectivamente.

O VR apesar de apresentar valores próximos para todos os tratamentos, as plantas com maior volume foram as cultivadas sob *SDI* seguida de *DI*, com valores de 7,4 e 7,3 cm⁻³ planta⁻¹, o menor valor foi observado nas plantas sob *DI* + ar, com média de 7 cm⁻³ planta⁻¹. Para muitas culturas, o aumento do volume de raízes é importante para a planta explorar o solo, tendo conseqüentemente maiores quantidades de água e nutrientes à disposição.

4.3.2.1.2 Análises nutricionais

Assim como no primeiro ciclo, para a verificação do parâmetro nutricional da cultura nos diferentes tratamentos, foram realizadas análise foliares aos 35DAT para os macronutrientes N, P, K, Ca, Mg, S, e dos micronutrientes Fe, B, Cu, Mn, Zn e Si (Tabelas 36 e 37).

Tabela 36. Análise de variância dos macronutrientes N, F, K, Ca, Mg, S em função da irrigação superficial e subsuperficial, com e sem ar atmosférico, aos 35 DAT.

Métodos	N			P			K			Ca			Mg			S		
	Usual	Ar	Média	Usual	Ar	Média	Usual	Ar	Média	Usual	Ar	Média	Usual	Ar	Média	Usual	Ar	Média
DI	35,9	37,6	36,8	3,8	4,0	3,9	62,0	63,3	62,6	12,3	11,5	11,9	5,0	4,3	4,7	2,2	2,2	2,2
SDI	36,3	39,0	37,6	4,2	3,8	4,0	65,7	64,7	65,2	11,0	13,4	12,2	4,7	4,9	4,8	2,1	2,1	2,1
Média	36,1b	38,3a		4,0	3,9		63,8	64,0		11,6	12,4		4,8	4,6		2,1	2,2	
CV (%)	4,08			8,08			11,47			9,14			13,48			5,87		

Somente as médias seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Tabela 37. Análise de variância dos micronutrientes B, Cu, Fe, Mn e Zn em função da irrigação superficial e subsuperficial, com e sem ar atmosférico, aos 35 DAT.

Métodos	B			Cu			Fe			Mn			Zn		
	Usual	Ar	Média	Usual	Ar	Média	Usual	Ar	Média	Usual	Ar	Média	Usual	Ar	Média
DI	24,4	25,4	24,9	10,8	10,5	10,7	570,8	493,5	532,1	110,0	99,5	104,8	60,6Bb	75,8Bb	68,2B
SDI	24,5	22,8	23,6	12,3	11,3	11,8	499,5	482,7	491,1	100,0	113,7	106,8	61,0Bb	131,3Aa	96,2A
Média	24,4	24,1		11,5	10,9		535,1	488,1		105,0	106,6		60,8	103,5	
CV (%)	8,02			11,31			21,88			31,61			26,73		

Somente as médias seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Para as análises de macronutrientes nas plantas, somente apresentou diferença significativa os teores de N quanto a injeção de ar atmosférico na irrigação.

O acúmulo de N foi significativo somente quando levado em consideração a injeção de ar atmosférico na irrigação, com médias variando entre 35,9 a 39,0 g kg⁻¹. Segundo Malavolta et al. (1997), o nitrogênio promove o desenvolvimento e formação de gemas frutíferas, floríferas e o crescimento vegetativo. Em trabalho desenvolvido por Grangeiro et al. (2006), que ao avaliarem o acúmulo de nutrientes em três cultivares de alface verificaram que a cultivar Verônica acumulou 0,24 g planta⁻¹ de nitrogênio. Já Beninni (2002), ao avaliar a concentração e o acúmulo de macronutrientes na mesma variedade, verificou que no ponto de colheita, a parte aérea das plantas sob cultivo convencional apresentaram concentração de 38,24 g kg⁻¹ de nitrogênio.

O acúmulo de P no segundo ciclo não apresentaram valores com diferenças significativas, variando de 3,8 a 4,2 g kg⁻¹. O acúmulo considerado ideal para o nutriente está entre 4 a 7 g kg⁻¹. Os dados encontrados no presente trabalho se mostra inferior aos encontrados por Beninni (2002) que conduzindo alface cultivar Verônica sob cultivo convencional apresentou concentração de 5,74 g kg⁻¹. Coutinho et al. (1993), relatam que as quantidades de fósforo retiradas do solo pelas hortaliças são geralmente baixas, principalmente quando comparadas com nitrogênio e potássio, sendo assim, o fósforo utilizado em maiores proporções na fertilização. Além disso, estimula o desenvolvimento radicular e participa de um grande número de compostos, essenciais em diversos processos metabólicos das plantas (LOTT et al., 1995).

Quanto ao acúmulo de K na planta, não apresentaram diferença significativa, apresentando médias variando entre 62,0 g kg⁻¹ e 65,7 g kg⁻¹. De acordo com Weir e Cresswell (1993), estes teores são considerados ideais para a cultura, onde esse valor deve estar entre 45,0 a 80,0 g kg⁻¹. O potássio é responsável por importantes funções nas plantas como abertura e fechamento estomático, funções osmóticas, ativação enzimática, fotossíntese, síntese de proteínas, transporte de carboidratos, entre outras (Marschner, 1995).

O teor de Ca, não apresentou diferença significativa, com médias variando de 11,0 a 13,4 g kg⁻¹. Segundo Fernandes e Martins (1999), a deficiência do cálcio na planta causa o enfraquecimento da estrutura rompendo os vasos lactíferos, liberando o látex, ocorrendo um colapso celular e necrose do tecido, podendo evoluir de simples pontos escurecidos à necrose total dos tecidos meristemáticos.

