

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA  
COPEAG - COORD. DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENG. AGRÍCOLA



# **PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

## **Tese de Doutorado**

**INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA E VAZÃO DA SOLUÇÃO  
NUTRITIVA SOBRE O CRESCIMENTO, ACÚMULO DE PIGMENTOS  
E NITRATO NA ALFACE**

**MARLOS WANDER GRIGOLETO**

**Campina Grande**

**Paraíba**

**2013**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE**  
**PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS**  
**COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA**  
**AGRÍCOLA**



**MARLOS WANDER GRIGOLETO**

**INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA E VAZÃO DA SOLUÇÃO**  
**NUTRITIVA SOBRE O CRESCIMENTO, ACÚMULO DE PIGMENTOS**  
**E NITRATO NA ALFACE**

---

Campina Grande - Paraíba  
2013

MARLOS WANDER GRIGOLETO



**INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA E VAZÃO DA SOLUÇÃO  
NUTRITIVA SOBRE O CRESCIMENTO, ACÚMULO DE PIGMENTOS  
E NITRATO NA ALFACE**

Tese apresentada ao Programa de  
Doutorado em Engenharia Agrícola do  
Centro de Tecnologia e Recursos  
Naturais da Universidade Federal de  
Campina Grande, em cumprimento às  
exigências para obtenção do título de  
Doutor em Engenharia Agrícola.

Orientador: **Prof. Dr. Ronaldo do  
Nascimento**

Campina Grande - Paraíba  
2013

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

G857i Grigoletto, Marlos Wander.

Influência da temperatura e vazão da solução nutritiva sobre o crescimento, acúmulo de pigmentos e nitrato na alface / Marlos Wander Grigoletto. – Campina Grande, 2013.  
141 f. : il. Color.

Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

"Orientação: Prof. Dr. Ronaldo do Nascimento".  
Referências.

1. Alface. 2. Casca de Vegetação. 3. Clorofila. 4. Taxa de Crescimento.  
5. Parâmetros Biométricos Hidroponia. 6. Imagem Térmica de Vegetal.  
I. Nascimento, Ronaldo do. II. Título.

CDU 635.52(043)

**DIGITALIZAÇÃO:**  
**SISTEMOTECA - UFCG**



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

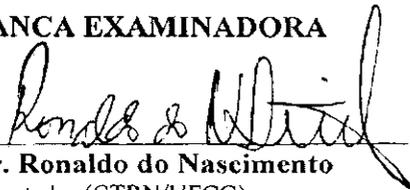


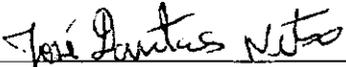
PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA TESE

MARLOS WANDER GRIGOLETO

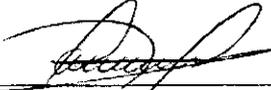
INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA E VAZÃO DA SOLUÇÃO NUTRITIVA  
SOBRE O CRESCIMENTO, ACÚMULO DE PIGMENTOS E NITRATO NA  
ALFACE

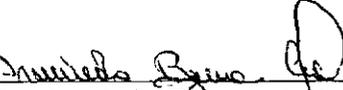
BANCA EXAMINADORA

  
Dr. Ronaldo do Nascimento  
Orientador (CTRN/UFCC)

  
Dr. José Dantas Neto  
Examinador (CTRN/UFCC)

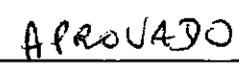
  
Dr. Vera Lúcia Antunes de Lima  
Examinadora (CTRN/UFCC)

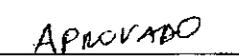
  
Dr. Antonio Aprígio  
Examinador (UTFPR/MEDIANEIRA)

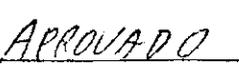
  
Dr. Armindo Bezerra Leão  
Examinador (DS/AUTÔNOMO)

PARECER











NOVEMBRO DE 2013

Av. Aprígio Veloso, 882 – Bodocongó  
58429-140 – CAMPINA GRANDE - PB  
Fone: (83) 2101.1055. Fax: (83) 2101.1185  
<http://www.deag.ufcg.edu.br/copeag>

*Pouco conhecimento faz com que as pessoas se sintam orgulhosas.  
Muito conhecimento, que se sintam humildes.  
É assim que as espigas sem grãos erguem desdenhosamente a cabeça para o céu,  
enquanto que as cheias as baixam para a terra, sua mãe.*

*Leonardo da Vinci*

*Como conseguir traduzir a grandeza de sentimentos como agradecimento, reconhecimento e gratidão em palavras? Como demonstrar o significado de ser verdadeiro e profundamente grato a alguém? Nesse momento de finalização do doutorado, apesar de estar certo que, mesmo com as palavras mais bonitas, seja indescritível manifestar a sinceridade e intensidade da minha gratidão, quero dedicar imensamente às pessoas que em momentos distintos em minha vida, foram responsáveis pelo trabalho aqui apresentado, seja pelo amor, pelo carinho, pelas palavras de reflexão e pela inspiração, e que tornaram os anos que cursei o doutorado uma das etapas mais positivas, construtivas e importantes da minha vida pessoal e profissional.*

*Dedico esta tese...*

*À vida, processo mais criativo do universo, que quisera que eu entendesse por percursos diversos que o amor e a dor caminham juntos como um verso.*

*Aprendi!*

*Aos meus queridos avós Jovelina e Kuinto, pelo exemplo de amor, perseverança e dedicação a agricultura. Nunca se abateram diante de qualquer adversidade que enfrentaram na “labuta da roça”. Inspiradores do meu amor pelo campo.*

*Saudades!*

*Aos meus pais Maria e Antonio, pessoas de bem, que me ensinaram amorosamente a acreditar que a vida vale a pena. Sempre confiaram em minha capacidade e nunca economizaram esforços e recursos para minha formação.*

*Obrigado!*

*A minha linda filha, Mariana, seu doce sorriso que veio iluminar à minha vida!*

*Siga em frente!*

*A minha amada Juliane.*

*Sem você nada teria sentido!*

## AGRADECIMENTOS

Sabemos que um trabalho como este não se faz sozinho. Ainda que a responsabilidade pelos erros e omissões seja minha, uma vez que sou o redator desta tese e boa parte do que está aqui escrito seja fruto das minhas reflexões, há pessoas cuja colaboração foi tão expressiva que faz-se necessário creditar parte do melhor resultado a elas. E como o reconhecimento é a memória do coração, organizo as menções com a mesma intensidade de gratidão a todos, independentemente da ordem sequencial.

Meu muitíssimo obrigado ao meu orientador e Professor Doutor Ronaldo do Nascimento. Obrigado por acreditar e aceitar-me como orientando, incentivando e apoiando-me sempre que precisei. E, mesmo sendo provável que eu o tenha decepcionado em algum momento, quero que saiba: o que me ensinou sobre ética profissional, sobre responsabilidade e atitude positiva frente aos desafios muito me ajudou a concluir este trabalho. As divergências, que nem posso contar como muitas, me fizeram crescer. E mesmo a distância de 3.599 quilômetros que separam Medianeira, no Paraná e Campina Grande, na Paraíba, que tantas vezes impediu sua presença física, não foi obstáculo à confiança que depositou no desenvolvimento do meu trabalho. Espero sinceramente que possa se orgulhar dele.

Ainda no âmbito acadêmico, devo agradecer à Professora Doutora Vera Antunes de Lima, um exemplo que sempre levarei comigo, como pessoa e como profissional.

Não desejando que lapsos da memória omitam qualquer pessoa, expresso meus agradecimentos:

- à Professora Doutora Caciana Costa Cavalcanti e ao Professor José Dantas Neto pelas sugestões pertinentes durante a construção deste trabalho;

- aos laboratoristas, Ademir Mattana e Marilei Veit, que me atenderam em todos os momentos e tiveram paciência para me ensinar as técnicas em laboratório;

- aos produtores, Fernando Kazuo Suetake e Tiago Cardozo Dal Sotto, que abriram suas propriedades para a pesquisa e ajudaram a descobrir “os segredos” da produção hidropônica;

- aos professores, Dirceu de Melo, Neusa Idick Scherpinski, Paulo Job Brenneisen e Silvana Ligia Vicenzi Bortolotti, os quais compartilharam comigo seus conhecimentos em estatística e auxiliaram na utilização dos softwares e na interpretação dos resultados;

- ao senhor Elidio Variani, agricultor que muito auxiliou na coleta dos dados climáticos;

- ao professor Neron Alípio Cortes Berghauser, pelas interlocuções e pelo incentivo que impulsionaram este trabalho;

- ao braço forte do senhor Moisés Moreira, pelo auxílio, debaixo de sol e chuva, na construção e manutenção da estufa;

- aos conselhos e orientações do professor Antonio Aprigio, inspirador desta pesquisa, que com sua tranquilidade muitas vezes ajudou a superar fases difíceis;

- aos colegas professores, Claudio Leones Bazzi e Nelson Miguel Betzek, pelo auxílio para a obtenção dos equipamentos utilizados nesta pesquisa;

- ao professor Ivair Marchetti, pelo fornecimento de material para a estufa;

- ao colega Marcelo Possas, que me recebeu em Campina Grande e com quem muito aprendi imerso em nossas longas conversas;

- ao corpo diretivo da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, pelo empenho na concretização deste Programa de Doutorado Interinstitucional.

Por fim, agradeço a todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, os quais lutam por uma Educação digna e por um ensino de qualidade.

## RESUMO

Este trabalho objetivou avaliar a influência da temperatura e da vazão da solução nutritiva em um cultivo da alface (*Lactuca sativa* L.) da cultivar *Vera*, em sistema hidropônico, sobre o crescimento, teor de pigmentos fotossintéticos, teor de nitrato e comportamento de fluxo térmico sobre a planta. Foram utilizadas quatro vazões da solução nutritiva: 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0 L.min<sup>-1</sup> e três temperaturas: 15°C, 25°C e temperatura ambiente. Foi utilizado delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial (4x3), com 10 repetições. Cada parcela foi composta por um canal de cultivo contendo dez plantas. Para a determinação dos teores de nitrato, foi utilizado o método colorimétrico descrito por Cataldo *et al.* (1975), a partir da nitratação do ácido salicílico e leitura em espectrofotômetro a 410 nm. Para a determinação dos teores de clorofila nas folhas da alface foram utilizadas duas metodologias: uma não destrutiva, o índice de clorofila Falker, e outra destrutiva, o método descrito por Lichtenthaler e Welburn (1983). Durante o experimento foram realizadas cinco leituras do teor de clorofila e teor de nitrato (aos 28, 35, 42, 49 e 56 dias após a semeadura). Os parâmetros de crescimento avaliados foram obtidos pela medição do diâmetro do caule, do número de folhas e da altura da planta. Estes parâmetros foram medidos aos 21, 28, 35, 42, 49 e 56 dias após a semeadura. Ao final do cultivo foram realizadas as leituras da massa fresca total, massa fresca de raiz, massa fresca das folhas, massa fresca de caule, massa fresca da parte aérea, medição do comprimento de caule, massa seca total, massa seca de raiz, massa seca foliar, massa seca de caule e massa seca da parte aérea, área foliar, área foliar específica, razão de peso de folha e razão de área foliar. As imagens térmicas foram obtidas com o uso de um termovisor da marca Testo modelo 881. Os resultados apontam que os teores de nitrato e de pigmentos fotossintéticos foram influenciados apenas pela temperatura da solução nutritiva. A quantidade de nitrato na folha da alface encontra-se dentro dos padrões recomendados pela Organização Mundial de Saúde e pela Comunidade Europeia. O clorofilômetro estimou com boa precisão o teor de pigmento fotossintético na folha da alface. A vazão influenciou a taxa de crescimento absoluto do diâmetro de caule, altura da planta e número de folhas da alface *Vera*: quanto maior a vazão, maior a taxa de crescimento absoluto. A taxa de crescimento absoluto do diâmetro de caule, altura da planta e número de folhas da alface *Vera* teve tendência de aumentar com o desenvolvimento do ciclo da planta. A vazão influenciou a taxa de crescimento absoluto e relativo do diâmetro de caule, altura da planta e número de folhas da alface *Vera*. Quanto maior a vazão, maior a taxa de crescimento absoluto. A maior produção de massa fresca da parte aérea foi de 286,19 gramas, e a menor foi de 145,07 gramas. Tanto a produção de massa fresca da parte aérea quanto a produção de massa seca foram influenciadas pela temperatura e vazão da solução nutritiva. Quanto maior a vazão e a temperatura da solução nutritiva, maior foi a produção de massa seca. A maior produção de massa seca total foi de 35,72 gramas, e a menor foi de 13,19 gramas. Em relação ao comportamento térmico das plantas da alface irrigadas com solução nutritiva em temperaturas diferentes, observou-se a tendência da temperatura da planta entrar em equilíbrio com a temperatura do meio.

**Palavras-chave:** alface, casa de vegetação, clorofila, taxa de crescimento, parâmetros biométricos, hidroponia, imagem térmica do vegetal.

## ABSTRACT

This study aimed to evaluate the influence of temperature and flow rate of the nutrient solution in a crop of lettuce (*Lactuca sativa L.*) kind *Vera*, hydroponically, on growth, photosynthetic pigment content, nitrate content and flow behavior thermal on the plant. There were four nutrient solution flow rates: 0.5, 1.0, 1.5, and 2.0 L.min<sup>-1</sup> and three temperatures: 15°C, 25°C and room temperature. We used a completely randomized design in a factorial design (4x3) with 10 repetitions. Each plot consisted of a channel containing ten plants cultivation. To determine the levels of nitrate, was used colorimetric method described by Cataldo *et al.* (1975), from the nitration of salicylic acid and spectrophotometric reading at 410 nm. For the determination of chlorophyll in lettuce leaves two methods were used, a non-destructive, the chlorophyll index Falker, and other destructive method described by Lichtentaler and Welburn (1983). During the experiment were five readings of chlorophyll content and nitrate content (at 28, 35, 42, 49 and 56 days after the sowing). The growth parameters were obtained by measuring stem diameter, leaf number and height of the plant. These parameters were measured at 21, 28, 35, 42, 49 and 56 days after the sowing. At the end of culture were performed readings of total fresh weight, root fresh weight, fresh weight of leaves, stem fresh weight, shoot fresh weight, measuring stem length, total dry weight, root dry weight, mass dried leaf, stem dry weight and shoot dry mass, leaf area, specific leaf area, leaf weight ratio and leaf area ratio. The thermal images were obtained using a Testo imager brand model 881. The results show that the nitrate content and photosynthetic pigments were only influenced by the temperature of the nutrient solution. The amount of nitrate in lettuce leaf is within the standards recommended by the World Health Organization and the European Community. The chlorophyll estimated with good accuracy the content of photosynthetic pigment on lettuce leaf. The flow influenced the absolute growth rate of stem diameter, plant height and number of leaves of lettuce *Vera* when higher flow rate, the greater the absolute growth rate. The absolute growth rate of stem diameter, plant height and number of leaves of lettuce *Vera* tended to increase with the development of the plant cycle. The flow rate influenced the absolute and relative growth of stem diameter, plant height and number of leaves of lettuce *Vera*, when higher the flow, the greater the absolute growth rate. The highest yield of fresh mass of shoots was 286.19 grams, and the lowest was 145.07 grams. The fresh mass of shoots was influenced by the temperature and flow of the nutrient solution when higher flow rate and temperature of the nutrient solution, the higher the dry matter production. The highest total dry matter production was 35.72 grams, and the lowest was, 13.19 grams. The total dry matter production was influenced by the temperature and flow of the nutrient solution when higher flow rate and temperature of the nutrient solution, the higher the dry matter production. The thermal behavior of lettuce plants irrigated with nutrient solutions at different temperatures there is a tendency of the temperature of the plant come into equilibrium with the temperature of the medium.

**Keywords:** lettuce, greenhouse, chlorophyll, growth rate, biometric parameters hydroponics, plant thermal image.

## LISTA DE FIGURA

FIGURA 1. Casa de vegetação construída para o experimento. ....	31
FIGURA 2. Disposição dos canais de cultivo definitivo na bancada do experimento.....	31
FIGURA 3. Válvulas utilizadas no controle da vazão da solução nutritiva. ....	33
FIGURA 4. Distribuição dos tratamentos nos canais de cultivos. ....	35
FIGURA 5. Local da retirada de amostra para análise de pigmentos e nitrato. ....	39
FIGURA 6. Procedimento para medição do diâmetro do caule. ....	41
FIGURA 7. Procedimento para medição da altura da planta. ....	42
FIGURA 8. Procedimento para medição do comprimento do caule.....	42
FIGURA 9. Metodologia para a leitura termográfica da planta da alface da alface. ....	46
FIGURA 10. Sequência de leituras com o termovisor. ....	46
FIGURA 11. Suporte utilizado na medição térmica para sustentar a amostra e isolamento térmico.....	47
FIGURA 12. Planta preparada para análise térmica.....	47
FIGURA 13. Gráficos Plot, de teor de nitrato nas folhas da alface, com intervalo de confiança de 95% para 28, 35, 42, 49 e 56 dias após a semeadura.....	51
FIGURA 14. Comportamento do teor de nitrato nas folhas da alface para 28, 35, 42, 49 e 56 DAS para cada temperatura da solução nutritiva do experimento. ....	52
FIGURA 15. Comportamento do teor de Clorofila <i>total</i> em relação à variação da temperatura em 5 coletas após a semeadura. ....	56
FIGURA 16. Comportamento do teor de Clorofila <i>a</i> em relação à variação da temperatura em 5 coletas após a semeadura. ....	58
FIGURA 17. Comportamento do teor de Clorofila <i>b</i> em relação à variação da temperatura em 5 coletas após a semeadura. ....	60
FIGURA 18. Regressão linear entre o teor de clorofila <i>a</i> , extraído das folhas da alface, e as leituras obtidas com o clorofilômetro Falker.....	62
FIGURA 19. Regressão linear entre o teor de clorofila <i>b</i> , extraído das folhas da alface, e as leituras obtidas com o clorofilômetro Falker.....	63
FIGURA 20. Regressão linear entre o teor de clorofila <i>b</i> , extraído das folhas da alface, e as leituras obtidas com o clorofilômetro Falker.....	63
FIGURA 21. Número de folhas para vazão crescente, para as temperaturas ambiente, 15°C e 25°C, da solução nutritiva. ....	68
FIGURA 22. Altura da planta (AP) em função da vazão para as temperaturas ambiente, 15°C e 25°C da solução nutritiva.....	68
FIGURA 23. Diâmetro de caule (DC) em função da vazão para as temperaturas ambiente, 15°C e 25°C da solução nutritiva. ....	69

FIGURA 24. Produção de massa fresca de raiz (MFR) em função da vazão para as temperaturas ambiente, 15°C e 25°C da solução nutritiva.....	73
FIGURA 25. Produção de massa fresca foliar (MFF) em função da vazão para as temperaturas ambiente, 15°C e 25°C da solução nutritiva.....	74
FIGURA 26. Produção de massa fresca da parte aérea (MFPA) em função da vazão para as temperaturas ambiente, 15°C e 25°C da solução nutritiva.....	75
FIGURA 27. Produção de massa fresca total (MFT) em função da vazão para as temperaturas ambiente, 15°C e 25°C da solução nutritiva.....	76
FIGURA 28. Produção de massa seca de raiz em função da vazão para as temperaturas ambiente, 15°C e 25°C, da solução nutritiva.....	80
FIGURA 29. Produção de massa seca foliar em função da vazão para as temperaturas ambiente, 15°C e 25°C da solução nutritiva.....	81
FIGURA 30. Produção de massa seca da parte aérea em função da vazão para as temperaturas ambiente, 15°C e 25°C da solução nutritiva.....	81
FIGURA 31. Produção de massa seca total em função da vazão para as temperaturas ambiente, 15°C e 25°C da solução nutritiva.....	82
FIGURA 32. Taxa de crescimento absoluto de número de folhas da alface irrigada com solução nutritiva a 15°C, em função da vazão.....	83
FIGURA 33. Taxa de crescimento relativo de número de folhas da alface irrigada com solução nutritiva a 15°C, em função da vazão.....	84
FIGURA 34. Taxa de crescimento absoluto de número de folhas da alface irrigada com solução nutritiva a 25°C, em função da vazão.....	85
FIGURA 35. Taxa de crescimento relativo de número de folhas da alface irrigada com solução nutritiva a 25°C, em função da vazão.....	86
FIGURA 36. Taxa de crescimento absoluto de número de folhas da alface irrigada com solução nutritiva em temperatura ambiente, em função da vazão.....	87
FIGURA 37. Taxa de crescimento relativo de número de folhas da alface irrigada com solução nutritiva em temperatura ambiente, em função da vazão.....	88
FIGURA 38. Taxa de crescimento absoluto de altura da planta da alface, irrigada com solução nutritiva a 15°C, em função da vazão.....	89
FIGURA 39. Taxa de crescimento relativo de altura da planta da alface irrigada com solução nutritiva a 15°C, em função da vazão.....	90
FIGURA 40. Taxa de crescimento absoluto de altura da planta da alface irrigada com solução nutritiva a 25°C, em função da vazão.....	91
FIGURA 41. Taxa de crescimento relativo de altura da planta da alface irrigada com solução nutritiva a 25°C, em função da vazão.....	92
FIGURA 42. Taxa de crescimento absoluto de altura da planta da alface irrigada com solução nutritiva em temperatura ambiente, em função da vazão.....	93
FIGURA 43. Taxa de crescimento relativo de altura da planta da alface irrigada com solução nutritiva em temperatura ambiente, em função da vazão.....	94

FIGURA 44. Taxa de crescimento absoluto do diâmetro da alface irrigada com solução nutritiva a 15°C, em função da vazão.....	95
FIGURA 45. Taxa de crescimento relativo do diâmetro da alface irrigada com solução nutritiva a 15°C, em função da vazão.....	96
FIGURA 46. Taxa de crescimento absoluto do diâmetro da alface irrigada com solução nutritiva a 25°C, em função da vazão.....	97
FIGURA 47. Taxa de crescimento relativo do diâmetro da alface, irrigada com solução nutritiva a 25°C, em função da vazão.....	98
FIGURA 48. Taxa de crescimento absoluto do diâmetro da alface irrigada com solução nutritiva em temperatura ambiente, em função da vazão. ....	99
FIGURA 49. Taxa de crescimento relativo do diâmetro da alface irrigada com solução nutritiva em temperatura ambiente, em função da vazão. ....	100
FIGURA 50. Gráfico das regressões da área foliar em relação à temperatura para as vazões da solução nutritiva. ....	103
FIGURA 51. Gráfico das regressões da área foliar específica em relação à vazão para as temperaturas da solução nutritiva. ....	104
FIGURA 52. Gráfico das regressões da área foliar específica em relação à temperatura para as vazões da solução nutritiva.....	105
FIGURA 53. Gráfico das regressões da razão de peso foliar em relação à temperatura para as vazões da solução nutritiva.....	106
FIGURA 54. Comportamento da razão de área foliar em relação à vazão para as temperaturas da solução nutritiva.....	107
FIGURA 55. Gráfico das regressões da razão de área foliar em relação à temperatura para as vazões da solução nutritiva.....	108
FIGURA 56. Análise térmica da planta submetida à solução nutritiva a 15°C. M1 – raiz da planta, M2 – caule da planta, M3 – meio da planta e M4 - extremidade das folhas. ....	110
FIGURA 57. Análise térmica da planta submetida à solução nutritiva a 15°C. M1 – raiz da planta, M2 – caule da planta, M3 – meio da planta e M4 – extremidade das folhas.....	111
FIGURA 58. Análise térmica da planta submetida à solução nutritiva à temperatura ambiente. M1 – raiz da planta, M2 – caule da planta, M3 – meio da planta e M4 – extremidade das folhas. ....	112
FIGURA 59. Análise térmica da planta submetida à solução nutritiva à temperatura ambiente. M1 – raiz da planta, M2 – caule da planta, M3 – meio da planta e M4 – extremidade das folhas. ....	113
FIGURA 60. Análise térmica da planta submetida à solução nutritiva a 25°C. M1 – raiz da planta, M2 – caule da planta, M3 – meio da planta e M4 – extremidade das folhas.....	114
FIGURA 61. Análise térmica da planta submetida à solução nutritiva a 25°C. M1 – raiz da planta, M2 – caule da planta, M3 – meio da planta e M4 extremidade das folhas.....	115
FIGURA 62 Equações de regressão para as temperaturas nas partes da planta (Ts – Temperatura da Solução Nutritiva, Tr – Temperatura da raiz, Tc – Temperatura do Caule, Tm	

– Temperatura do meio da planta,  $T_{ex}$  – Temperatura da extremidade da folha,  $T_{ar}$  –  
Temperatura do ar..... 116

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1. Tratamento utilizado no experimento .....	34
TABELA 2. Solução de macro e micronutrientes (g. 1000L <sup>-1</sup> ) recomendadas para hortaliças folhosas.....	36
TABELA 3. Resultado da análise de variância e regressão da relação entre o teor de nitrato na folha da alface e as variáveis, vazão e temperatura, da solução nutritiva, para 5 coletas em DAS distintos.....	49
TABELA 4. Resumo estatístico da comparação das médias dos tratamentos e análise de variância da quantidade de nitrato na folha da alface, em função da temperatura. ....	53
TABELA 5. Resultado da análise de variância e regressão das relações entre o teor de clorofila <i>total</i> na folha da alface e as variáveis, vazão e temperatura, da solução nutritiva, para 5 coletas. ....	55
TABELA 6. Resultado da análise de regressão das relações entre o teor de clorofila <i>a</i> na folha da alface e as variáveis, vazão e temperatura, da solução nutritiva, para 5 coletas após a semeadura. ....	57
TABELA 7. Resultado da análise de variância e regressão, das relações entre o teor de clorofila <i>b</i> na folha da alface e as variáveis, vazão e temperatura, da solução nutritiva, para 5 coletas após a semeadura. ....	59
TABELA 8. Resultado da análise de variância e regressão, das relações entre diâmetro de caule, comprimento de caule, altura da planta e número de folhas e as variáveis, vazão e temperatura, da solução nutritiva.....	65
TABELA 9. Valores médios de diâmetro de caule, altura de planta e número de folhas, e as variáveis, vazão e temperatura, da solução nutritiva. ....	66
TABELA 10. Resultado da análise de regressão, das relações entre massa fresca de caule (MFC), massa fresca de raiz (MFR), massa fresca de folhas (MFF), massa fresca parte aérea (MFPA), e massa fresca total (MFT), e as variáveis, vazão e temperatura, da solução nutritiva. ....	70
TABELA 11. Valores médios de massa fresca de caule (MFC), massa fresca de raiz (MFR), massa fresca de folhas (MFF), massa fresca parte aérea (MFPA), e massa fresca total (MFT), e as variáveis, vazão e temperatura, da solução nutritiva. ....	71
TABELA 12. Resultado da análise de regressão para massa seca de caule, massa seca de raiz, massa seca de folhas, massa seca parte aérea, e massa seca total, em relação às variáveis, vazão e temperatura, da solução nutritiva. ....	77
TABELA 13. Valores médios de massa seca de caule, massa seca de raiz, massa seca foliar, massa seca parte aérea, massa seca total, em função das variáveis, vazão e temperatura, da solução nutritiva. ....	78
TABELA 14. Valores médios de área foliar, área foliar específica, razão de peso foliar e razão de área foliar, em relação às variáveis, vazão e temperatura, da solução nutritiva. ....	101
TABELA 15. Equações de regressão e parâmetros observados para a relação obtida entre área foliar (AF) e as variáveis, vazão e temperatura, da solução nutritiva. ....	102

TABELA 16. Equação de regressão e parâmetros observados da razão de peso foliar em relação às variáveis, vazão e temperatura, da solução nutritiva. ....	105
TABELA 17. Resultado da análise de variância e regressão das relações entre temperatura da folha da alface e as variáveis, vazão e temperatura, da solução nutritiva. ....	109
TABELA 18. Teste de médias para as temperaturas obtidas nos pontos da planta em relação à temperatura da solução nutritiva.....	109

## LISTA DE SÍMBOLOS, ABREVIATURAS E SIGLAS

$\mu\text{m}$	micrometro
$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	microsiemen por centímetro
AF	área foliar
AFAF	área foliar da amostra fresca
AFE	área foliar específica
AP	altura de planta
ATP	adenosina trifosfato
$^{\circ}\text{C}$	graus Celsius
Ca	cálcio
CC	comprimento do caule
CE	condutividade elétrica
DAS	dias após a semeadura
DAT	dias após o transplante
DC	diâmetro do caule
$\text{dm}^3$	decímetro cúbico
DMF	N-dimetilformamida
$\text{dS m}^{-1}$	deci-siemen por metro
FAO	Organização Mundial para Agricultura e Alimentação
Fe	ferro
g	grama
h	hora
$\text{H}_2\text{SO}_4$	ácido sulfúrico
ICF	índice de clorofila Falker
IDA	Ingestão Diária Aceitável
IUPAC	União Internacional de Química Pura e Aplicada
JECFA	Comitê de Peritos em Aditivos Alimentares da FAO/WHO
K	potássio

kg	quilograma
L	litro
LAMAG	Laboratório de análise de alimentos e água
L.min <sup>-1</sup>	litro por minuto
MAFS	massa da amostra foliar seca
MAFF	massa da amostra foliar fresca
MFC	massa fresca do caule
MFF	massa fresca foliar
MFPA	massa fresca parte aérea
MFR	massa fresca da raiz
MFT	massa fresca total
Mg	magnésio
mg	miligrama
mL	mililitro
mg.dm <sup>-3</sup>	miligrama por decímetro cúbico
mm <sup>2</sup>	milímetros quadrados
mS cm <sup>-1</sup>	milisiemen por centímetro
MSC	massa seca do caule
MSF	massa seca foliar
MSPA	massa seca parte aérea
MSR	massa seca da raiz
MST	massa seca total
N	nitrogênio
Na	sódio
NADPH	nicotinamida adenina dinucleotídeo-P
NaOH 2N	hidróxido de sódio
NF	número de folhas
NFT	técnica do fluxo laminar de nutriente (Nutrient film technique)
NFT	número de folhas total
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	amônia

nm	nanômetro
NaNO <sub>3</sub>	nitrito de sódio
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup>	nitrito
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	nitrito
O <sub>2</sub>	oxigênio
OMS	Organização Mundial da Saúde
P	fósforo
pH	potencial de hidrogênio iônico
PVC	policloreto de vinila
ppm	parte por milhão
RAF	razão de área foliar
RPF	razão de peso foliar
SAN	segurança alimentar e nutricional
TCA	taxa de crescimento absoluto
TCR	taxa de crescimento relativo
Tc	temperatura do caule da planta
Tex	temperatura da extremidade da folha
Tm	temperatura do meio da planta
Tr	temperatura da raiz da planta
UFCG	Universidade Federal de Campina Grande
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
W	Watts

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURA.....	ix
LISTA DE TABELAS.....	xiii
LISTA DE SÍMBOLOS, ABREVIATURAS E SIGLAS .....	xv
1. INTRODUÇÃO.....	15
2. OBJETIVOS.....	18
2.1 OBJETIVO GERAL.....	18
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	18
3. REVISÃO DE LITERATURA .....	20
3.1 A POPULAÇÃO MUNDIAL E A DEMANDA POR ALIMENTOS .....	20
3.2 O CULTIVO HIDROPÔNICO .....	21
3.3 O CULTIVO HIDROPÔNICO DA ALFACE .....	23
3.4 ANÁLISE DE CRESCIMENTO.....	24
3.5 ANÁLISE DE PIGMENTOS FOTOSSINTÉTICOS .....	25
3.6 ANÁLISE DE NITRATO .....	27
3.7 ANÁLISE TÉRMICA .....	28
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	30
4.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	30
4.2 TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL.....	33
4.3 MANEJO DO CULTIVO.....	35
4.4 MANEJO DA SOLUÇÃO NUTRITIVA.....	36
4.5 DETERMINAÇÃO DOS TEORES DE NITRATO .....	37
4.6 DETERMINAÇÃO DOS TEORES DE CLOROFILA .....	38
4.6.1 Índice de clorofila Falker.....	38
4.6.2 Extração e quantificação.....	39
4.7 DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DE CRESCIMENTO .....	40
4.7.1 Diâmetro do caule.....	40
4.7.2 Número de folhas.....	41
4.7.3 Altura da Planta .....	41
4.7.4 Comprimento de Caule.....	42
4.7.5 Determinação de Massa Fresca .....	43
4.7.6 Massa Seca .....	43
4.7.7 Área foliar.....	43
4.8 ANÁLISE DE CRESCIMENTO.....	44
4.9 IMAGEM TÉRMICA.....	45
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	48

5.1 RELAÇÃO ENTRE TEOR DE NITRATO E AS VARIÁVEIS, TEMPERATURA E VAZÃO, DA SOLUÇÃO NUTRITIVA.....	48
5.2 RELAÇÃO ENTRE TEOR DE CLOROFILA E AS VARIÁVEIS, TEMPERATURA E VAZÃO, DA SOLUÇÃO NUTRITIVA.....	54
5.2.1 Teor de clorofila <i>total</i> .....	54
5.2.2 Teor de clorofila <i>a</i> .....	56
5.2.3 Teor de clorofila <i>b</i> .....	59
5.3 RELAÇÃO DO TEOR DE CLOROFILA EXTRAÍDA E AS LEITURAS OBTIDAS NO CLOROFILÔMETRO.....	61
5.4 RELAÇÕES ENTRE OS DADOS BIOMÉTRICOS E AS VARIÁVEIS, TEMPERATURA E VAZÃO, DA SOLUÇÃO NUTRITIVA.....	64
5.4.1 Dados biométricos.....	65
5.4.2 Dados biométricos de massa fresca.....	70
5.4.3 Dados biométricos de massa seca.....	76
5.5 TAXA DE CRESCIMENTO.....	83
5.5.1 Taxa de crescimento em relação ao número de folhas.....	83
5.5.2 Taxa de crescimento em relação à altura de planta.....	88
5.5.3 Taxa de crescimento em relação ao diâmetro de caule.....	94
5.6 ÁREA FOLIAR.....	100
5.7 ANÁLISES TÉRMICAS.....	108
CONCLUSÕES.....	117
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	119
ANEXO I.....	128
ANEXO II.....	134

## 1. INTRODUÇÃO

A população mundial, estimada em 7,2 bilhões de pessoas em 2013, deve avançar para, aproximadamente, 8,1 bilhões no ano de 2025 e 9,6 bilhões em 2050. No Brasil, a população é estimada em 201 milhões em 2013 e deve alcançar o número de 228 milhões de habitantes em 2025. A população do planeta cresce em 83 milhões de pessoas por ano e, no Brasil, em 2,25 milhões de pessoas. Este aumento populacional gera a necessidade de ocupação do solo para atender diversas demandas, dentre elas a produção de alimentos.

Atualmente, 40% da superfície seca do planeta está sendo utilizada para a agricultura. Os melhores solos, os mais férteis, já são cultivados, e em diversas regiões não há mais reservas de terra passíveis de utilização para a produção de alimentos. A alternativa é o aumento da produtividade, uma solução, no entanto, comprometida e freada por diversos fatores, entre eles a água, elemento muito importante, uma vez que a agricultura é a atividade responsável pelo maior consumo de água em todo o mundo. Esta demanda por alimentos gera um aumento considerável nas atividades agrícolas, na exploração do solo, no consumo de energia e água e, conseqüentemente, na redução da vegetação natural, provocando a ocupação de regiões susceptíveis à desertificação, as quais, sem o manejo adequado, poderão, num futuro próximo, se transformar irreversivelmente em áreas impróprias para a produção de alimentos.

Esta é uma equação que não está em equilíbrio, e para que isso ocorra é necessária a busca de técnicas produtivas mais eficientes, a redução do consumo de água e energia, manejos que não favoreçam a desertificação do solo e a garantia da manutenção do

fornecimento de alimentos de qualidade, em quantidade proporcional à demanda e acessíveis à população.

Observando este contexto, o sistema de cultivo hidropônico protegido se apresenta como uma solução viável para o aumento da produção de alimentos, principalmente de hortaliças folhosas. Neste sistema, as plantas são cultivadas sem solo, em canais onde recebem uma solução nutritiva contendo água e os nutrientes necessários para o seu desenvolvimento, oferecendo um melhor controle das pragas, menor esforço físico para o produtor, redução do consumo de água, a não contaminação do solo, além de poder ser instalado em locais onde o solo não é favorável para a agricultura, uma vez que não faz uso do mesmo. Consequentemente, garante o uso racional da água, produção e fornecimento contínuos de alimentos, independente das condições de clima e solo.

Sendo a hidroponia uma técnica de produção que, com o uso das tecnologias disponíveis, permite o controle de muitas variáveis, é importante a realização de pesquisas que possibilitem maximizar a produtividade e manter garantida a qualidade do alimento para o consumo humano. Por meio desta técnica, a hidroponia, procurou-se apurar que a produção de alimentos, ou hortaliças folhosas, é viável, ficando a pesquisa delimitada à produção da alface (*Lactuca sativa* L.).

O conhecimento que a população possui a respeito da produção da alface (do senso comum ao conhecimento científico), é que esta ocorre tanto em canteiros como em sistemas de cultivo hidropônico em todo o território brasileiro, porém é uma cultura muito sensível às condições climáticas adversas, sofrendo com a chuva, granizo, temperaturas e também com a presença de patógenos. São razões como estas que levam os produtores a realizar, em maior escala, o cultivo da alface em sistema hidropônico em área protegida, salvaguardando-se assim de eventuais prejuízos decorrentes destas adversidades. Outrossim, há uma preocupação com esta cultura, que se justifica, porque a alface é consumida basicamente *in natura* e, conseqüentemente, gera a necessidade de produzi-la em quantidade e qualidade, além de manter o seu fornecimento o ano todo. Outro fator importante se deve ao fato de a alface (*Lactuca sativa* L.) ser a hortaliça folhosa mais consumida no Brasil, devido ao seu valor nutricional, sabor, praticidade e disponibilidade durante todo o ano, sendo as variedades de folhas crespas responsáveis por cerca de 60% deste consumo.

No sistema de cultivo hidropônico existem vários aspectos que influenciam o seu manejo, destacando-se a vazão e a temperatura da solução nutritiva, e para melhor

compreender este efeito, este experimento busca analisar a influência da temperatura e da vazão da solução nutritiva em relação ao crescimento, à quantidade de pigmentos fotossintéticos, à residualidade de nitrato nas folhas e à influência térmica sobre a alface *Vera*.

A quantidade de pigmentos fotossintéticos (clorofila *a* e *b*) é considerada indicadora do vigor da planta, o que permite uma correlação com a absorção e assimilação de nitrogênio e a produtividade. A residualidade de nitrato é um indicador de toxicidade, pois quanto maior for o nível de nitrato nas folhas, maiores são os riscos de acúmulo do mesmo no organismo humano, e por ser um elemento cancerígeno, o mesmo é um indicador de toxicidade da planta.

Embasado neste contexto é que esta pesquisa se enquadra, assumindo a hipótese de que a temperatura e a vazão da solução nutritiva são parâmetros que exercem influência no cultivo da alface *Vera*.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho objetivou avaliar a influência da temperatura e vazão da solução nutritiva, em sistema hidropônico, sobre o crescimento, os teores de pigmentos fotossintéticos e de nitrato nas folhas, e o comportamento do fluxo térmico sobre as plantas, em um cultivo da alface *Vera*.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

O trabalho teve os seguintes objetivos específicos:

- a) Avaliar parâmetros biométricos das plantas da alface cultivadas no sistema hidropônico com diferentes vazões e temperaturas da solução nutritiva;
- b) Proceder à análise de crescimento de plantas da alface cultivadas em sistema hidropônico com diferentes vazões e temperaturas da solução nutritiva;
- c) Avaliar os teores de nitrato acumulado nas folhas da alface cultivadas em sistema hidropônico com diferentes vazões e temperaturas da solução nutritiva;
- d) Analisar os teores de clorofila nas folhas da alface cultivadas em sistema hidropônico com diferentes vazões e temperaturas da solução nutritiva;

- e) Observar as correlações entre pigmentos fotossintéticos (clorofila *a*, *b* e *total*), nitrato e parâmetros biométricos em plantas da alface cultivadas em sistema hidropônico com diferentes vazões e temperaturas da solução nutritiva;
- f) Analisar a influência da temperatura da solução nutritiva na temperatura da planta da alface, por meio da termografia.

### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 A POPULAÇÃO MUNDIAL E A DEMANDA POR ALIMENTOS

A população mundial de 7,2 bilhões de pessoas chegará a 9,6 bilhões em 2050. Este crescimento ocorrerá principalmente nos países em desenvolvimento (ONU, 2013). No Brasil, a população é estimada em 201 milhões de pessoas em 2013 e deve avançar para aproximadamente 228 milhões de habitantes em 2025 (IBGE, 2013). Esta expansão alerta para preocupações num planeta que parece cada vez menor, e tem sérias implicações em quase todos os aspectos da vida como saúde, envelhecimento, migração em massa, urbanização, demanda por habitação, água e alimentos (ONU, 2013).

Existe a possibilidade de uma grave crise mundial de alimentos no século 21 e, para contingenciar os impactos desta crise, é necessário investir na produção de alimentos. A garantia de alimentos para a população pode ser afetada antes do prazo previsto para que a população mundial entre em equilíbrio. (AVERY, 2013)

A alimentação é considerada um direito humano, que foi afirmado em âmbito internacional, pelo Pacto Internacional de Direitos Humanos, Econômicos, Sociais e Culturais OHCHR (2013), e reafirmado, no Brasil, através de lei orgânica e de emenda constitucional (BRASIL, 2013). A lei 11.346/2006, em seu artigo 3, explicita o conceito de segurança alimentar e nutricional como a realização do direito de todos ao acesso regular e permanente a alimentos de qualidade, em quantidade suficiente, sem comprometer o acesso a outras necessidades essenciais, tendo como base práticas alimentares promotoras de saúde que

respeitem a diversidade cultural e que seja ambiental, cultural, econômica e socialmente sustentável (BRASIL, 2013).