Para o teor de Mg, as médias variaram de 4,3 g kg⁻¹ para as plantas cultivadas sob irrigação superficial com injeção de ar e 5,0 g kg⁻¹ para a mesma, porém, sem injeção de ar atmosférico. Para os cultivos sob irrigação subsuperficial, as médias variaram entre 4,7 e 4,9 g kg⁻¹ sem e com injeção de ar, respectivamente. Os dados obtidos estão de acordo com os encontrados por Garcia (1982), que obteve média entre 3 e 5 g kg⁻¹.

O teor de S acumulado nas plantas não mostraram diferença significativa segundo teste de Tukey a 5% de probabilidade, apresentando valores próximos entre os tratamentos e semelhante aos obtidos no primeiro ciclo, com médias variando de 2,1 g kg⁻¹ para as plantas cultivadas sob irrigação subsuperficial com e sem injeção de ar atmosférico e 2,2 g kg⁻¹ para as cultivadas sob irrigação superficial com e sem injeção de ar. Segundo Sfredo e Lantmann (2007), a principal função do S nas plantas é estrutural, compondo alguns aminoácidos como cisteína, cistina, metionina e taurina, estando assim, presente em todas as proteínas vegetais incluindo enzimáticas e, de forma indireta na formação de clorofila.

Em relação aos micronutrientes nas plantas, houve variação nos acúmulos em todos nutrientes, porém, somente o teor de Zn apresentou diferença significativa em relação a injeção de ar atmosférico na irrigação, apresentando ainda interação entre os tratamentos.

O acúmulo de B não apresentou grandes diferenças entre os tratamentos, variando de 22,8 a 25,4 mg kg⁻¹. Os de teores obtidos no segundo ciclo, estão um pouco acima das médias obtidas por Balbinot Júnior et al. (2006), onde encontraram média entre 14,0 a 22,0 mg kg⁻¹. Segundo Cakmak e Römheld (1998), a deficiência de boro pode afetar diversos processos fisiológicos da planta, como transporte de açúcares, síntese da parede celular, lignificação, estrutura da parede celular, metabolismo de carboidratos, metabolismo de RNA, respiração, integridade da membrana plasmática, entre outros.

O acúmulo de Cu não apresentou diferença significativa entre os tratamentos utilizados, porém, no segundo ciclo as plantas cultivadas sob irrigação subsuperficial apresentaram maiores médias em relação as cultivadas sob irrigação superficial com e sem injeção de ar atmosférico. Os valores variaram de 10,5 a 10,7 mg kg⁻¹ para as plantas cultivadas sob irrigação superficial e de 11,8 a 11,3 mg kg⁻¹ para as sob cultivo com irrigação subsuperficial sem e com injeção de ar atmosférico, respectivamente. As médias obtidas estão de acordo com as encontradas por Yuri et al. (2004), com médias de 10,4 a 11,6 mg kg⁻¹ em massa seca. Segundo Khurana et al. (2006), o Cu é um elemento

necessário para o bom desenvolvimento das plantas, tendo em vista que as plantas com deficiência ou excesso deste nutriente podem apresentar área foliar reduzida.

Para o acúmulo de Fe, apesar de não significativas, houve grande variação entre os tratamentos. As plantas cultivadas sob irrigação por gotejamento disposto superficialmente sem injeção de ar atmosférico apresentaram o maior valor, média de 570,8 mg kg⁻¹, 12,5% maior que as plantas cultivadas sob irrigação subsuperficial sem injeção de ar, o qual apresenta a segunda maior média. Os valores estão bem acima dos considerados ideais por Kano et al, (2012), onde a média ideal deve estar entre 50 a 150 mg kg⁻¹. O ferro está diretamente envolvido em processos fundamentais como fotossíntese, respiração, fixação de nitrogênio, síntese de DNA e de hormônios (BECANA et al., 1998), porém, devido suas propriedades químicas, o excesso pode deslocar o balanço redox celular para um estado pró-oxidante, levando a uma diversidade de sintomas morfológicos, bioquímicos e fisiológicos (HELL e STEPHAN, 2003).

Os teores de Mn nas plantas, apresentaram grande variação apesar de não significativo. A menor média foi obtida nas plantas cultivadas sobre irrigação disposta superficialmente com injeção de ar atmosférico, apresentando 99,5 mg kg⁻¹ e maior média nas plantas cultivadas sob irrigação subsuperficial com injeção de ar, com média de 113,7 mg kg⁻¹, aproximadamente 14,3% de diferença. Os valores são considerados ideais segundo Kano et al. (2012), que relatam médias adequadas entre 30 a 150 mg kg⁻¹.

Quanto ao acúmulo de Zn nas plantas, além de apresentarem diferenças significativas, segundo teste de Tukey a 5% de probabilidade para as disposições do sistema, apresentou também interação entre os tratamentos. O tratamento que obteve a maior média, foi o qual as plantas foram cultivadas sob irrigação disposta subsuperficialmente com injeção de ar atmosférico, apresentando média de 131,3 mg kg⁻¹, 116% maior que a pior média, irrigação disposta superficialmente com injeção de ar. Segundo Kano et al, (2012) a faixa de teor adequado se encontra entre 30 e 100 mg kg⁻¹. É conhecido que altos teores de fósforo induzem deficiência de zinco e, como o acúmulo de P se encontra no limite inferior da média considerada ideal, ao invés da deficiência, promoveu a disponibilidade do nutriente.

4.3.2.2 Ensaio II

O segundo ensaio contou com as 4 últimas parcelas, das 20 utilizadas durante o experimento manejadas da mesma forma e com os mesmos tratamentos utilizados no Ensaio I. Porém, utilizadas somente para análise de produção.

4.3.2.2.1 Produção comercial (PC)

Para a análise de produção comercial (Figura 17), as plantas foram coletadas aos 35 DAT, feito a pesagem e posteriormente extrapoladas para hectare com população de 60.000 plantas, com base no espaçamento utilizado (Tabela 38).



Fonte: Gomes (2015)

Figura 17. Plantas aos 35 DAT, segundo ciclo.

Tabela 38. Análise de variância da variável Produção Comercial ($t\ ha^{-1}$) em função da irrigação superficial e subsuperficial, com e sem ar atmosférico, aos 35 DAT.

Métodos	(PC)		
	Usual	Ar	Média
<i>DI</i>	10,8	12,0	11,4
<i>SDI</i>	10,1	10,4	10,2
Média	10,4	11,2	
CV (%)	43,39		

Somente as médias seguidas de letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

É possível observar na Tabela 38 que, os valores não apresentaram diferenças significativas. O tratamento que se destacou, foi o que as plantas foram cultivadas sob *DI* + ar, com $12,0\ t\ ha^{-1}$, cerca de $1,2\ kg\ m^{-2}$, aproximadamente 19% maior que a menor média, apresentada pelas plantas irrigadas sob *SDI*.

4.3.2.2.2 Avaliação da irrigação

Na Figura 18, é possível visualizar a Produtividade ($t\ ha^{-1}$) referente a cada tratamento e suas respectivas lâminas ($mm\ ciclo^{-1}$).

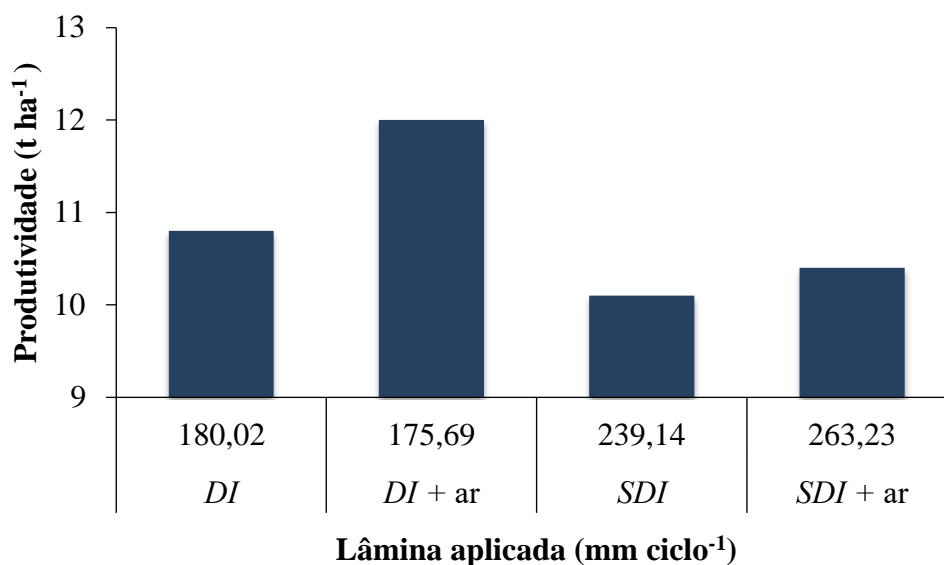


Figura 18. Valores de produtividade em $t\ ha^{-1}$ em relação às lâminas aplicadas no ciclo em mm^{-1} para cada tratamento.

Na Figura 18, é possível ver a irrigação a qual foi disposta superficialmente com injeção de ar, obteve a maior produtividade ($t\ ha^{-1}$) em relação aos demais tratamentos e a menor lâmina aplicada (mm^{-1}) durante todo o ciclo.

Como o tratamento com cultivo sob *DI + ar* apresentou maior produção e menor lâmina aplicada, fez com que a sua eficiência fosse maior que as demais, produzindo mais com menor quantidade de água, $0,07\ t\ ha^{-1}\ mm^{-1}$. Os tratamentos que obtiveram a menor eficiência no segundo ciclo, foram os dispostos de maneira subsuperficial, com e sem injeção de ar atmosférico (Tabela 39).

Tabela 39. Valores médio das variáveis Lâmina Aplicada ($mm\ ciclo^{-1}$), Produtividade ($t\ ha^{-1}$) e Eficiência do Uso da Água de Irrigação ($t\ ha^{-1}\ mm^{-1}$) em função da irrigação superficial e subsuperficial, com e sem ar atmosférico.

Métodos	Lâminas Aplicada	Produtividade	EUAI
<i>DI</i>	180,0	10,8	0,06
<i>DI+ar</i>	175,7	12,0	0,07
<i>SDI</i>	239,1	10,1	0,04
<i>SDI+ar</i>	263,2	10,4	0,04

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A massa aérea fresca e o número de folhas da alface quando sob irrigação disposta de maneira subsuperficial com injeção de ar atmosférico apresentaram resultados mais favoráveis em relação à irrigação com água sem injeção de ar nas demais disposições, no ciclo de verão.