A definição brasileira de segurança alimentar e nutricional ampliou os conceitos internacionalmente adotados ao inserir o acesso aos alimentos, em todas as suas dimensões, como um direito fundamental das pessoas (KEPPLE & SEGALL-CORRÊA, 2008).

### 3.2 O CULTIVO HIDROPÔNICO

A hidroponia é a técnica de produção de alimentos sem o uso do solo, onde as plantas retiram os nutrientes, a água e o oxigênio de uma solução nutritiva (SANTOS, 2009). Este sistema de cultivo se desenvolveu juntamente com a química, na busca pelo entendimento da influência dos elementos químicos no crescimento das plantas. (GERICK, 2008).

O sistema de cultivo hidropônico denominado NFT (*Nutrient Film Technique*) ou técnica fluxo laminar de nutrientes é o sistema de cultivo mais utilizado no Brasil e se caracteriza pelo escoamento da solução nutritiva por canais de cultivo, formando uma fina lâmina de solução nutritiva, que irriga as raízes das plantas (FURLANI, 2009). Este sistema permite uma padronização da cultura e do ambiente radicular, drástica redução no uso da água, eficiência no uso de fertilizantes, melhor controle de crescimento vegetativo, maior produção por área, qualidade e precocidade, melhoria na ergonomia e na qualidade de vida para o trabalhador, possibilitando mecanização e automatização do cultivo (COMETTI, 2003).

Outras vantagens do cultivo em sistema hidropônico são a obtenção de produtos de melhor qualidade quando comparados aos sistemas convencionais, devido ao menor número de injúrias nas folhas e à possibilidade de realizar o cultivo mais próximo ao mercado consumidor, pois não depende do solo e suas características, e as condições climáticas podem ser controladas quando realizadas em sistema protegido (LUZ *et al.*, 2006).

Neste tipo de cultivo, a solução nutritiva é elemento essencial, pois dela depende o crescimento da cultura, uma vez que deve conter todos os nutrientes minerais exigidos pelas plantas e também o oxigênio indispensável para a respiração das raízes (ANDRIOLO, 2002). Há que se compreender também que a solução nutritiva é composta, em parte, por elementos metálicos e o nível estimado da concentração desses nutrientes pode ser obtido medindo-se a

capacidade da solução nutritiva de conduzir corrente elétrica, ou seja, quanto maior a concentração de nutrientes, maior será a capacidade da solução nutritiva de conduzir corrente elétrica (GONDIM, 2010).

Outro fator a ser considerado no cultivo hidropônico é o pH da solução nutritiva, pois uma grande parte das soluções não tem capacidade tampão, dessa forma o pH varia continuamente, não se mantendo dentro de uma faixa ideal. Variações na faixa de 4,5 a 7,5 são toleradas, sem problemas ao crescimento das plantas. No entanto, valores abaixo de 4,5 afetam a integridade das membranas celulares e, a valores superiores a 7,5, deve-se ter atenção redobrada com possíveis sintomas de deficiência de Fe, P, B e Mn. (FURLANI *et al.*, 2009).

A vazão da solução nutritiva é outra variável que deve ser monitorada, pois a absorção de nutrientes é um processo que requer energia, a qual é obtida através do metabolismo da planta, à custa da respiração (KERBAUY, 2012). Há necessidade, portanto, de oxigênio, para que as raízes das plantas possam absorver os elementos essenciais ao seu desenvolvimento. Uma solução nutritiva, mesmo que esteja com sua superfície em contato direto com a atmosfera, pode não apresentar concentração de oxigênio dissolvido suficiente para que as raízes de certas espécies respirem, como, por exemplo, a alface. Conseqüentemente, a quantidade adicional de oxigênio deve ser fornecida por meio da circulação da solução, quando se faz a irrigação dos canais de cultivo. Neste contexto é importante que seja dada atenção especial à taxa de fluxo (vazão), cujos sistemas de cultivo hidropônicos de hortaliças folhosas, em sua maioria, oscilam entre 1,5 a 2,0 L.min<sup>-1</sup> (CARMELLO, 1997).

Outro aspecto relevante no sistema de produção hidropônico é a temperatura da solução nutritiva. Sabe-se que as raízes são órgãos que respiram muito e intensamente e que a energia liberada pela respiração radicular é utilizada para a síntese dos componentes celulares, para a formação das estruturas secundárias, nos processos de absorção e acúmulo de nutrientes minerais e também como reserva alimentar. Por isso, a temperatura é um fator de grande influência na respiração, principalmente durante os estágios iniciais de desenvolvimento. Temperaturas mais elevadas estão associadas a uma atividade fisiológica mais intensa da planta, o que provoca um aumento da demanda de oxigênio; em temperaturas baixas, há uma diminuição drástica da taxa respiratória. Ambos os casos são impróprios para o desenvolvimento da planta (KERBAUY, 2012). No sistema de cultivo hidropônico, a

temperatura da solução nutritiva está intimamente relacionada com a quantidade de oxigênio dissolvido na solução. Com o aumento da temperatura da solução, o oxigênio dissolvido, que estava "aprisionado", desprende-se, ou seja, o nível de oxigênio na solução é dependente da sua temperatura (JESUS FILHO, 2009). Sendo a oxigenação da solução fator vital para a respiração das raízes, quando a solução nutritiva apresenta baixos níveis de oxigênio, ocorre morte dos meristemas radiculares, pequena ramificação das raízes, e baixa absorção de água e nutrientes (FAQUIN & FURLANI, 1999). Há que se considerar, também, que o fator temperatura influencia o desenvolvimento de doenças radiculares em sistemas de cultivo hidropônico (PATEKOSKI, 2010) e que, independentemente da temperatura da parte aérea das plantas, o cultivo hidropônico em sistema NFT é o que proporciona a maneira mais eficiente de controlar a temperatura das raízes (COMETTI *et al.*, 2011).

Portanto, para o sucesso do cultivo hidropônico é imprescindível conhecer os aspectos de manejo da cultura, sendo variáveis muito importantes a temperatura e vazão da solução nutritiva (DIAS *et al.*, 2011).

### 3.3 O CULTIVO HIDROPÔNICO DA ALFACE

A alface é a hortaliça folhosa mais cultivada em todo mundo. É consumida *in natura*, sendo fonte de vitaminas e sais minerais, e devido ao baixo teor de calorias, recomendada para dietas alimentares ricas em fibras (FILGUEIRA, 2008).

No último censo agrícola realizado no Brasil, a alface foi classificada, dentre as hortaliças folhosas, como sendo a mais produzida, com uma produção anual de 525.602 toneladas (IBGE, 2006). É também a hortaliça folhosa mais difundida atualmente, sendo cultivada por todo país, devido, principalmente, à grande divergência genética existente entre os cultivares utilizadas pelos produtores (SOUSA *et al.*, 2007). Seu cultivo é feito de maneira intensiva e geralmente praticado pela agricultura familiar, gerando cinco empregos diretos por hectare, sendo a alface do tipo crespa a mais requisitada no mercado. (COSTA & SALA, 2005).

Dentre as formas de cultivo protegido, o sistema hidropônico é um sistema de produção intensificado, muito adotado para a produção da alface, devido ao curto ciclo de produção (45-60 dias) e à fácil aceitação no mercado (APRIGIO, 2008).

Em relação aos parâmetros de controle da solução nutritiva, Helbel *et al.* (2008), ao estudarem a composição da solução nutritiva, verificaram que a solução preconizada por Furlani *et al.* (1999) mostrou-se ser mais indicada para a alface cultivar *Vera*. Em relação à condutividade elétrica, Rezende *et al.* (2007) compararam a condutividade elétrica de três soluções nutritivas para o cultivar *Vera* ( $800 \mu\text{S}\cdot\text{m}^{-1}$ ,  $1.200 \mu\text{S}\cdot\text{m}^{-1}$  e  $2.500 \mu\text{S}\cdot\text{m}^{-1}$ ), sendo que, para  $1.200 \mu\text{S}\cdot\text{m}^{-1}$ , apresentou maior biomassa fresca e diâmetro do caule e menor biomassa seca de raiz. Em relação à temperatura da solução nutritiva, recomenda-se que não seja muito elevada sob pena de causar danos às plantas, devendo ser mantida inferior a  $26^\circ\text{C}$  e que as temperaturas diurna e noturna devem ficar próximas de  $16^\circ\text{C}$  e  $10^\circ\text{C}$ , respectivamente, durante a época fria, e  $24^\circ\text{C}$  e  $15^\circ\text{C}$  na época quente (COMETTI, 2013).

### 3.4 ANÁLISE DE CRESCIMENTO

A partir do estudo de variáveis de crescimento é possível conhecer o comportamento vegetal sob diferentes condições de meio e manejo (AUMONDE *et al.*, 2011).

O crescimento das plantas depende da conversão da energia luminosa em energia química, cuja intensidade é proporcional à interceptação capturada da luz pelo dossel da cultura (SILVA *et al.*, 2005). A análise do crescimento constitui uma parte da fisiologia vegetal em que se faz uso de fórmulas e modelos matemáticos para avaliar índices de crescimento das plantas, sendo muitos deles relacionados com a atividade fotossintética (BENINCASA, 2004). Esse método tem sido bastante utilizado para a investigação do efeito de fenômenos ecológicos sobre o crescimento, na adaptabilidade de espécies em ecossistemas diversos, efeito de competição de cultivares e influência de práticas agrônômicas sobre o crescimento (SILVA *et al.*, 2000).

Para Benincasa (2003), o estudo da taxa de crescimento das plantas é importante porque cerca de 90%, em média, da matéria seca acumulada pelas plantas, ao longo do seu crescimento, resulta da atividade fotossintética, e o restante, da absorção de nutrientes minerais, podendo esse acúmulo de fitomassa ser estudado por medidas lineares (altura de planta, comprimento e diâmetro do caule, comprimento e largura de folha e comprimento de raiz), número de unidades estruturais (folhas, flores, frutos, raízes, e outros), medidas de superfície (principalmente pela medição da superfície da lâmina foliar). Convém ressaltar que a altura de planta é um parâmetro de crescimento das culturas, que se obtém medindo a

distância compreendida entre a superfície do solo e a extremidade apical da haste principal (HEIFFIG, 2002) e que mudanças na absorção de nutrientes levam a alterações na fisiologia das plantas, como abertura estomática e aumento ou diminuição da área foliar, estando esses fatores intimamente ligados com eficiência fotossintética (COSTA *et al.*, 2001).

Já a área foliar específica (AFE), esta é expressa pela razão entre a área foliar e a massa seca das folhas. A área foliar é um componente morfofisiológico e a massa, componente anatômico de uma espécie vegetal, pois está relacionada à composição interna (número e tamanho) das células do mesófilo. Infere-se daí que o inverso da área foliar específica reflete a espessura das folhas (BENINCASA, 2003).

Segundo Benincasa (2004), a razão de área foliar (RAF) reflete a área foliar útil para a fotossíntese, sendo sua relação entre a área foliar responsável pela interceptação da energia luminosa e CO<sub>2</sub> e a massa seca total, sendo esse um componente morfofisiológico. Desse modo, com o crescimento da planta, aumenta a interferência das folhas superiores sobre as inferiores, diminuindo a área foliar útil. Os menores valores de RAF, portanto, indicam maior eficiência das folhas em produção de biomassa.

Utilizando-se solução nutritiva preconizada por Furlani *et al.* (1999), a alface cultivar Vera teve uma taxa de crescimento absoluto de 1,1 g dia<sup>-1</sup>, no período compreendido entre 45 e 52 DAS, e média de 11 g de folhas (massa seca) por planta aos 45 DAS (COMETTI *et al.*, 2008).

### 3.5 ANÁLISE DE PIGMENTOS FOTOSSINTÉTICOS

As clorofilas são pigmentos responsáveis pela conversão da radiação luminosa em energia química, sob a forma de ATP e NADPH. Por essa razão, estão estreitamente relacionadas com a eficiência fotossintética das plantas e, conseqüentemente, ao seu crescimento e adaptabilidade a diferentes ambientes (TAIZ & ZEIGER, 2013).

Presentes nos vegetais superiores, sob as formas *a* e *b*, as clorofilas são constantemente sintetizadas e destruídas, cujos processos são influenciados por fatores internos e externos às plantas. Entre os fatores externos, os nutrientes minerais se destacam, por integrarem a estrutura molecular das plantas, como também por atuarem em alguma etapa das reações que levam à síntese desses pigmentos (TAIZ & ZEIGER, 2013).

É verificado, em algumas culturas, que a concentração de clorofila ou o esverdeamento das folhas se correlaciona positivamente com a concentração foliar de nitrogênio (Botha *et al.*, 2006), uma vez que 70% do nitrogênio contido nos cloroplastos participam da síntese e da estrutura das moléculas de clorofila (Argenta *et al.*, 2004), e contribuem para a produção da massa de matéria seca da planta (FERREIRA *et al.*, 2006).

Em estudo de nutrição em plantas, a fotossíntese tem recebido especial atenção por ser a principal fonte de carbono orgânico, de energia para o crescimento e produção de biomassa das plantas (LAWLOR, 2002).

Os métodos quantitativos utilizados para a extração de clorofila em material vegetal são destrutivos, utilizam solventes orgânicos, são pouco práticos e não permitem a avaliação em tempo real do estado nutricional da planta, dificultando os ajustes no programa de adubação nitrogenada, ainda durante o ciclo da cultura (VIANA *et al.*, 2008).

A medida direta da clorofila pode ser realizada com o uso de medidor portátil de clorofila, que proporciona leituras instantâneas, de uma maneira não destrutiva da planta. As leituras efetuadas pelo clorofilômetro correspondem ao teor de clorofila presente na folha da planta (BRITO *et al.*, 2011). No Brasil, este valor tem sido denominado como medida indireta de clorofila ou índice relativo de clorofila - IRC (VILLAS BÔAS, 2001).

A medição com o clorofilômetro é feita de forma ótica, utilizando-se conhecimentos de frequência de luz que a clorofila melhor processa na fotossíntese. O medidor eletrônico de clorofila, ClorofiLOG, modelo CFL 1030, é um sensor comercial nacional que analisa três faixas de frequência de luz na medição e, através de relações de absorção de diferentes frequências, determina um Índice de Clorofila ICF (Índice de clorofila Falker), levando em consideração a presença de clorofila dos tipos *a* e *b* (FALKER, 2008).

Os resultados indicam que, com exceção da clorofila *b*, e proteína solúvel, os modelos matemáticos obtidos por meio do clorofilômetro portátil ClorofiLOG 1030 podem ser utilizados para estimar a concentração dos pigmentos fotossintéticos com alta precisão, poupando tempo e reagentes químicos normalmente utilizados em procedimentos convencionais (RIGON *et al.*, 2012).

### 3.6 ANÁLISE DE NITRATO

As hortaliças folhosas tendem a acumular altos níveis de nitrato nos seus tecidos, sendo o acúmulo de nitrato, pela alface, além do caráter genético, bastante influenciado pelos sistemas de cultivo e pela prática da adubação (FAQUIN & ANDRADE, 2004). Com uma suplementação abundante de nitrogênio, a absorção de nitrato pela planta pode exceder a redução e assimilação deste, levando à sua acumulação. Neste sentido, elevado nível de nitrato na dieta humana é perigoso, porque contribui para a formação de substâncias cancerígenas (JAWORSKA, 2005).

A eficiência do processo de assimilação do nitrato é maior na folha do que em outras partes da planta, como nas raízes e outros tecidos não verdes. Nesses locais, as assimilações de nitrato e de amônia dependem da energia química do metabolismo de fotoassimilados fornecidos pelas folhas. Dessa forma, a planta consome energia química, utilizada na fixação do gás carbônico, mas nos cloroplastos isso nem sempre ocorre, pois os seis elétrons utilizados na redução do nitrito podem ser fornecidos diretamente pelas reações fotoquímicas, sem que haja competição com a fixação do gás carbônico. Porém, isso só é possível em alta intensidade luminosa, quando há excesso de energia fotoquímica e a assimilação do carbono satura facilmente (KERBAUY, 2012).

Os teores de nitratos nos vegetais dependem do tipo de planta, das condições de intensidade luminosa em que são cultivados, do tipo de solo, temperatura, umidade, produção intensiva, grau de maturidade, período vegetativo, momento da colheita, tamanho da unidade vegetal, tempo de armazenamento e da fertilização nitrogenada (TAMME *et al.*, 2006).

Em relação ao cultivo da alface em sistema hidropônico, são esperados índices mais elevados de nitrato devido a maior disponibilidade do nutriente na solução nutritiva (Cometti *et al.*, 2004), uma vez que os teores de nitrato em hortaliças são influenciados pela disponibilidade de nitrogênio para a planta e também pela disponibilidade de radiação solar. Considerando-se as dimensões continentais do Brasil, se faz necessário promover experimentos em regiões distintas (LUZ *et al.*, 2008).

Sobre a produtividade, sabe-se que um menor nível de nitrogênio na solução nutritiva acarreta redução na produção de massa seca, porém também promove a redução na produção da fitomassa da parte aérea, bem como a redução na área foliar de forma significativa (COMETTI *et al.*, 2011).

Já a toxidez do nitrato em humanos é considerada baixa mas, de 5 a 10% do nitrato ingerido na alimentação, esta porcentagem é convertida em nitrito na saliva bucal ou por redução gastrintestinal (BOINK & SPEIJERS, 2001). O nitrito, entrando na corrente sanguínea, oxida o ferro da hemoglobina, produzindo a metahemoglobina, a qual é prejudicial à saúde humana (PIGNATELLI *et al.*, 1993).

Na Europa, a Comissão Europeia estabeleceu teores máximos para os nitratos: para alfaces colhidas de 1 de outubro a 31 de março, cultivadas em estufa, em  $4.500 \text{ mg.kg}^{-1}$ , e cultivadas a céu aberto, em  $4.000 \text{ mg.kg}^{-1}$ ; para as alfaces colhidas de 1 de abril a 30 de setembro, cultivadas em estufa, em  $3.500 \text{ mg.kg}^{-1}$ , e cultivadas a céu aberto, em  $2.500 \text{ mg.kg}^{-1}$  (CE, 2006).

A Organização Mundial para Agricultura e Alimentação (FAO) e a Organização Mundial da Saúde (OMS) estabeleceram, como admissíveis, as doses diárias de  $3,65 \text{ mg}^{-1}.\text{kg}^{-1}$  do íon  $\text{NO}_3^-$  e  $0,133 \text{ mg}$  do íon  $\text{NO}_2^-.\text{kg}^{-1}$ , de massa corpórea (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2011). O comitê conjunto FAO/WHO de Peritos em Aditivos Alimentares (JECFA) estabeleceu, para o nitrato, uma Ingestão Diária Aceitável (IDA) de 0 a  $5,0 \text{ mg.kg}^{-1}$ , de massa corpórea, e uma IDA temporária de 0 a  $0,2 \text{ mg.kg}^{-1}$ , de massa corpórea, para o nitrito, recomendando não adicionar nitrito nos alimentos destinados a crianças com menos de seis meses de idade (WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2012).

Para fins de consumo, recomenda-se que o nitrato seja analisado em tecido, numa base de massa fresca, evitando assim erros de interpretação, uma vez que o nitrato funciona como agente osmótico e proporcionaria acumulação de água no tecido da planta (HUANG *et al.*, 2010).

Aprigio (2008) demonstrou que a vazão da solução nutritiva também influencia os teores de nitrato na alface cultivar Vera. Outro elemento importante para análise dos teores de nitrato em alface é a metodologia de coleta (hora e parte da planta amostrada), seguida da análise dos tecidos, pois estas podem afetar decisivamente os resultados (LUZ *et al.*, 2008).

### 3.7 ANÁLISE TÉRMICA

Sempre que existir uma diferença de temperatura em um meio ou entre meios diferentes, ocorre, necessariamente, transferência de calor, sendo a radiação, a condução e a

convecção os mecanismos de transferência de calor. E para se observar a diferença de temperatura entre meios, uma das formas é a termografia (INCROPERA, 2003).

A termografia é uma técnica não destrutiva, bidimensional, utilizada na medição do campo de temperatura da superfície de todos os tipos de materiais, podendo ser entendida como a ciência que trata da reprodução de imagens a partir da emissão de radiação infravermelha. Câmeras termográficas detectam o espectro eletromagnético e reproduzem as imagens dessa radiação, as quais chamamos de Termogramas (MINKINA e DUDZIK, 2009).

De acordo com a lei da radiação do corpo negro, a radiação infravermelha é emitida por qualquer objeto e a termografia torna possível ver e analisar os corpos e ambientes com ou sem luz visível. A radiação emitida por um objeto é proporcional a sua temperatura, entretanto, a termografia permite analisar também variações na temperatura. Objetos quentes, quando analisados através de uma câmera termográfica, aparecem destacados quando comparados a superfícies ou ambientes com menor temperatura (INCROPERA, 2003).

É importante perceber que a reprodução de imagens térmicas mostra, na verdade, a quantidade de energia infravermelha emitida, transmitida e refletida por determinado objeto (BREITENSTEIN, 2010).