Para o ciclo de outono, as alfaces apresentaram maior massa fresca e maior número de folhas sob irrigação por gotejamento disposta superficialmente, sem injeção de ar.

O comprimento radicular apresentou maiores resultados nas plantas as quais foram submetidas à irrigações disposta subsuperficialmente com injeção de ar.

6 CONCLUSÕES

Em ambos os ciclos, a eficiência do uso da água de irrigação apresentou melhores resultados quando as plantas foram cultivadas sob a irrigação por gotejamento disposta superficialmente com injeção de ar atmosférico, apresentando boa média de produção com volume de água aplicado inferior aos demais tratamentos.

Contudo, os resultados aqui apresentado mostram que é necessário mais pesquisa quanto a injeção de ar atmosférico na irrigação, visto que há pouco material de pesquisa para uma melhor discussão.

7 REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

ABUARAB, M.; MOSTAFA, E.; IBRAHIM, M. Effect of air injection under subsurface drip irrigation on yield and water use efficiency of corn in a Sandy clay loam soil. **Journal of Advanced Research**. Cairo: Cairo University. p. 1-7, 2012.

ALLMARAS, R. R.; KRAFT, J. M.; MILLER, D. E. Effects of soil compaction and incorporated crop residue on root health. **Annual Review of Plant Biology**, Palo, Alto, v. 26, p. 219-243, 1988.

ALVARENGA, M. A. R.; SILVA, E. C.; SOUZA, R. J.; CARVALHO, J. G. Efeito de doses de nitrogênio aplicadas no solo e níveis de cálcio aplicados via foliar sobre o teor e o acúmulo de micronutrientes em alface americana. **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v. 24, n. 4, p. 905-916, 2000.

ANDRÉ, R. G. B.; VOLPE, C. A. **Dados meteorológicos de Jaboticabal no Estado de São Paulo durante os anos de 1971 a 1980**. Jaboticabal: UNESP, 1982. 25 p.

AYARS, J. E.; PHENE, C. J.; HUTMACHER, R. B.; DAVIS, K. R.; SCHONEMAN, R. A.; VAIL, S. S.; MEAD, R. M. Subsurface drip irrigation of rows crops: a review of 15 years of research at the water management research laboratory. **Agricultural Water Management**, n. 42, p. 1-27, 1999.

BALBINOT JUNIOR, A. A.; TÔRRES, A. N. L.; FONSECA, J. A.; TEIXEIRA, J. R. Crescimento e teores de nutrientes em tecido de alface pela aplicação de calcário e resíduos de reciclagem de papel num solo ácido. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, Lages, v. 5, n. 1, p. 9-15, 2006.

BALL, B. C.; SMITH, K. A. Gas movement. In: SMITH, K. A.; MULLINS, C. E. (Ed.). **Soil analysis physical methods**. 3. ed. Madison: Marcel Dekker. p. 511-549, 1991.

BARRETT-LENNARD, E. G. **Saltland pastures in Australia: a practical guide**. 2. ed. South Perth: Department of Agriculture of Western Australia. Austrália. 2003.

BASSO, S. M. S. **Caracterização morfológica e fixação biológica de nitrogênio de espécies de *Adesmia* DC. e *Lotus* L.** 1999. 268 f. Tese (Zootecnia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Porto Alegre, 1999.

BECANA, M.; MORAN, J. F.; ORMAETXE, I. I. Iron-dependent oxygen free radical generation in plants subjected to environmental stress: toxicity and antioxidant protection. **Plant and Soil**, v. 201, p. 137-147, 1998.

BENGHOUGH, A. G.; MULLINS, C. E. Mechanical impedance to root growth: a review of experimental techniques and root growth responses. **Journal Soil Science**, v. 41, p. 341-358, 1990.

BERNARDO, S. **Manual de irrigação**. 5. Ed. Viçosa: Biblioteca Central da Federal de Viçosa, 1989. 506 p.

BHATTARAI, S. P.; HUBER, S.; MIDMORE, D. J. Aerated subsurface irrigation water gives growth and yield benefits to zucchini, vegetable soybean and cotton in heavy clay soil. **Association of Applied Biologists**, Australia. p. 285-98, 2004.

BHATTARAI, S. P.; MCHUGH, A. D.; LOTZ, G.; MIDMORE, D. J. The response of cotton to subsurface drip and furrow irrigation in a Vertisol. **Experimental Agriculture**, Australia. v. 42. p. 29-49, 2006.

BHATTARAI, S. P.; MIDMORE, D. J.; PENDERGAST, L. Yield, water-use efficiencies and root distribution of soybean, chickpea and pumpkin under different subsurface drip irrigation depths and oxygenation treatments in vertisols. **Irrigation Science**, Australia. v. 26, p. 439-450, 2008.

BOONE, F. R.; WERF, H. M. G van der; KROESBERGEN, B.; HAG, B. A. ten; BOERS, A. The effect of compaction of the arable layer in sandy soils on the growth of maize for silage. II. Soil conditions and plant growth. **Netherlands Journal Agricultural Research**, v. 35, p. 113-128, 1987.

BUCKS, D. A.; ERIE, L. J.; FRENCH, O. F.; NAKAYAMA, F. S.; PEW, W. D. Subsurface trickle irrigation management with multiple cropping. **Transactions of the ASAE**, v. 24, n. 6, p. 1482-1489, 1981.

CAKMAK, I.; RÖMHELD, V. Boron deficiency-induced impairments of cellular functions in plants. In: DELL, B.; ROWN, P. H.; BELL, R. W. (eds.). **Boron in soil and plants: review**. Chiang Mai, reprinted Plant and Soil, v. 193, n. 1-2, p. 71-83, 1997.