O estudo de imagens térmicas em plantas é uma área de pesquisa ainda restrita, com poucos trabalhos publicados, porém é possível vislumbrá-lo como uma técnica inovadora, com muitas possibilidades. Pode-se citar alguns trabalhos.

Sumriddetchkajorn e Intaravanne (2013) fizeram uso da imagem térmica para classificar frutos em nível de maturação. Com base na diferença de capacidade térmica de frutos imaturos e maduros, a tecnologia de imagem térmica é muito promissora para estimar o nível de amadurecimento do fruto.

Urrestarazu (2013) utilizou a termografia para diagnosticar, rapidamente, o estresse salino, com um elevado grau de resolução de temperatura em plantas. A comparação da termografia em relação a outros métodos de avaliação para medir o estresse salino foi estudada e os resultados sugeriram que a termografia da planta pode ser um método útil para diagnosticar este elemento.

Lorent *et al.* (2012) desenvolveram seus estudos usando a imagem térmica para controle de microrganismos em frutos e vegetais.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

A área experimental localiza-se no município de Medianeira, Estado do Paraná, em área da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, na Coordenada 25°17'58,06"S e 54°06'52,28" O, e altitude de 417 metros. De acordo com a classificação de Koppen, o clima é do tipo Cfa, subtropical úmido, com verões quentes e temperatura média anual de 21°C. O mês mais quente é fevereiro, com média de 26°C, e o mais frio, julho, com média de 15°C. O índice pluviométrico do município é de 1.880 mm.ano<sup>-1</sup>. O mês mais chuvoso é outubro, com 231 mm de precipitação pluviométrica, e o menos chuvoso é julho, com 91 mm.

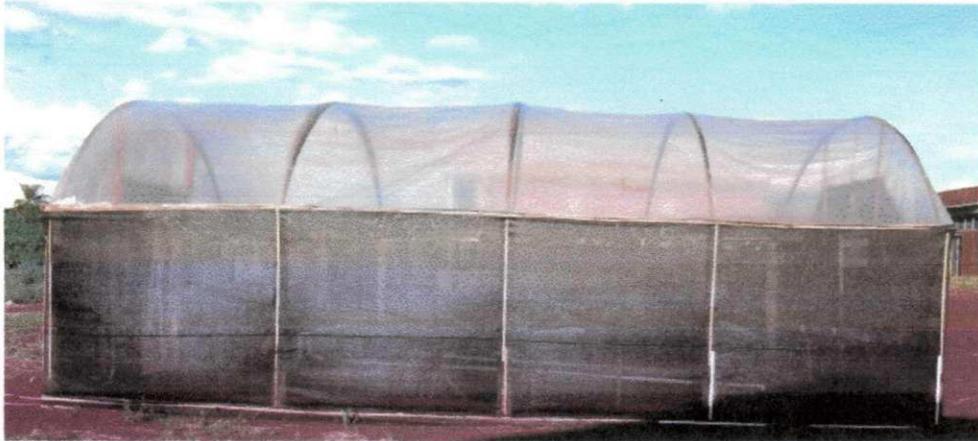


FIGURA 1. Casa de vegetação construída para o experimento.

Para instalação do experimento foi construída uma casa de vegetação do tipo semiarco, com 10 metros de comprimento por 7 metros de largura, com 2,6 metros de altura em sua parte mais baixa, e sua parte mais alta com 4,0 metros de altura (Figura 1).

Para a cobertura utilizou-se filme de polietileno transparente de 150 micras de espessura e as laterais foram fechadas com sombrite 50%.

Neste experimento foi utilizada uma bancada em madeira, com 1 metro de altura em sua parte mais elevada e inclinação de 3%. Nesta bancada foram utilizados dois tipos de canais de cultivo: os canais berçário, em polietileno, com 6 metros de comprimento e 40 milímetros de diâmetro, e os canais de cultivo definitivo, também em polietileno, com 6 metros de comprimento e 75 milímetros de diâmetro. Os canais definitivos foram fixados a 15 centímetros de distância um do outro (Figura 2).



FIGURA 2. Disposição dos canais de cultivo definitivo na bancada do experimento.

Foram utilizadas, como reservatórios da solução nutritiva, três caixas d'água de polietileno com capacidade para 250 litros. Os reservatórios foram instalados abaixo do nível

da bancada, na cabeceira da mesma, semienterrados no solo, permitindo, assim, o retorno da solução nutritiva por efeito da gravidade, constituindo um sistema fechado.

O bombeamento da solução nutritiva, dos reservatórios aos canais de cultivo, foi realizado por meio de três bombas com potência de 41W cada uma, instaladas de forma submersa e acionadas individualmente por meio do seu respectivo temporizador (timer). A separação do sistema de irrigação foi realizada para facilitar o controle da temperatura da solução nutritiva.

O retorno da solução nutritiva para os reservatórios ocorreu pela ação da gravidade e de forma independente para cada reservatório, por tubo de PVC, com 40 milímetros de diâmetro.

O controle da temperatura da solução nutritiva foi gerenciado por meio de termostato digital acoplado a uma sonda, que media a temperatura próxima a entrada da bomba de recalque. Este termostato controlava tanto o sistema de refrigeração como o de aquecimento, com uma variação de 1°C para mais ou para menos, com tempo de retardo de 1 minuto.

O sistema de aquecimento era composto de um aquecedor de resistência encapsulada em vidro. O sistema de refrigeração foi formado por um conjunto que compreendia: um compressor (parte externa) e um evaporador com serpentina de cobre (parte interna). A serpentina de cobre ficava em contato com a solução nutritiva e, para evitar a contaminação da solução pelo cobre, a mesma foi revestida com uma camada de politetrafluoretileno.

Para realizar o controle da vazão, foi instalada, na entrada de cada canal de cultivo, uma válvula de 1/4 de polegada que permitia controlar a vazão da solução nutritiva (Figura 3). A vazão foi monitorada duas vezes ao dia, às 7h00min e às 19h00min, por meio de proveta graduada e cronômetro.

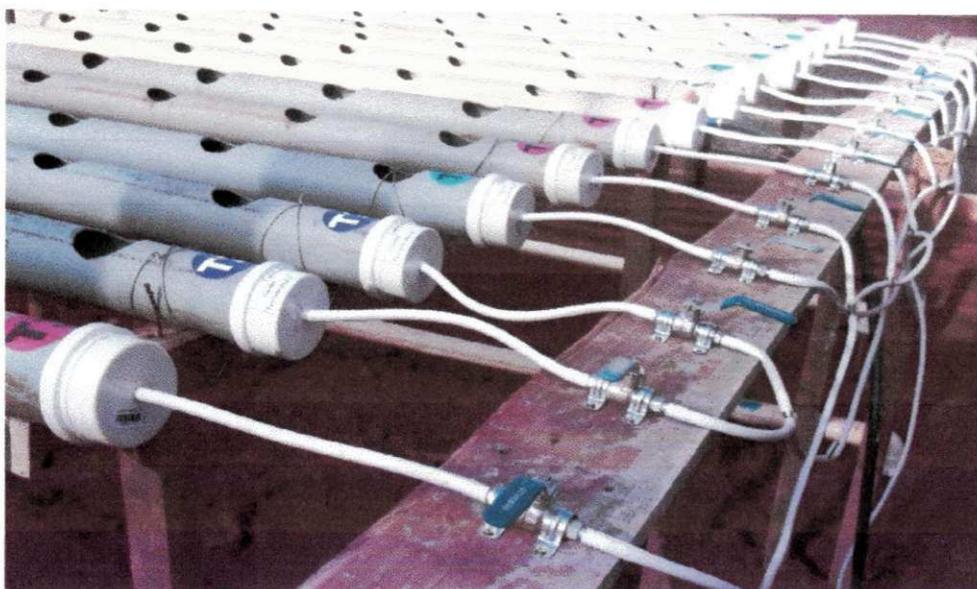


FIGURA 3. Válvulas utilizadas no controle da vazão da solução nutritiva.

#### 4.2 TRATAMENTOS E DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Utilizou-se, no experimento, quatro vazões da solução nutritiva: 0,5; 1,0; 1,5 e 2,0 L.min<sup>-1</sup> e três temperaturas: 15°C, 25°C e temperatura ambiente. Foi utilizado delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial (4x3), com 10 repetições, totalizando 120 parcelas experimentais. Cada parcela foi composta por um canal de cultivo contendo dez plantas (Tabela 1).

Em cada canal de cultivo, o primeiro orifício era utilizado para observar a vazão, e os dois seguintes como bordadura. Da mesma forma, no final do canal de cultivo, o último era para observação e os dois anteriores para bordadura. Foi utilizado também um canal de cultivo em cada lateral para as bordaduras. A distribuição dos tratamentos foi realizada por sorteio, e a configuração dos tratamentos é apresentada na Figura 4.

TABELA 1. Tratamento utilizado no experimento

TRATAMENTO	TEMPERATURA	VAZÃO
	°C	L.min <sup>-1</sup>
T1	15	0,5
T2	15	1,0
T3	15	1,5
T4	15	2,0
T5	25	0,5
T6	25	1,0
T7	25	1,5
T8	25	2,0
T9	Ambiente*	0,5
T10	Ambiente*	1,0
T11	Ambiente*	1,5
T12	Ambiente*	2,0

\* Para efeitos de cálculos a temperatura ambiente foi considerada a temperatura média da semana de coleta dos dados.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (Teste F). Quando verificada a interação entre os fatores, realizava-se a regressão. Não ocorrendo a interação, os dados eram submetidos à regressão simples. Os dados também foram submetidos ao teste de média de Tukey (5%).

O software utilizado para as análises estatísticas foi o Minitab 16 e o SISVAR (FERREIRA, 2006).

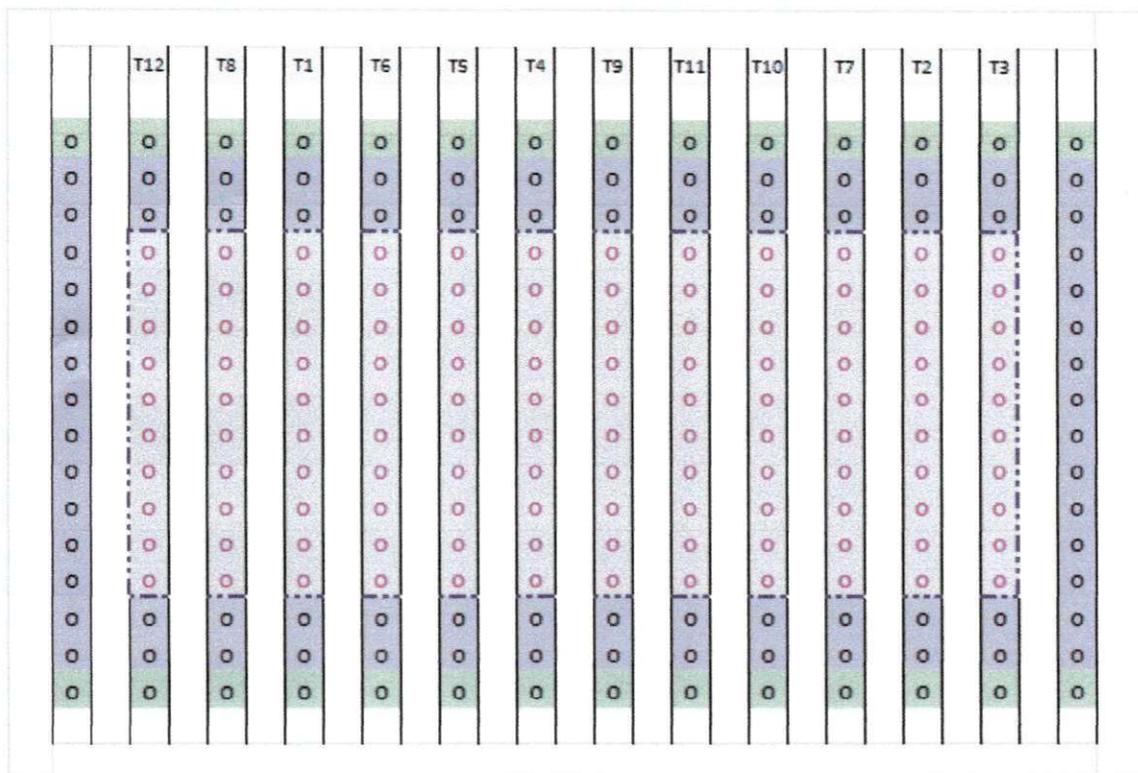


FIGURA 4. Distribuição dos tratamentos nos canais de cultivo.

#### 4.3 MANEJO DO CULTIVO

A primeira semente ocorreu em 1 de Maio de 2013 e a segunda em 1 de Outubro de 2013. Foram utilizadas sementes da alface *Vera*, peletizadas, da marca Sakata. A semente foi realizada em 690 células de espuma fenólica de 1,9 x 1,9 x 2,0 centímetros. A espuma foi previamente lavada antes de receber as sementes e foi acomodada em bandeja de fundo ondulado. Cada célula da espuma fenólica recebeu uma perfuração cônica, em seu centro, com 1 centímetro de profundidade, e cada perfuração recebeu uma semente. A bandeja com a espuma foi mantida em ambiente escuro e umedecida apenas com água por 48 horas. Após este período, as plântulas eclodiram dos peletes e foram expostas à luz dentro da própria casa de vegetação. A partir deste momento, passaram a receber solução nutritiva diluída, três vezes ao dia (às 7h00min, às 13h00min e às 19h00min), com condutividade elétrica de 700  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ . Aos 14 dias após a semente, as células de espuma fenólica foram separadas e transferidas para os canais berçários, recebendo solução nutritiva, inicialmente, a 700  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  e aumentando para 100  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , a cada dia, até atingir 1400  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ . Neste período, as plantas recebiam a solução nutritiva em temperatura ambiente e com uma vazão de 1,0 L.min<sup>-1</sup>

<sup>1</sup>, em intervalos de 15 minutos, das 7h00min às 19h00min. Durante a noite, a solução nutritiva era fornecida durante 15 minutos, com intervalos de 105 minutos de repouso.

Aos 21 dias após a semeadura, foram selecionadas 196 plantas com características semelhantes em altura, diâmetro de caule e número de folhas, as quais foram transferidas para os canais de cultivo definitivos.

Após o transplântio para os canais de cultivo definitivos, onde foi controlada a vazão e a temperatura da solução nutritiva, a circulação da mesma ocorreu em intervalos de 15 minutos, das 7h00min às 19h00min, ou seja, durante 15 minutos a solução nutritiva circulava e durante 15 minutos a solução ficava em repouso. Durante a noite, o temporizador acionava o sistema de bombeamento durante 15 minutos, com intervalos de 105 minutos de repouso. Este manejo foi feito até o final do experimento, ou seja, aos 56 dias após a semeadura.

#### 4.4 MANEJO DA SOLUÇÃO NUTRITIVA

A solução nutritiva utilizada no experimento foi a recomendada por Furlani *et al.*, (1999), com concentrações de macro e micronutrientes apresentadas na Tabela 2.

TABELA 2. Solução de macro e micronutrientes (g. 1000L<sup>-1</sup>) recomendadas para hortaliças folhosas.

<b>Macronutrientes</b>	<b>N-NO<sub>3</sub><sup>-</sup></b>	<b>N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup></b>	<b>P</b>	<b>K</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>S</b>
Solução	174	24	32,7	193	183	39,4	52
<b>Micronutrientes</b>	<b>B</b>	<b>Cu</b>	<b>Fe</b>	<b>Mn</b>	<b>Mo</b>	<b>Zn</b>	
Solução	0,3	0,004	3,6	0,3	0,08	0,11	

Fonte: Furlani *et al.*, (1999)

Para o manejo da solução nutritiva, fez-se o acompanhamento diário do nível do reservatório e da condutividade elétrica da solução. A reposição da solução nutritiva ocorria sempre que a solução atingia 50% do volume previsto para o reservatório (125 litros). Neste caso, era realizada a reposição da água no reservatório e a correção da condutividade elétrica com a adição de solução nutritiva concentrada. Também era realizada a correção da solução nutritiva quando a condutividade elétrica ficava abaixo de 1.000  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ , mesmo que o volume não tivesse atingido 50% da capacidade do reservatório.

Para determinar o volume de solução nutritiva concentrada, foi construída uma curva de correção, necessária para realizar a correção da condutividade elétrica. Para construir esta curva de correção, foi utilizado um reservatório de polietileno com capacidade para 10 litros, onde foram colocados 5 litros de água. Neste mesmo reservatório, foram adicionados 50mL da solução concentrada e realizada a leitura da condutividade elétrica e, logo em seguida, foram adicionados mais 50 mL e realizada uma nova medição, e assim, sucessivamente, até se obter  $1.400 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ . Com esta curva, foi possível determinar o volume de solução nutritiva concentrada, o qual seria usado para manter o controle da concentração elétrica da solução nutritiva durante o experimento. As leituras de condutividade elétrica foram realizadas com um condutímetro portátil modelo 8306 da marca *AZ Instrument* com resolução de 0,01 e precisão de  $\pm 0,1$ .

A leitura do pH foi realizado com um pHmetro, da marca PHTEK, modelo pH-100, com resolução de 0,1 e precisão de  $\pm 0,1$ . Este pHmetro foi calibrado diariamente com solução tampão pH 4 e 7. Para corrigir o pH foram preparadas duas soluções, uma de hidróxido de potássio, para quando o pH estivesse abaixo de 5, e outra, de ácido clorídrico, para quando o pH ficasse acima de 7. Não foram necessárias correções do pH das soluções nutritivas, pois este oscilou entre 5,5 e 7,0 durante todo experimento.

O nível do reservatório, a condutividade elétrica e o pH da solução foram acompanhados duas vezes ao dia, às 7h00min e às 19h00min. O nível do reservatório foi mantido acima de 50% de sua capacidade, o pH entre 5 e 7 e a condutividade elétrica entre  $1000 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  e  $1400 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ .

#### 4.5 DETERMINAÇÃO DOS TEORES DE NITRATO

Os teores de nitrato foram determinados pelo método colorimétrico descrito por Cataldo *et al.* (1975), a partir da nitratação do ácido salicílico e leitura em espectrofotômetro a 410 nm.

Inicialmente foi feita a pesagem de uma amostra, previamente secada em estufa por 1 h, a  $45^{\circ}\text{C}$ , de 0,1 g de folha da alface. A seguir, foi colocada em um tubo de ensaio, onde foram adicionados 10mL de água deionizada e centrifugado a 500rpm durante 15 minutos. Após a centrifugação, a solução foi filtrada em um papel de filtro. Após estes procedimentos, foi adicionado 0,2mL da amostra, filtrados em erlenmeyer de 250mL, adicionando-se 2mL de

ácido salicílico 5% em H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Após o período de 20 minutos foram adicionados 47,5mL de NaOH 2N e, em seguida, resfriado até atingir a temperatura ambiente. Após, foram realizadas as leituras de absorvância em espectrofotômetro a 410nm. Foram realizadas cinco avaliações dos teores de nitrato: aos 28, 35, 42, 49 e 56 dias após a semeadura, sempre às 13h00min.

#### 4.6 DETERMINAÇÃO DOS TEORES DE CLOROFILA

Para a determinação dos teores de clorofila nas folhas da alface foram utilizadas duas metodologias, uma não destrutiva, o índice de clorofila Falker (ICF), e outra destrutiva, o método descrito por Lichtentaler e Welburn (1983). Durante o experimento foram realizadas cinco avaliações dos teores de nitrato: aos 28, 35, 42, 49 e 56 dias após o início do experimento, e a coleta da amostra e a leitura com o clorofilômetro ocorreram sempre às 13h00min.

##### 4.6.1 Índice de clorofila Falker

As leituras efetuadas pelo medidor portátil de clorofila foram realizadas sempre às 18h00min. Foram realizadas quatro medidas por folhas, e considerada a média destas quatro leituras como a medida da planta. As medidas foram realizadas nas folhas intermediárias, e o dispositivo de leitura do clorofilômetro foi aplicado na região superior da folha, evitando-se as nervuras e as regiões mais crespas da mesma. As leituras que apresentavam variação de 80% em relação à média eram descartadas e refeitas, conforme instrução do fabricante, pois poderiam ter sido provocadas por entrada de luz na câmara ou dobramento da folha no momento da leitura.

Para a leitura de clorofila utilizou-se um medidor portátil da marca Clorofilog Falker, CFL 1030, e os dados foram transferidos e compilados pelo Software clorofiLOG PC v1.11.

#### 4.6.2 Extração e quantificação

Para a extração e quantificação da clorofila foi utilizada a metodologia descrita por Lichtentaler e Welburn (1983). Procedeu-se à coleta de uma amostra da folha para posterior análise em laboratório. Esta amostra foi retirada do meio da folha intermediária da planta, evitando-se as nervuras (Figura 5). A coleta foi realizada com a extração de discos de 24,86 milímetros de diâmetro, com auxílio de um furador manual. Foram coletadas 10 amostras por tratamento, escolhidas ao acaso (1 amostra por folha), sendo que as mesmas foram recolhidas em embalagens identificadas e armazenadas em uma caixa de isopor para transporte até o laboratório.

No laboratório, foi realizada a determinação do peso exato de massa fresca do tecido vegetal em 5 miligramas. A seguir, realizou-se a trituração do tecido vegetal em placas de *petri* sob luz verde. O material coletado foi rapidamente transferido para frascos de vidro, previamente revestidos com papel alumínio para evitar luminosidade, contendo 10 mL de acetona a 80%. As amostras foram mantidas no escuro, sob refrigeração, por 48 horas. Após este período, foram realizadas as leituras de absorvâncias em espectrofotômetro da marca Perkin Elmer, modelo Lambda XLS, a 647 e 663nm, utilizando acetona a 80% como branco.

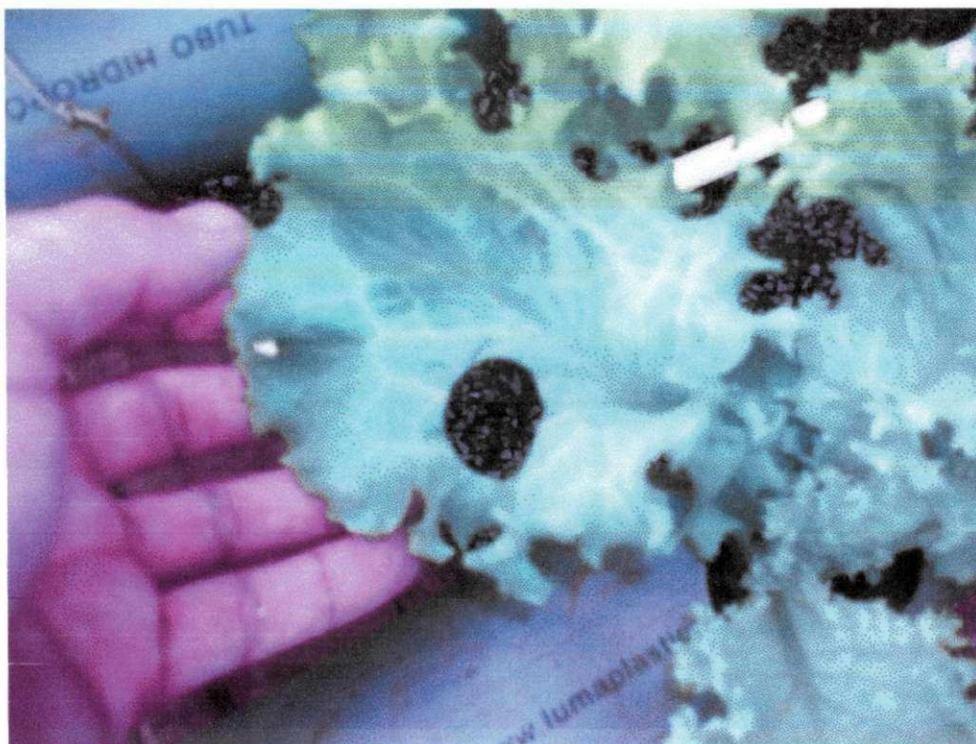


FIGURA 5. Local da retirada de amostra para análise de pigmentos e nitrato.

Os valores das leituras de absorvância foram compilados na equação 1, para cálculo da clorofila *a*; na equação 2, para o cálculo da clorofila *b*; e na equação 3, para o cálculo da clorofila *total*.

$$\text{Clorofila } a = (12,25 \times A_{663}) - (2,79 \times A_{647}) \quad (1)$$

$$\text{Clorofila } b = (21,50 \times A_{647}) - (5,10 \times A_{663}) \quad (2)$$

$$\text{Clorofila } total = (7,15 \times A_{663}) + (18,71 \times A_{647}) \quad (3)$$

$A_{647}$  e  $A_{663}$  são as leituras de absorvâncias em espectrofotômetro a 647 e 663nm respectivamente.

Os valores resultantes destes cálculos foram expressos em µg de pigmentos por mL de extrato, sendo realizadas as correções para o volume final da amostra e peso da massa fresca do tecido foliar.

A extração e a quantificação de clorofila foram realizadas no Laboratório de Análises de Alimentos e Água (LAMAG) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Câmpus Medianeira, credenciado pela Secretaria de Estado da Agricultura e Abastecimento (SEAB).

#### 4.7 DETERMINAÇÃO DOS PARÂMETROS DE CRESCIMENTO

Os parâmetros de crescimento avaliados foram obtidos pela medição do diâmetro do caule (DC), do número de folhas (NF) e da altura da planta (AP). Estes parâmetros foram medidos aos 21, 28, 35, 42, 49 e 56 dias após a semeadura.

Ao final do cultivo foram realizadas as leituras da massa fresca total (MFT), massa fresca de raiz (MFR), massa fresca das folhas (MFF), massa fresca de caule (MFC) e massa fresca da parte aérea (MFPA) e a medição do comprimento de caule (CC). Foram também realizadas, ao final do cultivo, as medições de massa seca total (MST), massa seca de raiz (MSR), massa seca foliar (MSF), massa seca de caule (MSC) e massa seca da parte aérea (MSPA).

#### 4.7.1 Diâmetro do caule

Para as medições do diâmetro do caule (DC), foi utilizado um paquímetro digital, da marca Mitutoyo, com resolução de 0,01 milímetros. O ponto de medida do diâmetro foi na parte inferior do caule (colo da planta), logo acima da primeira raiz (Figura 6).



FIGURA 6. Procedimento para medida do diâmetro do caule.

#### 4.7.2 Número de folhas

Na contagem do número de folhas (NF) consideraram-se apenas as que estavam expandidas, com comprimento mínimo de 4 centímetros, cor verde, típica da Cultivar, desprezando-se as folhas secas e aquelas cujo limbo foliar estava danificado em mais de 50%, por injúrias diversas.

#### 4.7.3 Altura de Planta

Realizada do colo da planta até a extremidade da folha mais longa, obteve-se a altura de planta (AP) fazendo-se uso de uma escala metálica de 30 centímetros.

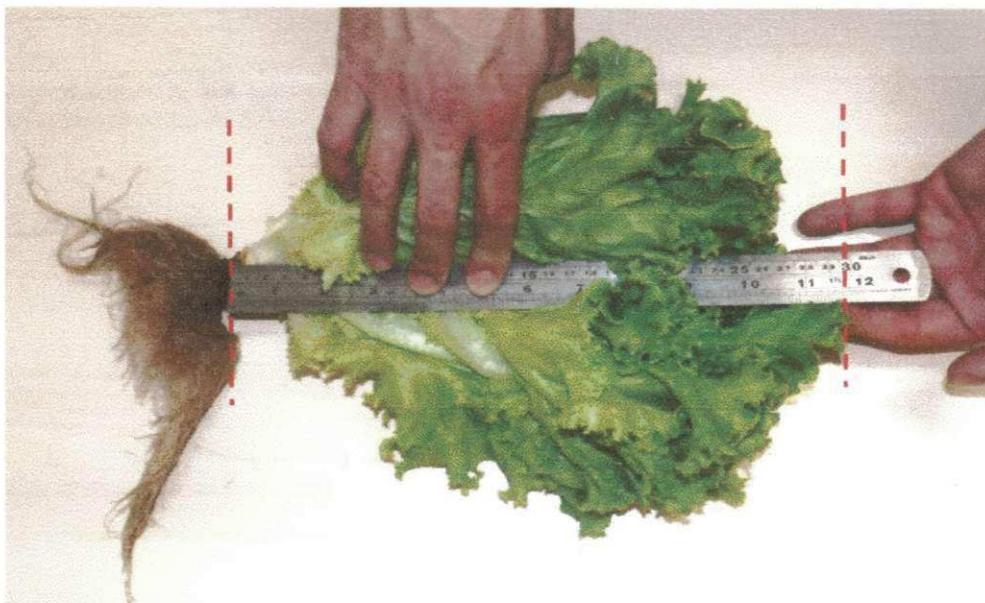


FIGURA 7. Procedimento para medida da altura de planta.

#### 4.7.4 Comprimento de Caule

O comprimento do caule (CC) foi medido somente ao final do experimento, após a retirada das folhas, mensurando-se a distância entre o colo (primeira raiz) da planta e a inserção da primeira folha mais nova (Figura 8).



FIGURA 8. Procedimento de medição do comprimento do caule.

#### 4.7.5 Determinação de Massa Fresca

Logo após a coleta das plantas do canal de cultivo, a solução nutritiva acumulada nas raízes foi retirada com o uso de folhas de papel absorvente para, em seguida, serem pesadas em balança de precisão para determinação da massa fresca total (MFT). Após esta leitura, a planta foi cortada em seu colo, separando-se as raízes da parte aérea. Em seguida, as partes foram pesadas separadamente para obtenção da massa fresca da parte aérea (MFPA) e da massa fresca da raiz (MFR).

Em ato contínuo, todas as folhas foram retiradas do caule e pesadas para se obter a massa foliar fresca (MFF).

#### 4.7.6 Massa Seca

Após a realização das medidas da massa fresca, as plantas foram acondicionadas em embalagens de papel e levadas para a estufa, com circulação forçada de ar, a uma temperatura de 65°C, por um período de 48 horas. Após este período, as amostras foram novamente pesadas para a determinação da massa seca total (MST), massa seca da parte aérea (MSPA), massa seca foliar (MSF), massa seca do caule (MSC) e massa seca da raiz (MSR).

#### 4.7.7 Área foliar

A medida de área foliar ocorreu de forma indireta. Neste procedimento, foram extraídos segmentos de folhas com área conhecida (485,39 mm<sup>2</sup>). Estas amostras foram colocadas em estufa a 65°C, por 48 horas, até o peso constante. Após este período, foi determinado o peso da massa seca da amostra foliar. Com estes dados foi possível determinar a área foliar utilizando a equação 10.

$$AF = \frac{AFAF \times MSF}{MAFS} \quad (10)$$

Sendo:

AF – Área Foliar da Planta

AFAF – Área Foliar da Amostra Fresca

MSF – Massa Seca Foliar

MAFS – Massa da Amostra Foliar Seca

#### 4.8 ANÁLISE DE CRESCIMENTO

As Taxas de Crescimento Absoluto (TCA) e Crescimento Relativo (TCR) foram calculadas adaptando-se as equações de Benincasa (1988) e utilizando-se, como parâmetros, o diâmetro do caule, altura da planta e número de folhas, conforme as equações 4 a 9.

$$TCA_{DC} = \frac{DC_2 - DC_1}{t_2 - t_1} \quad (4)$$

$$TCA_{NF} = \frac{NF_2 - NF_1}{t_2 - t_1} \quad (5)$$

$$TCA_{AP} = \frac{AP_2 - AP_1}{t_2 - t_1} \quad (6)$$

$$TCR_{DC} = \frac{\ln DC_2 - \ln DC_1}{t_2 - t_1} \quad (7)$$

$$TCR_{NF} = \frac{\ln (NF_2) - \ln (NF_1)}{t_2 - t_1} \quad (8)$$

$$TCR_{AP} = \frac{\ln AP_2 - \ln AP_1}{t_2 - t_1} \quad (9)$$

Sendo:

TCA – Taxa de Crescimento Absoluto

TCR – Taxa de Crescimento Relativo

DC – Diâmetro do Caule

NF – Número de Folhas

AP – Altura de Planta

t<sub>1</sub>-t<sub>2</sub> – intervalo de dias entre as leituras

Para a determinação da área foliar específica, razão de peso foliar e razão de área foliar foram utilizadas as equações 10, 11 e 12.

$$AFE = \frac{AF}{MSF} \quad (10)$$

$$RPF = \frac{MSF}{MST} \quad (11)$$

$$RAF = \frac{AF}{MST} \quad (12)$$

Sendo:

AF – Área Foliar

AFE – Área Foliar Específica

MST – Massa Seca Total

RAF - Razão de Área Foliar

RPF - Razão de Peso de Folha

#### 4.9 IMAGEM TÉRMICA

O uso de um termovisor da marca Testo, modelo 881, contribuiu para que as imagens térmicas fossem obtidas. A leitura ocorreu aos 55 dias após a semeadura, das 19h00min às 20h00min. Durante este período, a irrigação foi mantida em fluxo contínuo por 1 hora. Aguardaram-se 10 minutos do começo da irrigação para iniciar as leituras, realizadas a uma distância de 1 metro do caule da planta (Figura 9).

Após a retirada da planta do canal de cultivo, a leitura foi realizada em um espaço de tempo inferior a 30 segundos. Extrapolado este tempo, a planta era devolvida para o canal e uma nova medição era realizada.

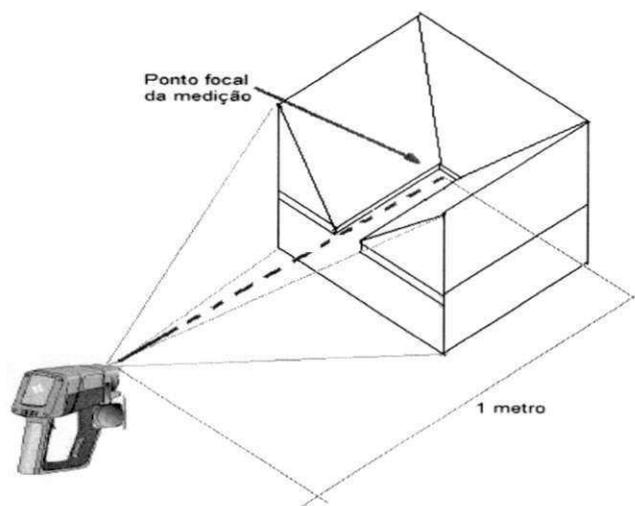


FIGURA 9. Metodologia para a leitura termográfica da planta da alfaca.

A sequência da leitura seguiu o diagrama da Figura 10. Esta sequência foi utilizada para evitar que um tratamento ficasse exposto por mais tempo que o outro à influência térmica da solução nutritiva. Durante as leituras, as plantas eram retiradas do canal de cultivo e fixadas no suporte (Figuras 11 e 12), o qual tinha por funções sustentar a planta durante a leitura e reduzir a interferência térmica do meio.

O processamento das imagens foi realizado pelo software Testo IRSof 3.2.

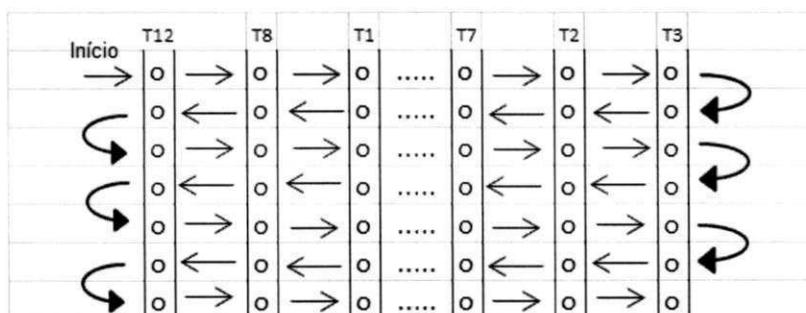


Figura 10. Sequência de leituras com o termovisor.

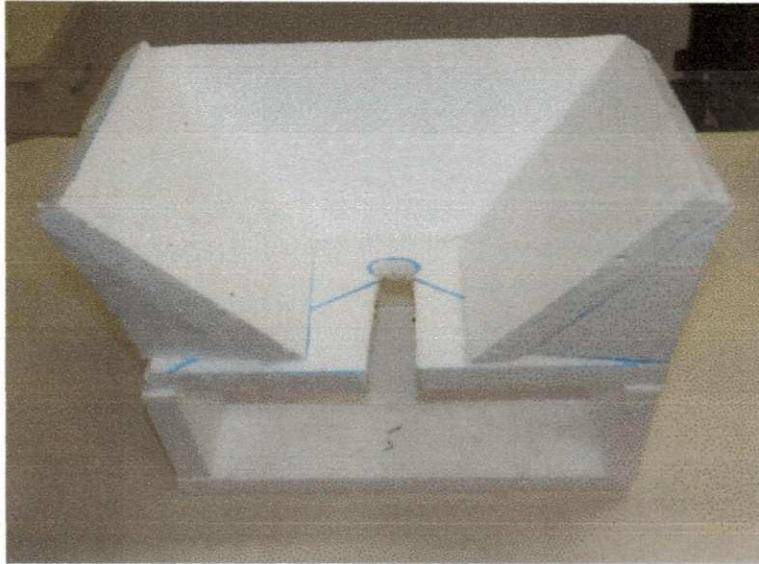


FIGURA 11. Suporte utilizado na medição térmica para sustentar a amostra e isolamento térmico.



FIGURA 12. Planta preparada para análise térmica.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 RELAÇÃO ENTRE TEOR DE NITRATO E AS VARIÁVEIS TEMPERATURA E VAZÃO DA SOLUÇÃO NUTRITIVA

Os resultados da correlação entre o acúmulo de nitrato nas folhas da alface, e as diversas vazões e temperaturas da solução nutritiva através de análise de variância e regressão encontram-se na Tabela 3.

Na análise de variância (ANOVA) do modelo obtido (teste de hipótese do conjunto), para todas as 5 coletas analisadas, o valor  $p$ , para a estatística F da regressão, foi menor que 0,01 ( $p < 0,01$ ), indicando assim a existência de uma relação estatística significativa entre as variáveis.

Ao se aplicar o teste estatístico “t” para avaliar a importância individual dos coeficientes obtidos no modelo, constatou-se que a vazão não foi significativa ( $p < 0,05$ ) em todas as 5 coletas.

A análise de regressão demonstrou que a vazão da solução nutritiva não influenciou o teor de nitrato, procedendo-se à exclusão desta variável. Efetuou-se a análise de regressão entre o teor de nitrato nas folhas e as temperaturas das soluções nutritivas, com o objetivo de se conhecer a relação existente entre as variáveis em questão nas várias coletas realizadas.

TABELA 3. Resultado da análise de variância e regressão da relação entre o teor de nitrato na folha da alface, e as variáveis, vazão e temperatura da solução nutritiva, para 5 coletas em DAS distintos.

DAS	Teste F	Parâmetros de Regressão			
		Nome	Coefficiente	t	r <sup>2</sup>
28	33,95**	Vazão	-3,50	0,14 <sup>NS</sup>	0,76
		Temperatura	22,35	8,24**	
		Constante	167,31		
35	83,11**	Vazão	114,34	0,03 <sup>NS</sup>	0,88
		Temperatura	38,84	12,25**	
		Constante	-204,98		
42	14,16**	Vazão	159,77	1,15 <sup>NS</sup>	0,57
		Temperatura	4,65	3,34**	
		Constante	563,18		
49	31,96**	Vazão	192,44	1,11 <sup>NS</sup>	0,75
		Temperatura	35,92	6,86**	
		Constante	155,52		
56	63,42**	Vazão	-33,53	0,17 <sup>NS</sup>	0,85
		Temperatura	36,04	11,20**	
		Constante	375,99		

Teste F = análise de variância; t = teste "t" estatístico; r<sup>2</sup> = coeficiente de determinação

\*\*..significativo ao nível de 1% de probabilidade;

<sup>NS</sup>.. não significativo ao nível de 5% de probabilidade

A não influência da vazão da solução nutritiva em relação ao acúmulo de nitrato, nas folhas da alface, também foi verificada por FURTADO (2008), FERNANDES *et al.* (2002), ESCOIN-PEÑA *et al.* (1998) e APRIGIO (2012).

A decisão de se optar pelo modelo de regressão quadrática foi em virtude de apresentar melhores ajustes (maiores coeficientes de correlação "R" e valores significativos para o teste estatístico F), se comparado aos demais modelos testados (regressão linear simples e regressão potencial).

Verificou-se que, com o aumento da temperatura da solução nutritiva em todas as coletas durante o cultivo, ampliou o teor de nitrato. Considerando-se a data de coleta, observou-se que o acúmulo de nitrato ocorre progressivamente em relação à data, após a semeadura.

Este comportamento pode ser explicado pelo aumento da temperatura da solução nutritiva, que resulta na elevação da condutividade elétrica da mesma (COMETTI *et al.*, 2013) (STEIDLE NETO, 2005), visto que uma maior condutividade elétrica favorece o aumento do teor de nitrato nas folhas da alface (FILGUEIRA, *et al.*, 2002) e (GENUNCIO, 2012).

Na Figura 13, é possível observar o intervalo de teor de nitrato em função da temperatura. Nas plantas irrigadas com solução nutritiva a 15°C, observou-se menor valor médio de teor de nitrato nas folhas da alface. Já as folhas das plantas irrigadas com solução nutritiva a 25°C apresentaram maior valor médio de teor de nitrato nas folhas.