CAMARGO, O. A. de; GTIOKMAIN, F. **Noções básicas da metodologia empregada no estudo da aeração do solo**. 2008. Disponível em:
<http://www.infobibos.com/Artigos/2008_4/aeracao/index.htm>. Acesso em: 18 fev. 2015.

CAMP, C. R.; GARRETT, J. T.; SADLER, E. J.; BUSSCHER, W. J. Microirrigation management for double - cropped vegetables in a humid area. **Transactions of the ASAE**, South Carolina. v. 36, p. 1639-1644, 1993.

CAMP, C. R.; LAMM, F. R.; EVANS, R. G.; PHENE, J. Subsurface drip irrigation - past present and future. In: DECENDIAL NATIONAL IRRIGATION SYMPOSIUM, 4, Phoenix. 2000. **Proceedings**. St. Joseph: ASAE, p. 363-372, 2000.

CHRISTOFIDIS, D. Os recursos hídricos e a prática da irrigação no Brasil e no mundo. **Item**, v. 49, n. 1, p. 8-13, 2001.

- COOK, R. J.; PAPENDICK, R. I. Influence of water potential of soils and plants on root disease. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 10, p. 349-374, 1972.
- COUTINHO, E. R. M.; NATALE, W.; SOUZA, E. C. A. Adubos e corretivos: aspectos particulares na olericultura. In: SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO E ADUBAÇÃO DE HORTALIÇAS, 1993, Jaboticabal. **Anais...** Piracicaba: Potafós, p. 85-140, 1993.
- DASBERG, S.; BRESLER, E. Drip irrigation manual. Israel: International Irrigation Information Center (IIIC), n. 9, 1985. 95 p.
- DAVIES, W. J.; ZANGH, J. Root signals and the regulation of growth and development of plants in drying soil. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, v. 42, p. 55-76, 1991.
- DEMATTE, J. B. I.; SOBRINHO, F. C.; MENDONÇA, J. R. CASTELLANE, P. D.; PERECIN, D. Influência de irrigação por gotejamento e aspersão sobre desenvolvimento e produção da cultura de alface (*Lactuca sativa* L.) CV. Brasil-48. **Científica**, v. 9, n. 2, p. 207-213, 1981.
- DETAR, W. R.; BROWNE, G. T.; PHENE, C. J. Real-time irrigation scheduling of potatoes with sprinkler and subsurface drip system. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON EVAPOTRANSPIRATION AND IRRIGATION SCHEDULING. St. Joseph, 1996. **Proceedings**. St. Joseph: ASAE, p. 812-824, 2006.
- DHUNGEL, J. K.; MIDMORE, D. J.; WALSH, K. B.; BHATTARAI, S. P.; SUBEDI, P. P.; XINMING, C. Oxygenation enhanced pineapple yield and quality, In: VI INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON IRRIGATION OF HORTICULTURAL CROPS, 2009, Viña del Mar. **Proceedings of the VI International Symposium on Irrigation of Horticultural Crops**, ISHS Acta Horticulturae, p. 2-6, 2009.
- DOURADO NETO, D.; NIELSEN, D. R.; HOPANS, J. W.; PARLANGE, M. B. **Programa SWRC (Version 3.0): Soil-Water Retention Curve (Software)**. Piracicaba: ESALQ; Davis: University of Califórnia, 1995.
- DREW, M. C. LYNCH, J. M.; Soil anaerobiosis, microorganisms and root function. **Annual Review of Phytopathology**, Palo Alto, v. 18, p. 37-66, 1980.
- DREW, M. C. Oxygen deficiency and root metabolism: injury and acclimation under hypoxia and anoxia. **Annual Review of Plant Physiology and plant Molecular Biology**, Palo Alto, v. 48, p. 223-250, 1997.
- DREWRY, J. J.; CAMERON, K. C.; BUCHAN, G. D. Pasture yield and soil physical property responses to soil compaction from treading and grazing – a review. **Australian Journal of Soil Research**, Melbourne, v. 46, p. 237-256, 2008.
- DURELL, W. D. The effect of aeration on growth of the tomato in nutrient solution. **Plant Physiology**, v. 16, p. 327-341, 1941.

EHLERS, W. W.; KOPKE, F.; HESSE, F.; BOHM, W. Penetration resistance and growth root of oats in tilled and untilled loess soil. **Soil Tillage Research**, v. 3, p. 261-275, 1983.

EMPRESA BRASILEIRA DE PEAQUISA AGROPECUÁRIA BRASILEIRA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: EMBRAPA Produção de Informação; Rio de Janeiro: EMBRAPA Solos, p. 412, 1999.

FAHL, J. L.; CAMARGO, M. B. P. C.; PIZAAINATO, M. A. et al. (Ed). **Instrumentos agrícolas para as principais culturas econômicas**. 6. ed. Campinas: IAC, 1998, p. 173-174: Alface. (IAC, Boletim, 2000).

FARIA, R. T. de; COSTA, A. C. S. da. **Tensiômetro: construção, instalação e utilização**. Londrina: IAPAR, 1987. 22 p. (IAPAR. Circular técnica, 56).

FARIA, M. A. Monitoramento para manejo da irrigação: instrumentação, automação e métodos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27, 1998. Poços de Caudas. **Simpósio Manejo de Irrigação**. Poços de Caldas: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, p. 133-238, 1998.

FERNANDES, H. S.; MARTINS, S. R. Cultivo de alface em solo em ambiente protegido. **Informe Agropecuário**, v. 20, p. 56 - 63, 1999.

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

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2003. 402 p.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. 2. ed. Viçosa: UFV, 2008. 402 p.

FRIZZONE, J. A.; BOTREL, T. A.; DOURADO NETO, D. **Aplicação de fertilizantes via água de irrigação**. Piracicaba: ESALQ, Departamento de Engenharia Rural, 1994. 35 p. (Série didática, 8).

GARCIA, L. L. C. **Absorção de macro e micronutrientes e sintomas de carência de macro em alface (*Lactuca sativa* L.), cv. Brasil 48 e Clause's Aurélia**. 1982. 78 f. Dissertação (Agronomia - Solos e Nutrição de Plantas), Escola Superior de Agricultura Luis de Queiroz, Universidade de São Paulo, USP, Piracicaba, 1982.

GOLDBERG, D.; SHMUELI, M. Drip irrigation: a method used under arid desert conditions of high water and soil salinity. **Transactions of the ASAE**, v. 13, p. 38-41, 1970.

GOMES, G. P.; GOMES E. P.; RODRIGUES, J. G. L. Ferrous water in drip irrigation. **Brazilian Journal of Applied Technology for Agricultural Science**, Guarapuava – PR, v. 5, n. 3, p. 107-114, 2012.

GOORAHOO D, CARSTENSEN G, ZOLDOSKE D. F. Using air in subsurface drip irrigation (SDI) to increase yields in bell pepper. In: IRRIGATION ASSOCIATION TECHNICAL CONFERENCE, 2001a, Texas. **Proceedings of the irrigation association technical conference**, p. 95-102. 2001a.

GOORAHOO, D.; CARSTENSEN, G.; MAZZEI, A. A pilot study on the impact of air injected into water delivered through subsurface drip irrigation tape on the growth and yield of bell peppers. **California Agricultural Technology Institute (CATI)**. 2001b. 23 p.

GRANGEIRO, L. C.; COSTA, K. R.; MEDEIROS, M. A.; SALVIANO, A. M.; NEGREIROS, M. Z; BEZERRA NETO, F.; OLIVEIRA, S. L. Acúmulo de nutrientes por três cultivares de alface cultivada em condições do Semi-Árido. **Horticultura Brasileira**, v. 24, n. 2, p. 190-194. 2006.

GREENWOOD, D. J. Effect of oxygen distribution in the soil on plant growth. In: WHITTINGTON, W. J. (Ed.) **ROOT GROWNT**. London: Butterworths. p. 202-203, 1968.

GROVER, B. L. Simplified air permeameters for soil in place. **Soil Science of America Proceedings**. v. 19, p. 414-418, 1955.

HANSON, E. G.; PETERSON, T. C. Vegetable production and water-use efficiencies as influenced by drip sprinkler, subsurface, and furrow irrigation methods. In: INTERNATIONAL DRIP IRRIGATION CONGRESS, 2. San Diego, 1974. **Proceedings**. San Diego: Drip Irrigation, p. 97-102, 1974.

HELL, R.; STEPHAN, U. W. Iron uptake, trafficking and homeostasis in plants. **Planta**, v. 216, p. 541-551, 2003.

HENZ, G. P.; SUINAGA, F. **Tipos de alface cultivadas no Brasil**. Brasília – DF, EMBRAPA, novembro, 2009. (Comunicado Técnico, 75).

HILLEL, D. Fundamentals of soil physics. New York: **Academic Press**, 1980. 413 p.

HILLEL, D. Environmental soil physics. San Diego, **Academic Press**, 1998. 771 p.

IEA – INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA. 2012. Disponível em: <<http://www.iaea.sp.gov.br/out/index.php>>. Acesso em: 30 jul. 2014.

JACKSON, M. B.; DREW, M. C. Effects of flooding on growth and metabolism of herbaceous plants. In: KOZLOWSKI, T. T. (Ed.) **Flooding and plant growth**. New York: Academic Press, p. 47-128, 1984.

JUAN, J. A. M. S. **Riego por goteo: teoría y práctica**. 4. ed. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 2000. 302 p.

KANO, C.; CARDOSO, A. I. I.; VILLAS BOAS, R. L. Acúmulo de nutrientes e resposta da alface à adubação fosfatada. **Revista Biotemas**, v. 25, n. 3, p. 39-47, 2012.