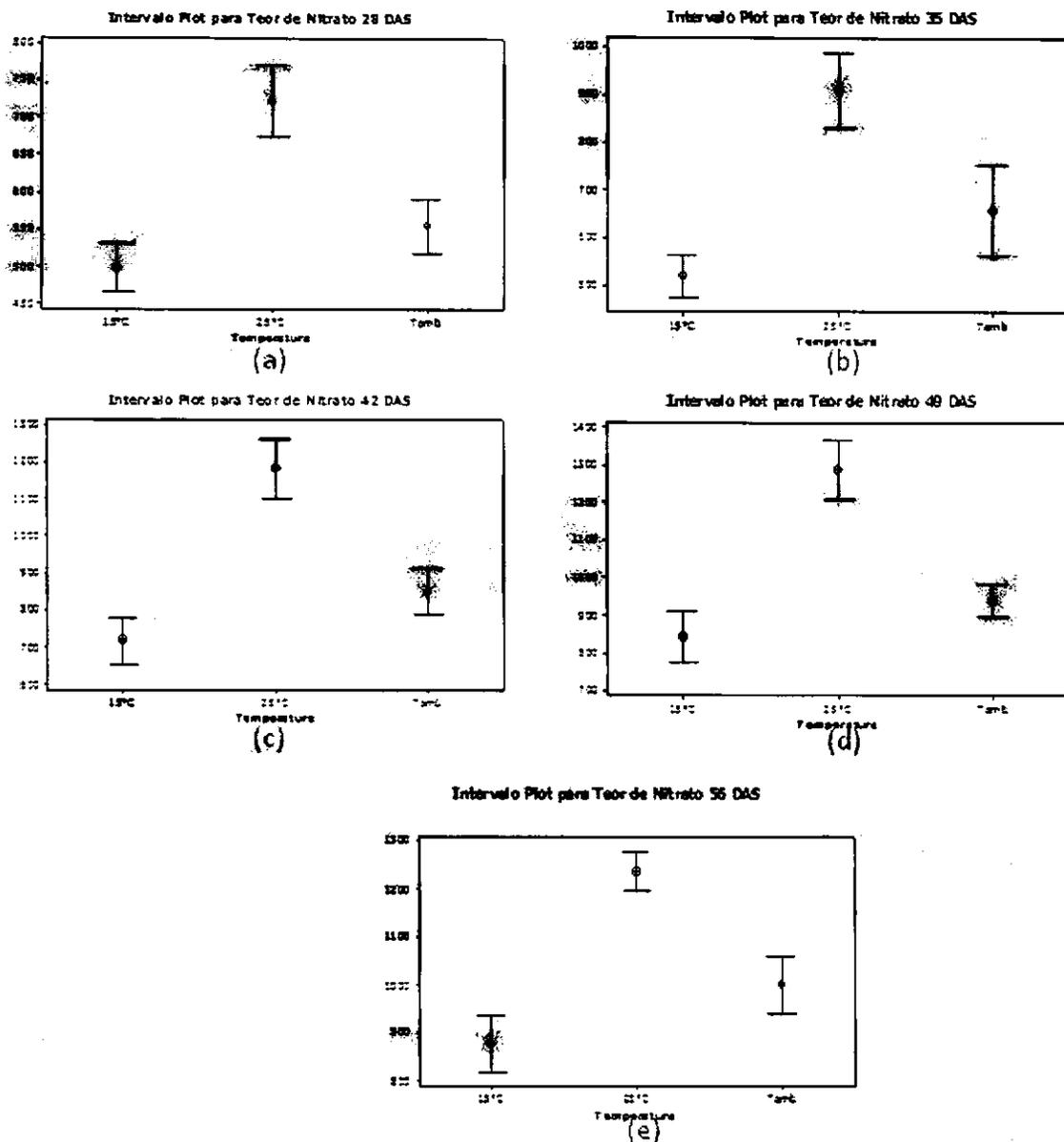


FIGURA 13. Gráficos Plot, teor de nitrato nas folhas da alface, com intervalo de confiança de 95% para 28, 35, 42, 49 e 56 dias após a semeadura.

A regressão entre as variáveis, teor de nitrato e temperatura (Figura 14), permitiu conhecer o comportamento do acúmulo de nitrato nas folhas da hortaliça estudada, observando-se, ao longo das coletas até a última semana, comportamento semelhante em relação ao acúmulo progressivo do teor de nitrato nas folhas. A partir de então, iniciou-se o decréscimo no acúmulo desta substância química nas folhas das plantas, objeto deste estudo.

Foi possível verificar que, em todas as medições realizadas, o aumento da temperatura da solução nutritiva resultou em maior teor de nitrato nas folhas da alface, sendo

que este teor é crescente ao longo do período do cultivo e atinge os valores máximos nas últimas duas coletas, com tendência de redução, o que pode ser explicado por se tratar do período de senescência da planta.

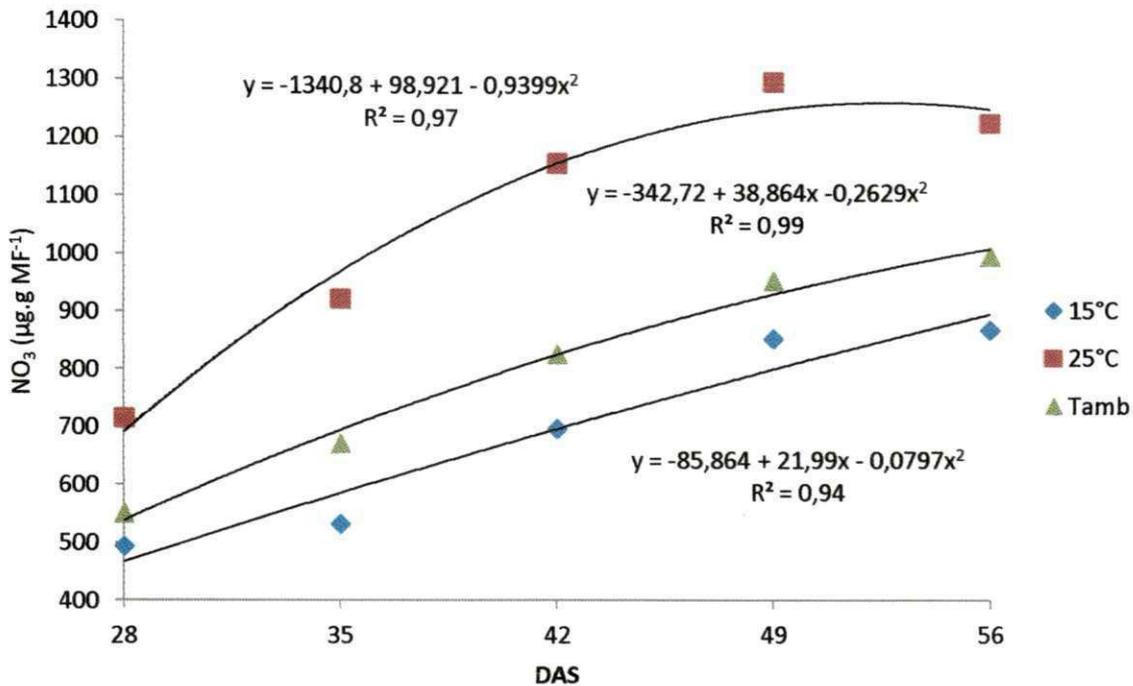


FIGURA 14. Comportamento do teor de nitrato nas folhas da alface para 28, 35, 42, 49 e 56 DAS para cada temperatura da solução nutritiva do experimento.

A medição final foi realizada aos 56 dias após a semeadura. Os valores utilizados para comparação em relação aos limites de teor de nitrato para consumo humano foram os verificados na coleta que apresentou maior valor médio de teor de nitrato.

Para o tratamento irrigado com solução nutritiva a 25°C, foi utilizada a medição que ocorreu aos 49 dias após a semeadura, para os tratamentos irrigados com solução nutritiva a 15°C e temperatura ambiente, foram utilizados os dados medidos aos 56 dias após a semeadura.

Considerando que não houve influência da variável vazão no teor de nitrato presente nas folhas da alface, esta foi excluída e a análise de variância e teste de Tukey foram realizados considerando apenas a variável temperatura da solução nutritiva (Tabela 4).

TABELA 4. Resumo estatístico da comparação das médias dos tratamentos e análise de variância da quantidade de nitrato na folha da alface, em função da temperatura.

Temperatura		Média		Teste	CV
°C		µg.g MF <sup>-1</sup>			
15		875,2		C	11,37
25		1279,2		A	7,49
T <sub>amb</sub>		1069,5		B	9,78
Fonte de Variação	GL	SQ	MQ	F	P
Tratamentos	2	979692	489846	48,9	0,000

Notas: \* = F significativo ao nível de 5%, pelo teste de Tukey. CV = Coeficiente de variação, SQ = Soma dos quadrados, Gl = Graus de liberdade, MQ = Quadrado médio, F = Fator de variação.

Para o fator temperatura ocorreram diferenças ao nível de 5% de significância. Os valores médios variaram entre 875,2 e 1279,2 µg.g de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> na MF.

As plantas irrigadas com solução nutritiva a 15°C tiveram as menores médias de teor de nitrato nas folhas, 875,2 µg.g de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>. A alface irrigada com solução nutritiva a 25°C teve a maior média de teor de nitrato nas folhas, 1279,2 µg.g de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, valor este 46,2% maior que o menor valor encontrado no experimento. As plantas irrigadas com solução nutritiva em temperatura ambiente tiveram a maior média de teor de nitrato nas folhas, 1069,5 µg.g de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, valor este 22,2% superior ao menor valor encontrado no experimento.

Sendo assim, os resultados do experimento demonstram que os teores de nitrato foram inferiores aos recomendados pela Organização Mundial para Agricultura e Alimentação (WHO, 2012) e pela legislação da comunidade europeia (CE, 2006), que estes teores encontram-se dentro dos padrões permitidos pelos órgãos que normatizam a quantificação desta substância química em alface e próximos aos valores encontrados pela maioria dos pesquisadores: Aprigio (2012), Furtado (2008), Escoín-Peña *et al.* (1998), Oshe *et al.* (2009), Cometti (2003), Luz *et al.* (2008), Takahashi (2007) e Fernandes *et al.* (2007).

Oshe *et al.* (2009) observaram, na cultivar *Vera*, cultivada em sistema hidropônico sem sombreamento, teor médio de nitrato da parte aérea de 80,22 mg kg<sup>-1</sup>, e Aprigio (2008) obteve 1330,0 mg.kg<sup>-1</sup> para uma vazão de 0,5 l.m<sup>-1</sup> e d 1280,13 mg.kg<sup>-1</sup>. Furtado (2008), para o cultivar *Vera*, irrigado com solução nutritiva com vazão de 0,5 L.m<sup>-1</sup>, verificou teores de nitrato de 1330 mg.kg<sup>-1</sup>, e Takahashi *et al.* (2007) obtiveram 2314 mg.kg<sup>-1</sup>.

Em relação ao cultivo da alface *Vera*, irrigado com solução nutritiva em temperatura ambiente e vazão de  $1,0 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ , observou-se teor de nitrato de  $1.344,57 \text{ mg NO}_3 \text{ kg}^{-1}$  MF logo após a colheita (APRIGIO *et al.*, 2012), sendo este teor 54,8% menor que os valores obtidos por Takahashi (2007), 20,5 % menor que os teores observados por Aprigio (2012) e 76,2% inferior aos valores preconizados pela Comunidade Europeia (2006).

Já o teor médio de nitrato obtido na folha da alface irrigada com solução nutritiva a  $15^\circ\text{C}$ , este foi 62,2% menor que o teor obtido por Takahashi (2007), 34,9 % menor que o teor obtido por Aprigio (2012) e 80% menor que os valores determinados pela Comunidade Europeia (2006).

Na irrigação com solução nutritiva a  $25^\circ\text{C}$ , o teor médio de nitrato obtido na folha da alface foi 44,7% menor que os valores obtidos por Takahashi (2007), 4,8% menor que Aprigio (2012) e 71,5% menor que os valores máximos determinados para consumo humano pela Comunidade Europeia (2006).

Considerando uma pessoa de 70 kg, é necessário que a mesma consuma 542 gramas da alface em um dia, para que os teores de nitratos atinjam o valor limite conforme normas da WHO (2012).

## 5.2 RELAÇÃO ENTRE TEOR DE CLOROFILA E ÀS VARIÁVEIS TEMPERATURA E VAZÃO DA SOLUÇÃO NUTRITIVA

A verificação da correlação existente entre o teor de clorofila nas folhas da alface e as variáveis, vazão e temperatura da solução nutritiva, os dados foram submetidos à análise de variância e regressão, ajustando-se os modelos matemáticos que apresentaram elevados coeficientes de determinação.

### 5.2.1 Teor de clorofila *total*

Na análise de variância para o teor de clorofila *total*, verificou-se significância ( $p < 0,05$ ) para interação entre as variáveis, vazões e temperaturas da solução nutritiva.

No modelo obtido (teste de hipótese do conjunto), para todas as 5 coletas analisadas, o valor  $p$  para a estatística F da regressão foi menor que 0,01 ( $p < 0,01$ ), indicando assim a existência de uma relação estatística entre as variáveis.

Ao se aplicar o teste estatístico “t” para se avaliar a importância individual dos coeficientes obtidos no modelo (Tabela 5), constatou-se não haver significância a variável denominada vazão ( $p > 0,05$ ) em todas as 5 coletas. Constatada na análise de regressão a não significância da vazão da solução nutritiva em relação ao teor de clorofila *total*, procedeu-se à eliminação desta variável do modelo.

TABELA 5. Resultado da análise de variância e regressão das relações entre o teor de clorofila *total* na folha da alface e as variáveis, vazão e temperatura da solução nutritiva, para 5 coletas.

Parâmetros de Regressão					
DAS	Teste F	Nome	Coefficiente	t	r <sup>2</sup>
28	10,89**	Vazão	0,0003	0,19 <sup>NS</sup>	0,73
		Temperatura	0,0028	10,02**	
		Constante	0,0563		
35	10,89**	Vazão	0,0015	0,54 <sup>NS</sup>	0,51
		Temperatura	0,0021	5,47**	
		Constante	0,0911		
42	9,22**	Vazão	0,0011	0,39 <sup>NS</sup>	0,88
		Temperatura	0,0067	16,27**	
		Constante	0,0541		
49	10,90**	Vazão	-0,0031	-1,18 <sup>NS</sup>	0,97
		Temperatura	0,0128	35,46**	
		Constante	0,0392		
56	25,64**	Vazão	0,0041	1,07 <sup>NS</sup>	0,93
		Temperatura	0,0118	22,14**	
		Constante	0,0452		

Teste F = análise de variância; t = teste “t” estatístico; r<sup>2</sup> = coeficiente de determinação

\*\*..significativo ao nível de 1% de probabilidade;

<sup>NS</sup>.. não significativo ao nível de 5% de probabilidade;

Para realizar a regressão foram utilizadas todas as medições, em todas as coletas (28, 35, 42, 49 e 56 DAS) para clorofila *total*.

A Figura 15 apresenta as curvas com o comportamento do teor de clorofila *total* em relação à temperatura da solução nutritiva, para cada coleta realizada, sendo que as equações de regressão linear foram as que melhor explicaram a variação do teor de clorofila *total* em relação à temperatura da solução nutritiva.

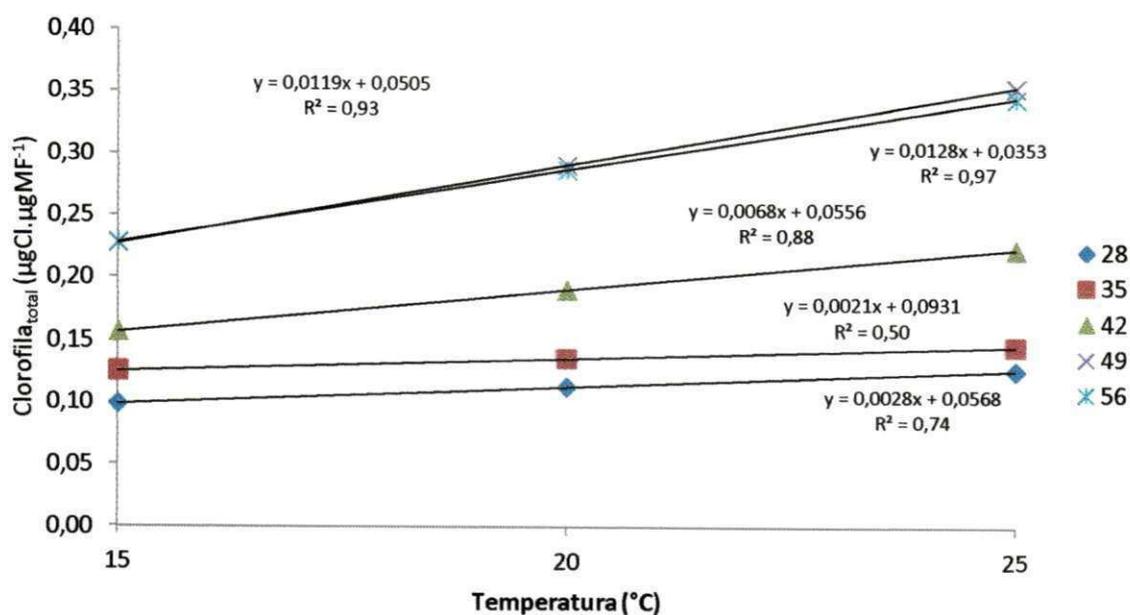


FIGURA 15. Comportamento do teor de Clorofila *total* em relação à variação da temperatura em 5 coletas após a semeadura.

Observou-se que o teor médio de clorofila *total* foi mais elevado nas plantas irrigadas com solução nutritiva a 25°C. Corroborou, para este resultado, o trabalho desenvolvido por Partelli (2009), no cultivo de café, que observou comportamento semelhante para a clorofila *total*.

### 5.2.2 Teor de clorofila *a*

Na análise de variância para o teor de clorofila *a*, verificou-se significância ( $p < 0,05$ ) para interação entre as variáveis, vazões e temperaturas da solução nutritiva.

No modelo obtido (teste de hipótese do conjunto), em todas as 5 coletas analisadas, o valor  $p$  para a estatística F da regressão é menor que 0,01 ( $p < 0,01$ ), indicando assim a existência de uma relação estatística significativa entre as variáveis, a um nível de significância de 1%.

Ao se aplicar o teste estatístico “t” para avaliar a importância individual dos coeficientes obtidos no modelo (Tabela 6), constatou-se a influência não significativa da variável denominada vazão ( $p > 0,05$ ), em todas as 5 coletas. Constatada, na análise de

regressão, a não significância da vazão da solução nutritiva em relação ao teor de clorofila *a*, procedeu-se à eliminação desta variável do modelo.

Na regressão linear, foram utilizadas todas as medidas feitas em todas as coletas (28, 35, 42, 49 e 56 DAS) para clorofila *a*.

TABELA 6. Resultado da análise de regressão das relações entre o teor de clorofila *a* na folha da alface e as variáveis, vazão e temperatura, da solução nutritiva, para 5 coletas após a semeadura.

Parâmetros de Regressão					
DAS	Teste F	Nome	Coefficiente	t	r <sup>2</sup>
28	53,21**	Vazão	0,00031	0,17 <sup>NS</sup>	0,71
		Temperatura	0,00243	9,46**	
		Constante	0,05091		
35	22,08**	Vazão	0,00149	0,59 <sup>NS</sup>	0,52
		Temperatura	0,00186	5,37**	
		Constante	0,08115		
42	179,89**	Vazão	0,00106	0,40 <sup>NS</sup>	0,88
		Temperatura	0,00605	16,51**	
		Constante	0,04621		
49	607,41**	Vazão	-0,00215	-0,90 <sup>NS</sup>	0,97
		Temperatura	0,01131	34,47**	
		Constante	0,03350		
56	233,81**	Vazão	0,00362	1,06 <sup>NS</sup>	0,93
		Temperatura	0,01052	22,36**	
		Constante	0,03942		

Teste F = análise de variância; t = teste "t" estatístico; r<sup>2</sup> = coeficiente de determinação

\*\*..significativo ao nível de 1% de probabilidade;

<sup>NS</sup>.. não significativo ao nível de 5% de probabilidade;

Na Figura 16, são apresentadas as curvas com o comportamento do teor de clorofila *a* em relação à temperatura da solução nutritiva para cada coleta realizada.

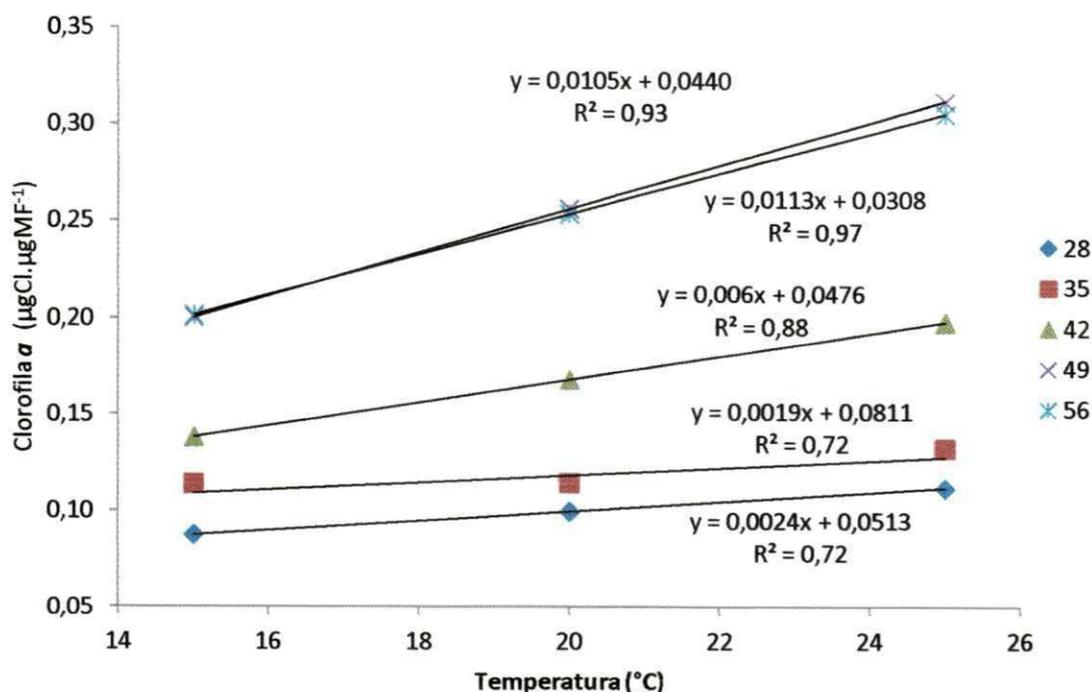


FIGURA 16. Comportamento do teor de Clorofila  $a$ , em relação à variação da temperatura, em 5 coletas após a semeadura.