- KNOTT, J. E. **Handbook for vegetable growers**. 2. ed. New York. John Wiley & Sons,
- KÖPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha. Verlag Justus Perthes. 1928. Wall-map, 150 x 200 cm.
- KORNDÖRFER, G. H; PEREIRA, H. S.; NOLLA, A. **Análise de silício. Solo, planta e fertilizantes**. Uberlândia: GPSi/ ICIAG/ UFU, 2004. 34p. (Boletim Técnico,2).
- KOZLOWSKI, T. T.; PALLARDY, S. G. Effect of flooding on water, carbohydrate and mineral relations. In: KOZLOWSKI, T. T., (Ed.) **Flooding and plant growth**. New York: Academic Press, p. 165-188, 1984.
- LIMA, M. E. **Avaliação do desempenho da cultura da alface (*Lactuca sativa*) cultivada em sistema orgânico de produção, sob diferentes lâminas de irrigação e coberturas do solo**. 2007. 77 f. Dissertação (Agronomia – Fitotecnia) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, UFRJ, Rio de Janeiro, 2007.
- MACHADO, R. M. A.; OLIVEIRA, M. R. G. Tomato root distribution, yield and fruit quality under different subsurface drip irrigation regimes and depths. **Irrigation Science**, v. 24, p. 15-24, 2005.
- MALAVOLTA, E. **ABC da adubação**. ed. 5. São Paulo: Agronômica Ceres, 1989.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba. Potafós, 1997. 319 p.
- MANFRINATO, H. A. A irrigação por gotejamento: influência sobre as relações solo-água. **Irrigação e Tecnologia Moderna**, n. 22, p. 21-25, 1985.
- MARSCHNER H. 1995. Mineral nutrition of higher plants. San Diego: **Academic Press**. 889 p.
- MARCOS FILHO, J.; KIKUTI, A. L. P. Vigor de sementes de rabanete e desempenho de plantas em campo. **Revista Brasileira de Sementes**, v. 28, n. 3, p. 44-51, 2006.
- MARQUELLI, W. A.; SILVA, W. L. C. Profundidade de instalação da linha de gotejadores em tomateiro para processamento industrial. **Horticultura Brasileira**, v. 20, n. 2, p. 206-210, 2002.
- MARQUES, P. A. A.; FRIZZONE, J. A.; TEIXEIRA, M. B. O estado da arte da irrigação por gotejamento subsuperficial. **Colloquium Agrariae**, v. 2, n. 1, p. 17-31, 2006.
- MEEK, B. D.; EHLIG, C.F.; STOLZY, L. H.; GRAHAM, L. E. Furrow and trickle irrigation: Effects on soil oxygen and ethylene and tomato yield. **Soil Science Society of America Journal**, v. 47, p. 631–635, 1983.
- MEIRELLES, J. C. S. Classificação de alface. São Paulo: **Horti e Fruti**, 1998. (Folders).

- MERRIAM, J. L., KELLER, J. **Farm irrigation system evaluation: a guide for management.** Logan: Utah State University, 1978. 271 p.
- MOTA, J. H.; SOUZA, R. J. de; SILVA, E. C. da; CARVALHO, J. G. de; YURI, J. E. Efeito do Cloreto de Potássio via fertirrigação na produção de alface americana em cultivo protegido. **Ciência e agrotecnologia**, Lavras, v. 25, n. 3, p. 542-549, 2001.
- MOURA, V. V. **Efeitos de adubações de solo e doses de N em cobertura na cultura da alface.** 2009. 60 f. Dissertação (Agronomia – Produção Vegetal) – Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, UFVJM, Diamantina, 2009.
- OLIVEIRA, L. C.; STANGARLIN, J. R.; LANA, M. C.; SIMON, D.; ZIMMERMANN, A. Adubação orgânica e manejo da adubação verde na cultura da alface em sistema Orgânico. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 4, p. 500-503, 2009.
- PELACANI, C. R.; OLIVEIRA, L. E. M.; CRUZ, J. L. Dry matter production and distribution in plant of Ingá (*Inga vera* Wild.) and açai (*Euterpe oleraceae* Mart.) grown root system under flooded conditions. **Acta Horticulturae**, Wageningen, n. 370, p. 181-187, 1995.
- PENDERGAST, L.; MIDMORE, D. Oxygenation: enhanced root function, yields and water use efficiencies through aerated subsurface drip irrigation, with a focus on cotton. In: 13th AGRONOMY CONFERENCE, 2006. Australia. **Proceedings of 13th Agronomy Conference**, Perth: The Australian Society of Agronomy, p. 10 -15, 2006.
- PHENE, C. J.; BEALE, O. W. High frequency irrigation for water and nutrient management in the humid regions. **Soil Sciencia Society American Journal**, v. 40, p. 430-436, 1976.
- PHENE, C. J.; SANDERS, D. C. high-frequency trickle irrigation and row spacing effects on yield and quality for potatoes. **Agronomy Journal**, v. 68, p. 773-776, 1976.
- PHENE, C. J.; BLUME, M. F.; HILE, M. M. S.; MEEK, D. W.; RE, J. V. **Management of subsurface trickle irrigation systems.** St. Joseph: ASAE. 1983. (ASAE Paper, n. 83-2598).
- PHENE, C.J. et al. advantages of subsurface drip irrigation for processing tomatoes. **Acta Horticulturae**, n. 200, p. 101-113, 1987.
- PIVETTA, C. R.; MACHADO, R. M. A.; HELDWEIN, A. B.; DALBIANCO, L.; FERREIRA, A. J. S.; OLIVEIRA, M. R. G. Efeito da rega com injeção de ar na humidade do solo, disponibilidade e azoto nítrico, condutividade eléctrica e produtividade da alface cultivada em estufa plástica. **Revista de Ciências Agrárias**, vol. 33, n. 1, p. 70-78, 2010.
- PRIMAVESI, O.; MELLO, F. A. F. de; LIBARDI, P. L. Porosidade de aeração de solos para a máxima produção de grãos de feijoeiro, em casa de vegetação. **Anais da Escola Superior Agrícola Luiz de Queiroz**, vol. 45, p. 381-396, 1988.

RAIJ, B. Van; ANDRADE, J. C.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas, Instituto Agrônomo. 2001. 284 p.

REICHARDT, K. A água na produção agrícola. Piracicaba: **McGraw-Hill**, 1978. 119 p.

REZENDE, B. L. A. **Consórcio de pepino e alface em cultivo protegido: viabilidade agroeconômica**. 2008. 177 f. Tese (Agronomia – Produção Vegetal) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, UNESP, Jaboticabal, 2008.

RICHARDS, L. A. Physical conditions of water in soil. In: BLACK, C. A.; EVANS, D. D.; WHITE, J. L.; ENSMINGER, L. E.; CLARK, F. E. (Ed.) **Methods of soil analysis: Physical and mineralogical properties, including statistics of measurements and sampling**. Madison: American Society of Agronomy, p.128-152. 1965.

ROSE, J. L.; CHAVEZ, R. L.; PHENE, C. J.; HILE, M. M. S. Subsurface drip irrigation of processing tomatoes. In: ESPECIALY CONFERENCE ON ENVIRONMENTALLY SOUND WATER AND SOIL MANAGEMENT, New York, 1982. **Proceedings**. New York: ASAE, p. 369-376, 1982.

SANTOS, F. N.; ARAÚJO, J. R. G.; COSTA, E. M. R. C.; COSTA, E. P. B.; SILVA, J. C. B.; SILVA, J. R.; FREITAS, L. M.; VELOSO, T. R. G. Avaliação de cultivares de alface sob as condições de cultivos a ambiente protegido e a campo. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 23, n. 2, Suplemento, Resumos, 2005. (CD-ROM).

SCANLON, B. R.; NICOT, J. P.; MASSMANN, J. W. Soil gas movement in unsaturated systems. In: WARRICK, A. W. **Soil physics companion**. London, New York: CRC Press, 2002. p. 297-341.

SEDIYAMA, M. A. N.; PEDROSA, M. W.; SALGADO, L. T.; PEREIRA, P. C. Desempenho de cultivares de alface para cultivo hidropônico no verão e no inverno. **Revista Científica**, Jaboticabal, v. 37, n. 2, p. 98-106, 2009.

SFREDO, G. J.; LANTMANN, A. F. **Enxofre: Nutrientes necessários para maiores rendimentos da soja**. Londrina: PR, 2007. 6 p. (EMBRAPA. Circular técnica, 53)

SILVEIRA, P. M. da; STONE, L. F. Irrigação do feijoeiro por aspersão. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 17, n. 178, p. 28-34, 1994.

SILVA, W. L. C.; MAROUELLI, W. A. Manejo da irrigação em hortaliças no campo e em ambientes protegidos. In: FARIA, M. A.; SILVA, E. L.; VILELA, L. A. A. Manejo de irrigação. Poços de Caldas: **SBEA**, Cap. 5. p. 311-348, 1998.

SILVA, J. O.; SOUZA, P. A.; GOMES JUNIOR, J.; PEREIRA, P. R. G.; ROCHA, F. A. Crescimento e composição mineral da alface no sistema hidropônico por capilaridade. **Irriga**, v. 10, n. 2, p. 146-154, 2005.

SILVEIRA JUNIOR, S. D. da; **Qualidade física de um latossolo Vermelho sob plantio direto submetido à descompactação mecânica e biológica**. 2012. 65 f. Dissertação

(Agronomia – Solos e Nutrição de plantas) – Universidade de São Paulo, USP, Piracicaba, 2012.

SOJKA, R. E. Stomatal closure in oxygen-stressed plants. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 154, p. 269-280, 1992.

SOUZA, P. A.; NEGREIROS, M. Z.; MENEZES, J. B.; BEZERRA NETO, F.; SOUZA, G. L. F. M.; CARNEIRO, C. R.; QUEIROGA, R. C. F. Características químicas de alface cultivada sob efeito residual da adubação com composto orgânico. **Horticultura Brasileira**, Brasília – DF, v. 23, n. 3, p. 754-757, 2005.

SOUZA, M. C. M. de; RESENDE, L. V.; MENEZES, D.; LOGES, V.; SOUTE, T. A.; SANTOS, V. F. Variabilidade genética para características agronômicas em progênies de alface tolerantes ao calor. **Horticultura Brasileira**, v. 26, p. 354-358, 2008.

SUINAGA, F. A.; BOITEUX, L. S.; CABRAL, C. S. RODRIGUES, C. S. **Métodos de avaliação do florescimento precoce e identificação de fontes de tolerância ao calor em cultivares de alface do grupo varietal ‘crespa’**. Brasília DF: EMBRAPA hortaliças, 2013. 4 p. (Comunicado Técnico, 89).

KORNDÖRFER, G. H; PEREIRA, H. S.; NOLLA, A. **Análise de silício. Solo, planta e fertilizantes**. Uberlândia: GPSi/ ICIAG/ UFU, 2004. 34p. (Boletim Técnico, 2).

TEXEIRA, A. S.; COELHO, S. L. Desenvolvimento e calibração de um tensiômetro eletrônico de leitura automática. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 367-376, 2005.

TRANI, P. E.; RAIJ, B. Hortaliças. In: RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A.; FURLANI, A. M. C. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. Campinas: Instituto Agronômico, p.157-185. 1997. (Boletim Técnico, 100).

TURAZI, C. M. V.; JUNQUEIRA, A. M. R.; OLIVEIRA, S. A. de; BORGIO, L. A. Acúmulo de nitrato em alface em função da adubação, horário de colheita e tempo de armazenamento. **Horticultura Brasileira**, v. 24, n. 1, p. 65-70, 2006.

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

WEIR, R. G.; CRESSWELL, G. C. Plant nutrient disorders 3. **Vegetable crops**. Sydney, 1993. 105 p.