Na primeira e segunda coletas (28 e 35 DAS), a influência da temperatura no teor de clorofila  $a$  na folha da alface não foi perceptível. Porém, nas últimas duas coletas (49 e 56 DAS), o teor de clorofila  $a$  foi influenciado pela temperatura da solução nutritiva, significando que, para a temperatura mais elevada da solução nutritiva, o teor de clorofila  $a$  também foi maior. O trabalho desenvolvido por Partelli (2009), no cultivo do café, que verificou a redução da clorofila total em exposição à baixa temperatura, também corroborou para este resultado.

Sobre as duas últimas coletas, no final do período de cultivo (49 e 56 DAS), os níveis de teor de clorofila  $a$  nas folhas da alface, que foram irrigadas com solução nutritiva a 25°C, tiveram uma elevação do teor de clorofila  $a$ . O comportamento da planta em relação à temperatura da solução nutritiva e ao acúmulo de clorofila  $a$ , para as medições realizadas aos 49 e 56 DAS, foram semelhantes. Pode-se deduzir que a planta tenha entrado em senescência a partir de 49 DAS.

### 5.2.3 Teor de clorofila *b*

Na análise de variância, para o teor de clorofila *b*, verificou-se significância ( $p < 0,05$ ), para interação entre as variáveis, vazão e temperatura, da solução nutritiva.

No modelo obtido (teste de hipótese do conjunto), para todas as 5 coletas analisadas, o valor  $p$  para a estatística F da regressão é menor que 0,01 ( $p < 0,01$ ), indicando assim a existência de uma relação estatística significativa entre as variáveis, a um nível de significância de 1%.

Ao se aplicar o teste estatístico “t” para se avaliar a importância individual dos coeficientes obtidos no modelo (Tabela 7), constatou-se a influência não significativa da variável denominada vazão ( $p > 0,05$ ), em todas as 5 coletas, ao nível de significância de 5%.

TABELA 7. Resultado da análise de variância e regressão, das relações entre o teor de clorofila *b* na folha da alface, e as variáveis, vazão e temperatura da solução nutritiva, para 5 coletas após a semeadura.

DAS	Teste F	Parâmetros de Regressão			
		Nome	Coefficiente	t	r <sup>2</sup>
28	28,2**	Vazão	0,000361	0,23 <sup>NS</sup>	0,58
		Temperatura	0,000050	7,66**	
		Constante	0,001120		
35	20,52**	Vazão	0,000055	0,10 <sup>NS</sup>	0,27
		Temperatura	0,000254	3,94**	
		Constante	0,009970		
42	49,06**	Vazão	0,000135	0,26 <sup>NS</sup>	0,73
		Temperatura	0,000719	9,90**	
		Constante	0,007833		
49	128,85**	Vazão	-0,000967	-1,25 <sup>NS</sup>	0,85
		Temperatura	0,001517	14,27**	
		Constante	0,005721		
56	80,05**	Vazão	0,000564	0,79 <sup>NS</sup>	0,84
		Temperatura	0,001349	13,87**	
		Constante	0,005824		

Teste F = análise de variância; t = teste “t” estatístico; r<sup>2</sup> = coeficiente de determinação

\*\*..significativo ao nível de 1% de probabilidade; <sup>NS</sup>.. não significativo ao nível de 5% de probabilidade;

Na análise de regressão linear, realizada com o objetivo de verificar a relação existente entre as variáveis nas várias coletas realizadas e tendo sido utilizadas todas as medições (28, 35, 42, 49 e 56 DAS), como foi constatada a não significância da vazão da solução nutritiva em relação ao teor de clorofila *b*, procedeu-se à eliminação desta variável do modelo.

O comportamento do teor de Clorofila *b* em relação à variável temperatura é apresentado na Figura 17.

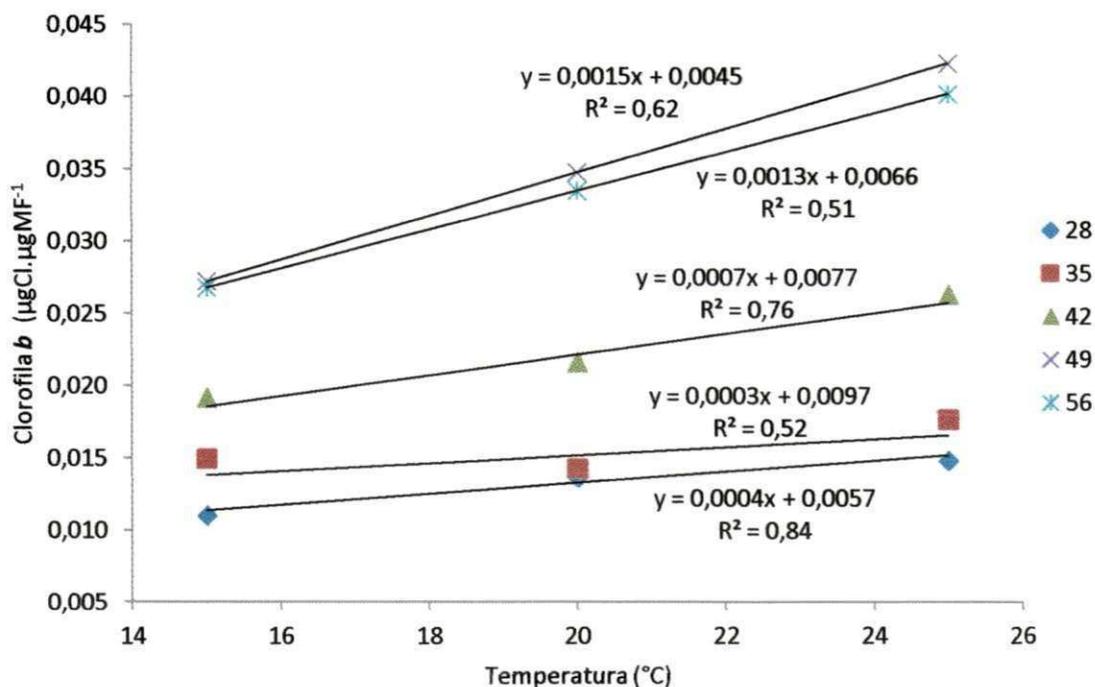


FIGURA 17. Comportamento do teor de Clorofila *b* em relação à variação da temperatura em 5 coletas após a semeadura.

Os resultados demonstraram que a temperatura da solução nutritiva afeta as funções fisiológicas envolvidas na formação de clorofila (pigmentos fotossintéticos) e, conseqüentemente, no processo de fotossíntese da alface.

Observando o comportamento dos teores clorofila *a*, *b* e *total* em relação à variável temperatura da solução nutritiva, verificou-se que os teores de clorofila *a*, *b* e *total* aumentam com a elevação da temperatura da solução.

A influência da temperatura, na formação da clorofila, envolve vários mecanismos de síntese metabólica. Um destes mecanismos, a elevação da temperatura, promove maior

absorção de magnésio, conduzindo, assim, a um aumento de clorofila nas folhas (AL-HAMDANI e GHAZAL, 2009).

Em relação à hidroponia e à pesquisa realizada, a água é elemento indispensável. Sobre a mesma, observou-se que seu peso específico pode ser considerado constante, enquanto que a viscosidade decresce com o aumento da temperatura. O decréscimo da viscosidade implica o aumento da permeabilidade e, conseqüentemente, da velocidade de percolação dos íons, resultando num maior fluxo de nutrientes para a planta, ou seja, a elevação da temperatura da solução nutritiva para 25°C resulta em maior capacidade da planta em produzir clorofilas nas folhas do vegetal. (KERBAUY, 2012).

A redução dos teores de clorofila, para as plantas irrigadas com solução nutritiva a 15°C, pode ser explicada pelo fechamento dos estômatos, fenômeno que ocorre nas plantas submetidas a baixas temperaturas (RAMALHO *et al.*, 2003) e (BACELAR *et al.*, 2006). Coadunam para este mecanismo as limitações metabólicas causadas pela baixa temperatura (Silva *et al.*, 2004). Temperaturas muito baixas da solução nutritiva também provocam injúrias na raiz da planta devido à formação de cristais de gelo que danificam a superfície da raiz, ocasionando distúrbios fisiológicos associados com crescimento reduzido (GESCH, 2007).

### 5.3 RELAÇÃO DO TEOR DE CLOROFILA EXTRAÍDA E AS LEITURAS OBTIDAS NO CLOROFILÔMETRO

Para verificar a relação existente entre o teor de clorofila na folha da alface e as medições realizadas com o clorofilômetro Falker, os dados foram submetidos à análise de variância e regressão, ajustando-se o modelo matemático que apresentou elevado coeficiente de determinação.

Para realização da regressão linear, foram utilizadas todas as medidas de todos os tratamentos, em todas as coletas (28, 35, 42, 49 e 56 DAS), para clorofila *a*, clorofila *b* e clorofila *total*.

Para gerar os modelos matemáticos, foi utilizada a leitura do índice obtido no clorofilômetro como variável independente, e a concentração dos pigmentos extraídos pelo método descrito por Lichtentaler e Welburn (1983) como variável dependente.

Na análise de variância do modelo obtido, o valor  $p$  para a estatística  $F$  da regressão é menor que 0,01 ( $p < 0,01$ ), indicando assim, a existência de uma relação estatística significativa, entre as variáveis, a um nível de significância de 1%.

O modelo linear foi o que melhor expressou estas relações. Os coeficientes de determinação ajustados para os modelos foram de 0,98 para clorofila **a**, 0,95 para clorofila **b** e 0,99 para clorofila **total**. Nas Figuras 18, 19 e 20 são apresentadas as regressões lineares para clorofila **a**, **b** e **total** respectivamente.

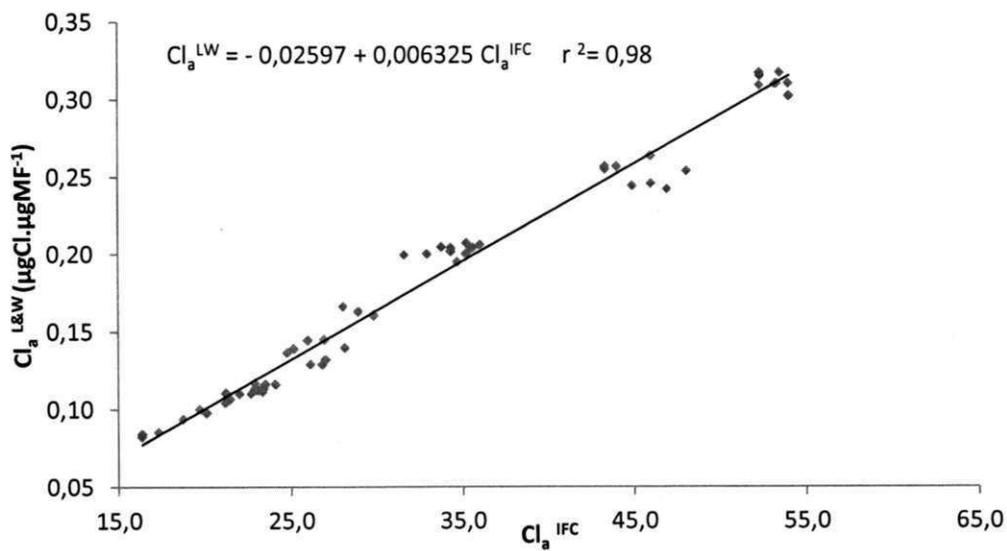


FIGURA 18. Regressão linear entre o teor de clorofila **a**, extraído das folhas da alface, e as leituras obtidas com o clorofilômetro Falker.

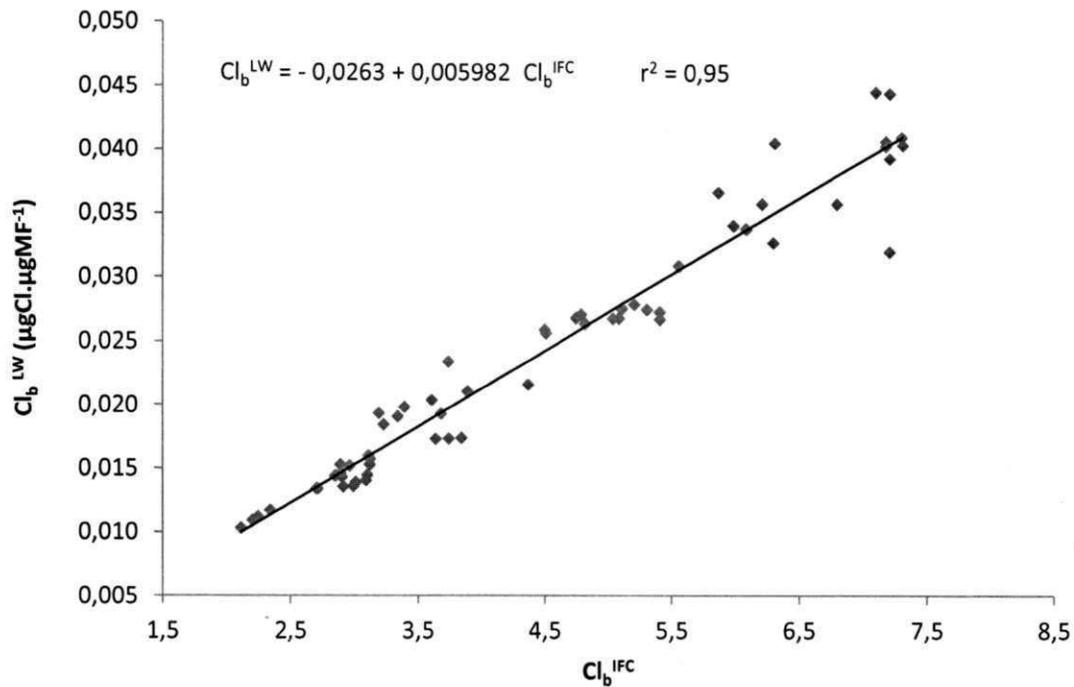


FIGURA 19. Regressão linear entre o teor de clorofila *b*, extraído das folhas da alfaca, e as leituras obtidas com o clorofilômetro Falker.

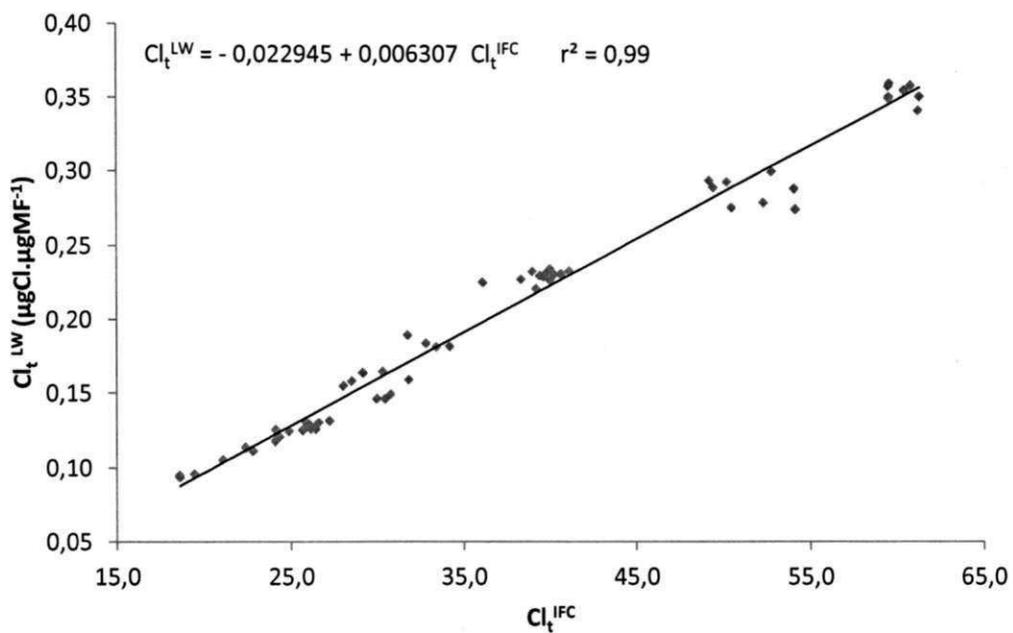


FIGURA 20. Regressão linear entre o teor de clorofila *b*, extraído das folhas da alfaca, e as leituras obtidas com o clorofilômetro Falker.

O emprego de equipamentos tecnológicos contribui significativamente para com o êxito da pesquisa. No entanto, na literatura, ainda não são encontrados registros prévios do uso do clorofilômetro em cultura da Alface *Vera*, não havendo, assim, disponibilidade de uma referência de comparação direta para aferir a validade dos resultados. Sabe-se que tanto o clorofilômetro Falker quanto o SPAD utilizam a mesma metodologia de leitura, podendo ser realizadas inferências em relação aos resultados obtidos com os mesmos em outros vegetais (BARBIERI JUNIOR, 2012).

O uso do clorofilômetro SPAD-502 permitiu a determinação confiável de clorofila para o manjeriço, onde a correlação com o método destrutivo obteve uma equação com um  $r^2$  de 0,99 (FENECH-LARIOS *et al.*, 2009). Com o uso do clorofilômetro Falker foi obtido um valor do coeficiente de correlação  $r$  de 0,926 ( $Cl_t^{LW} = -156,2 + 17,23 Cl_t^{IFC} \mu\text{mol m}^{-2}$ ) para o capim Tifton 85 (BARBIERI JUNIOR, 2012). O coeficiente de determinação para o teor de clorofila **total** extraído relacionado com os valores observados no SPAD foram  $r^2$  de 0,80 para o urucum;  $r^2$  de 0,67 para o cupuaçu;  $r^2$  de 0,80 para o limão e  $r^2$  de 0,92 para o araçá-boi (JESUS & MARENCO, 2008). Para as folhas de algodoeira, os coeficientes de determinação dos modelos ajustados foram de 0,90 e 0,91 para clorofila **a** e 0,82 e 0,80 para clorofila **b** usando o SPAD e o clorofilômetro Falker, respectivamente. E  $r^2$  de 0,91 para a clorofila **total** ( $Cl_{LW}^t = -35,95 + 4,94 Cl_{IFC}^t + 0,09 Cl_{IFC}^{t^2} \mu\text{mol m}^{-2}$ ) (BRITO *et al.*, 2011).

Portanto, as leituras efetuadas com o clorofilômetro Falker em diversos vegetais comprovou poder substituir, com precisão, as determinações tradicionais do teor de clorofila. Desta forma, as equações obtidas na leitura da alface *Vera* são consideradas adequadas para substituir as análises tradicionais de extração de clorofila.

#### 5.4 RELAÇÕES ENTRE OS DADOS BIOMÉTRICOS E AS VARIÁVEIS, TEMPERATURA E VAZÃO, DA SOLUÇÃO NUTRITIVA.

Para verificar a correlação existente entre os dados biométricos e as variáveis, vazão e temperatura, da solução nutritiva, os dados foram submetidos à análise de variância e regressão, ajustando-se os modelos matemáticos que apresentaram elevados coeficientes de determinação.

#### 5.4.1 Dados biométricos

Aos 56 dias após a semeadura, foram realizadas as medições do diâmetro de caule (DC), comprimento de caule (CC), altura de planta (AP) e número de folhas (NF). Para analisar a correlação existente entre as medições e as diversas vazões e temperaturas da solução nutritiva, foi realizada a análise de variância e regressão entre as variáveis, cujas equações constam na Tabela 8. Observou-se que não ocorreram interações entre as variáveis, vazão e temperatura, para os dados biométricos. Porém, verificou-se significância entre as variáveis, temperaturas e vazões, para todos os parâmetros, com exceção para comprimento de caule.

Ao se aplicar o teste estatístico “t” para avaliar a importância individual dos coeficientes obtidos no modelo, constatou-se a influência não relevante da variável vazão ao nível de significância de 5%.

TABELA 8. Resultado da análise de variância e regressão das relações entre diâmetro de caule, comprimento de caule, altura de planta e número de folhas e as variáveis, vazão e temperatura, da solução nutritiva.

Parâmetro Biométrico	ANOVA Teste F	Parâmetros de Regressão			
		Nome	Coefficiente	t	r <sup>2</sup>
DC	0,91 <sup>ns</sup>	Vazão	8,258	16,25 <sup>**</sup>	0,45
		Temperatura	149,62	0,25 <sup>ns</sup>	
		Constante	0,258		
CC	0,11 <sup>ns</sup>	Vazão	8,968	7,68 <sup>**</sup>	0,68
		Temperatura	186,57	0,14 <sup>ns</sup>	
		Constante	-0,875		
AP	2,22 <sup>ns</sup>	Vazão	57,926	8,98 <sup>**</sup>	0,75
		Temperatura	7,982	6,25 <sup>**</sup>	
		Constante	-5,892		
NF	1,14 <sup>ns</sup>	Vazão	9,748	7,68 <sup>**</sup>	0,82
		Temperatura	239,258	14,85 <sup>**</sup>	
		Constante	-14,215		

Teste F = análise de variância; t = teste “t” estatístico; \*\*.significativo ao nível de 1% de probabilidade;

<sup>ns</sup>.. não significativo ao nível de 5% de probabilidade;

O parâmetro, comprimento de caule, foi descartado devido à restrição de leitura provocada pela deformação (encurvamento) quando o mesmo foi irrigado com vazões mais elevadas (2,0 L.min<sup>-1</sup>)

Na Tabela 9, é apresentado o desdobramento para os dados biométricos de diâmetro de caule, altura de planta e número de folhas.

TABELA 9. Valores médios de diâmetro de caule, altura de planta e número de folhas, e as variáveis, vazão e temperatura, da solução nutritiva.

Vazão (L.min <sup>-1</sup> )	0,5	1,0	1,5	2,0	CV(%)
<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Diâmetro de Caule (mm)</b>				
15	7,29 b B	7,43 b B	7,0 a B	8,05 a B	2,21
25	7,89 c A	8,19 b A	8,50 a A	8,60 a A	2,29
T <sub>amb</sub>	7,18 c B	7,37 b B	7,78 a C	7,83 a C	1,96
CV(%)	2,22	2,85	1,30	2,12	
<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Altura de Planta (cm)</b>				
15	26,2 a B	26,0 a B	25,9 a B	25,5 a C	3,66
25	27,2 b A	27,6 b A	27,6 b A	29,6 a A	4,32
T <sub>amb</sub>	25,5 a B	26,8 a AB	27,0 a A	27,7 b B	3,86
CV(%)	3,85	4,64	3,00	4,18	
<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Número de Folhas (folhas)</b>				
15	17,8 a C	18,1 a C	18,7 a C	19,0 a B	5,55
25	25,4 a A	25,7 a A	25,9 a A	26,1 a A	4,67
T <sub>amb</sub>	23,0 b C	23,0 b B	23,6 b B	24,9 a A	3,55
CV(%)	3,02	3,96	4,15	5,54	

Médias de tratamentos seguidas da mesma letra, minúscula na mesma linha e maiúscula na mesma coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

A leitura da tabela permite ver que ocorreram diferenças significativas em relação ao número de folhas, diâmetro de caule e altura de planta.

A menor média de número de folhas, 17,8 folhas.planta<sup>-1</sup>, foi obtido no cultivo que recebeu irrigação da solução nutritiva a 15°C e vazão de 0,5 L.min<sup>-1</sup>. A maior média de número de folhas, 26,1 folhas.planta<sup>-1</sup>, foi 46,1% superior à menor média de número de folhas no cultivo que recebeu irrigação da solução nutritiva a 25°C e vazão de 2,0 L.min<sup>-1</sup>.

A maior média de altura de planta, 29,6 centímetros, verificado no cultivo que recebeu irrigação com solução nutritiva a 25°C e vazão de 2,0 L.min<sup>-1</sup>, foi 16,1% superior à menor média de altura de planta (25,5 centímetros), obtida no cultivo que recebeu irrigação com solução nutritiva a 15°C e vazão de 2,0 L.min<sup>-1</sup>.

O menor valor médio de diâmetro de caule, 7,00 milímetros, foi verificado no cultivo que recebeu irrigação com solução nutritiva a 15°C e vazão de 1,5 L.min<sup>-1</sup>. O maior valor médio de diâmetro de caule, 8,60 milímetros, foi 28,6% superior ao menor valor médio de diâmetro de caule, observado no cultivo que recebeu irrigação com solução nutritiva a 25°C e vazão de 2,0 L.min<sup>-1</sup>.

Tanto a menor média de número de folhas quanto a maior média de altura de planta e o menor valor médio de diâmetro de caule tiveram valores superiores aos encontrados por Santos *et al.* (2011) e Furtado (2008).

Sobre o número médio de folhas devido às vazões utilizadas na irrigação da alface, observou-se que o número de folhas aumentou com vazões crescentes e o mesmo é apresentado na Figura 21.

A produção de número de folhas por planta da alface irrigada com solução nutritiva em temperatura ambiente e a 25°C foi semelhante, e quando irrigadas com solução nutritiva a 15°C, foi inferior.

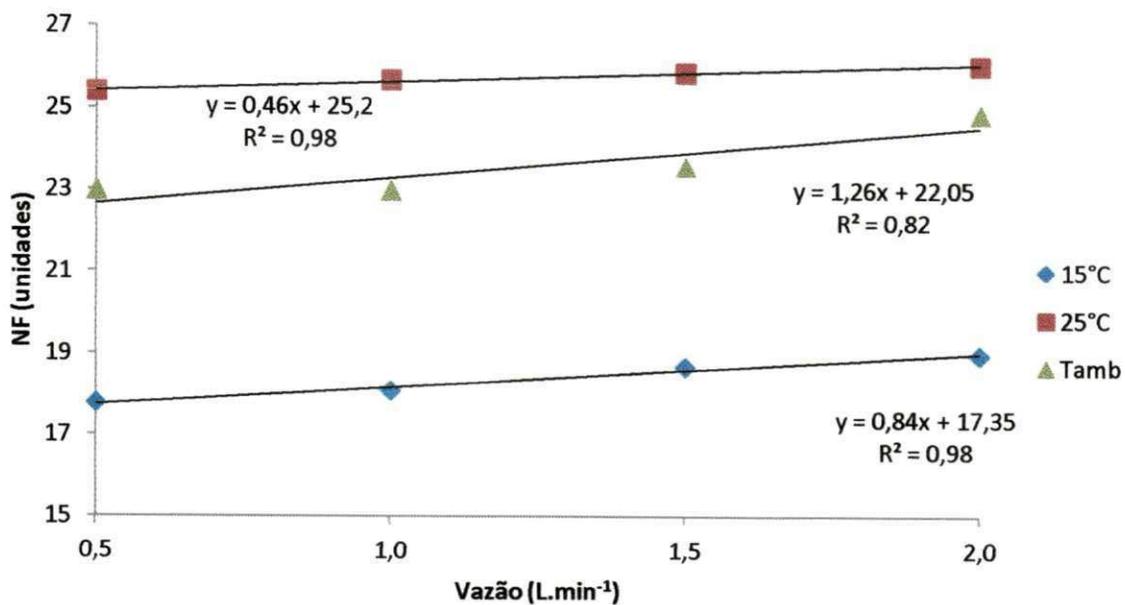


FIGURA 21. Número de folhas para vazão crescente, para as temperaturas ambiente, 15°C e 25°C, da solução nutritiva.

A altura de planta é apresentada na Figura 22, sendo que esta aumentou com vazões crescentes, irrigadas com solução nutritiva em temperatura ambiente e em 25°C. Para a temperatura da solução nutritiva em 15°C, o aumento da vazão promoveu uma redução no número de folhas.

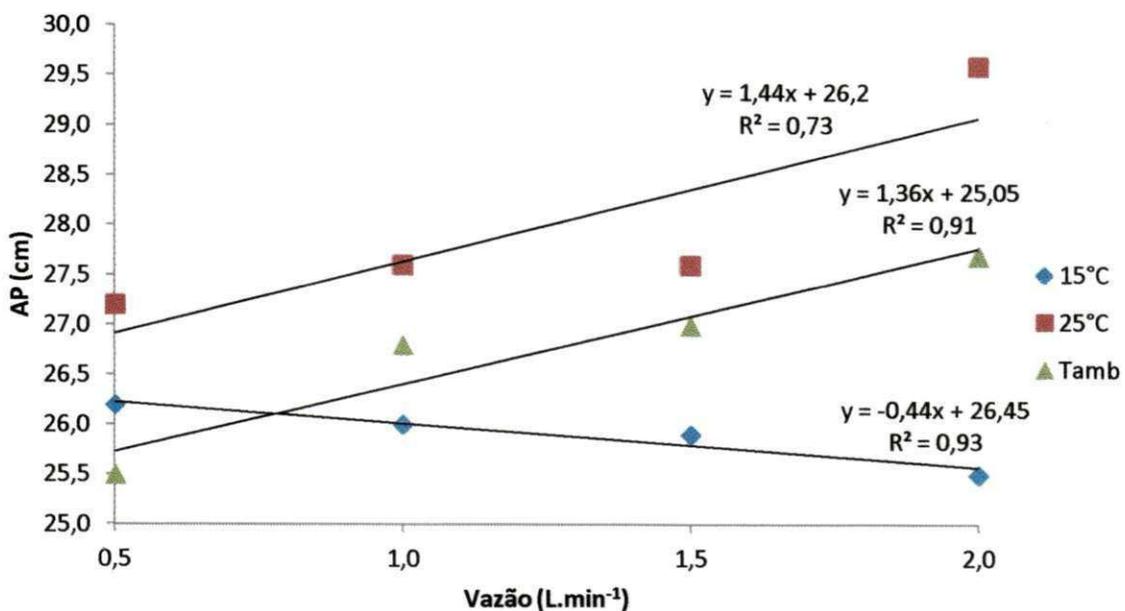


FIGURA 22. Altura da planta (AP) em função da vazão para as temperaturas ambiente, 15°C e 25°C, da solução nutritiva.

No comportamento do diâmetro de caule, devido às vazões utilizadas na irrigação da alfaca, apresentado na Figura 23, observou-se que o diâmetro de caule aumentou com vazões crescentes.

O comportamento do diâmetro de caule, para as temperaturas da solução nutritiva em 15°C e em temperatura ambiente, foi muito semelhante; para solução nutritiva a 25°C, o diâmetro do caule foi maior. O coeficiente de determinação para a temperatura de 15°C foi 0,29, demonstrando ser um ajuste inadequado do modelo. Para as plantas irrigadas com solução nutritiva em temperatura ambiente e a 25°C, os coeficientes de determinação foram 0,93 e 0,96, respectivamente, demonstrando melhor ajuste do modelo.

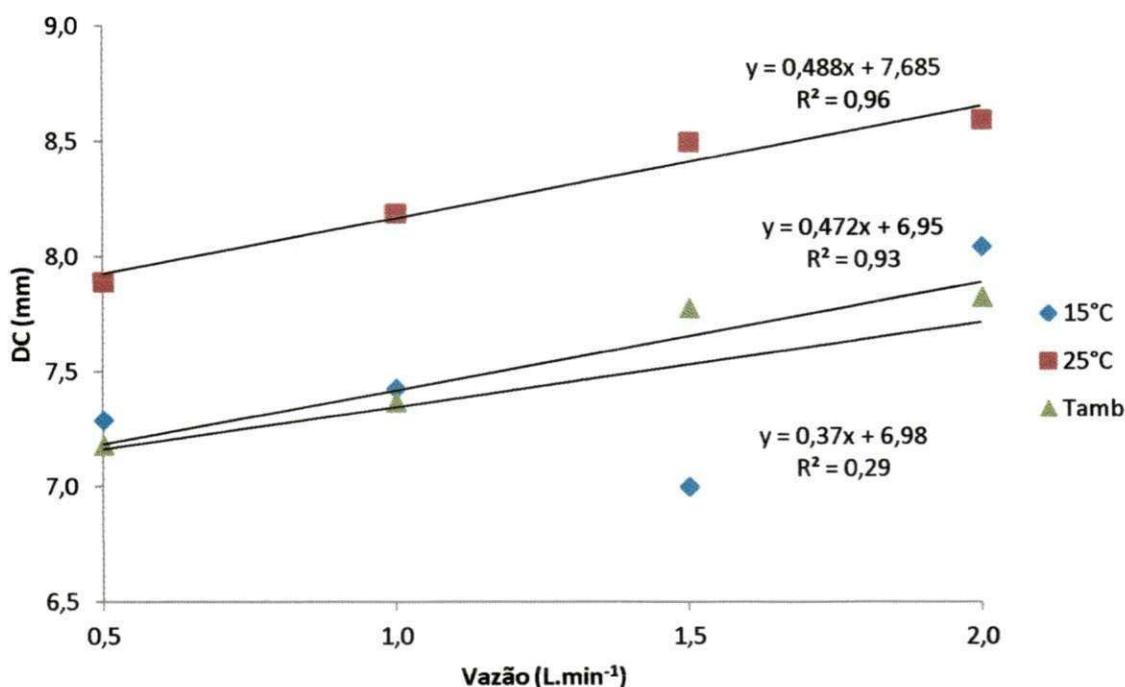


FIGURA 23. Diâmetro de caule (DC) em função da vazão para as temperaturas ambiente, 15°C e 25°C da solução nutritiva.

A vazão da solução nutritiva influenciou o diâmetro de caule e o número de folhas, ou seja, quanto maior a vazão, maior foi o diâmetro de caule e o número de folhas. Os maiores valores foram obtidos para as plantas irrigadas com solução nutritiva a 25°C.

Para a altura de planta, observou-se a influência da solução nutritiva a 25°C e em temperatura ambiente. Quanto maior a vazão, maior foi a altura de planta. Para a temperatura



a 15°C da solução nutritiva, esta influência foi inversa, ou seja, quanto maior a vazão, menor foi a altura de planta. Os resultados obtidos de diâmetro de caule, altura de planta e número de folhas são semelhantes aos obtidos por Furtado (2008) e Santos *et al.* (2011).

#### 5.4.2 Dados biométricos de massa fresca

Aos 56 dias após a semeadura, foram realizadas as medições de massa fresca de caule, massa fresca de raiz, massa fresca foliar, massa fresca parte aérea e massa fresca total. Ocorreu interação entre as variáveis, vazão e temperatura, para os dados analisados, porém, para a massa fresca de caule não ocorreu interação e não houve significância para a variável temperatura (Tabela 10).

TABELA 10. Resultado da análise de regressão, das relações entre massa fresca de caule (MFC), massa fresca de raiz (MFR), massa fresca de folhas (MFF), massa fresca parte aérea (MFPA), e massa fresca total (MFT), e as variáveis vazão e temperatura da solução nutritiva.

Parâmetro Biométrico	ANOVA	Parâmetros de Regressão			
	Teste F	Nome	Coefficiente	t	r <sup>2</sup>
MFC	0,75 <sup>NS</sup>	Vazão	0,462	18,79**	0,51
		Temperatura	730,651	-0,35 <sup>NS</sup>	
		Constante	0,736		
MFR	107,3**	Vazão	12,675	8,33**	0,60
		Temperatura	2,5075	12,03**	
		Constante	-17,187		
MFF	362,4**	Vazão	41,1800	15,12**	0,83
		Temperatura	8,3038	22,27**	
		Constante	-15,598		
MFPA	354,63**	Vazão	41,087	14,12**	0,83
		Temperatura	8,9931	22,58**	
		Constante	-17,1452		
MFT	355,01**	Vazão	53,762	14,37**	0,83
		Temperatura	11,5006	22,44**	
		Constante	-34,33		

Teste F = análise de variância (para interação); t = teste "t" estatístico; r<sup>2</sup> = coeficiente de determinação

\*\*.. significativo ao nível de 1% de probabilidade;

<sup>NS</sup> .. não significativo ao nível de 5% de probabilidade;

O desdobramento para massa fresca de caule, massa fresca de raiz, massa fresca foliar, massa fresca parte aérea, massa fresca total, e as variáveis, vazão e temperatura, da solução nutritiva encontra-se exposto na Tabela 11, a seguir.

TABELA 11. Valores médios de massa fresca de caule (MFC), massa fresca de raiz (MFR), massa fresca de folhas (MFF), massa fresca parte aérea (MFPA), e massa fresca total (MFT), e as variáveis, vazão e temperatura, da solução nutritiva.

Vazão (L.min <sup>-1</sup> )	0,5	1,0	1,5	2,0	CV(%)
<b>Temperatura (°C)</b>		<b>MFC (g)</b>			
15	7,47aB	7,44aB	7,69aB	7,86aB	1,58
25	14,93aA	14,61aA	14,29aA	14,22aA	2,58
T <sub>amb</sub>	14,38aA	14,28aA	14,18aA	14,08aA	1,12
CV(%)	9,56	8,78	10,56	14,51	
<b>Temperatura (°C)</b>		<b>MFF (g)</b>			
15	137,61dC	147,33cC	156,95bC	166,64aC	11,56
25	198,50dA	223,58cA	246,64bA	271,97aA	21,12
T <sub>amb</sub>	176,82dB	204,90cB	233,81bB	259,19aB	14,52
CV(%)	12,56	18,96	21,12	22,15	
<b>Temperatura (°C)</b>		<b>MFPA (g)</b>			
15	145,07dC	154,77cC	164,65bC	174,51aB	5,68
25	213,43dA	237,87cA	261,25bA	286,19aA	9,56
T <sub>amb</sub>	190,71dB	219,19cB	247,99bB	273,27aA	11,87
CV(%)	12,56	14,52	13,96	18,95	
<b>Temperatura (°C)</b>		<b>MFR (g)</b>			
15	29,32bC	30,66bC	37,52aB	37,60aC	9,85
25	41,61dA	54,34cA	63,60bA	75,85aA	12,56
T <sub>amb</sub>	34,85cB	47,89bB	63,96aA	68,48aB	8,25
CV(%)	7,45	8,05	12,78	14,63	
<b>Temperatura (°C)</b>		<b>MFT (g)</b>			
15	174,41dC	185,44cC	202,17bC	212,11aC	5,98
25	255,04cA	301,48bA	337,10aA	340,50aA	11,39
T <sub>amb</sub>	225,56dB	267,02cB	316,48bB	337,23aB	12,85
CV(%)	7,15	15,85	6,54	7,98	

Médias de tratamentos seguidas da mesma letra, minúscula na mesma linha e maiúscula na mesma coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

O maior valor médio para massa fresca de caule foi de 14,93 gramas, obtido quando o cultivo recebeu irrigação com solução nutritiva em temperatura de 25°C e vazão de 0,5 L.min<sup>-1</sup>, 100,7% maior que o menor valor, 7,44 gramas, obtido quando o cultivo foi irrigado com solução nutritiva com temperatura de 15°C e vazão de 1,0 L.min<sup>-1</sup>.

O maior valor médio de massa fresca de raiz foi de 75,85 gramas, no cultivo irrigado com solução nutritiva em temperatura de 25°C e vazão de 2,0 L.min<sup>-1</sup>, 158,7% maior que o menor valor, 29,32 gramas, obtido no cultivo irrigado com solução nutritiva a 15°C e vazão de 0,5 L.min<sup>-1</sup>.

Para massa fresca foliar, o maior valor médio foi de 271,97 gramas, obtido quando o cultivo recebeu irrigação com solução nutritiva em temperatura de 25°C e vazão de 2,0 L.min<sup>-1</sup>, 97,6% maior que o menor valor, 137,61 gramas, obtido quando o cultivo foi irrigado com solução nutritiva com temperatura de 15°C e vazão de 0,5 L.min<sup>-1</sup>.

O maior valor médio de massa fresca da parte aérea foi de 286,19 gramas, obtido quando o cultivo recebeu irrigação com solução nutritiva em temperatura de 25°C e vazão de 2,0 L.min<sup>-1</sup>, 97,3% maior que o menor valor, 145,07 gramas, obtido quando o cultivo foi irrigado com solução nutritiva com temperatura de 15°C e vazão de 0,5 L.min<sup>-1</sup>.

Em relação à massa fresca total, o maior valor médio foi de 340,50 gramas, medido no cultivo irrigado com solução nutritiva a 25°C e vazão de 2,0 L.min<sup>-1</sup>, 95,2% maior que o menor valor, 174,41 gramas, obtido quando o cultivo foi irrigado com solução nutritiva com temperatura de 15°C e vazão de 0,5 L.min<sup>-1</sup>.

Esses dados são inferiores aos encontrados por Aprigio (2008), Aprigio (2013), Furtado (2008) e Santos *et al.* (2011).

Para analisar o comportamento da produção de massa fresca de raiz, massa fresca foliar, massa fresca parte aérea e massa fresca total em relação às variáveis, temperatura e vazão, da solução nutritiva, foram realizadas as regressões.

A produção de massa fresca da raiz, devido às vazões utilizadas na irrigação da alface, é apresentada na Figura 24. Observou-se que a produção de massa fresca da raiz aumentou com vazões crescentes.

A produção de massa fresca da raiz, para as temperaturas da solução nutritiva em 25°C e em temperatura ambiente, foi muito semelhante. Nas plantas irrigadas com solução nutritiva a 15°C, observou-se a menor produção de massa fresca da raiz.

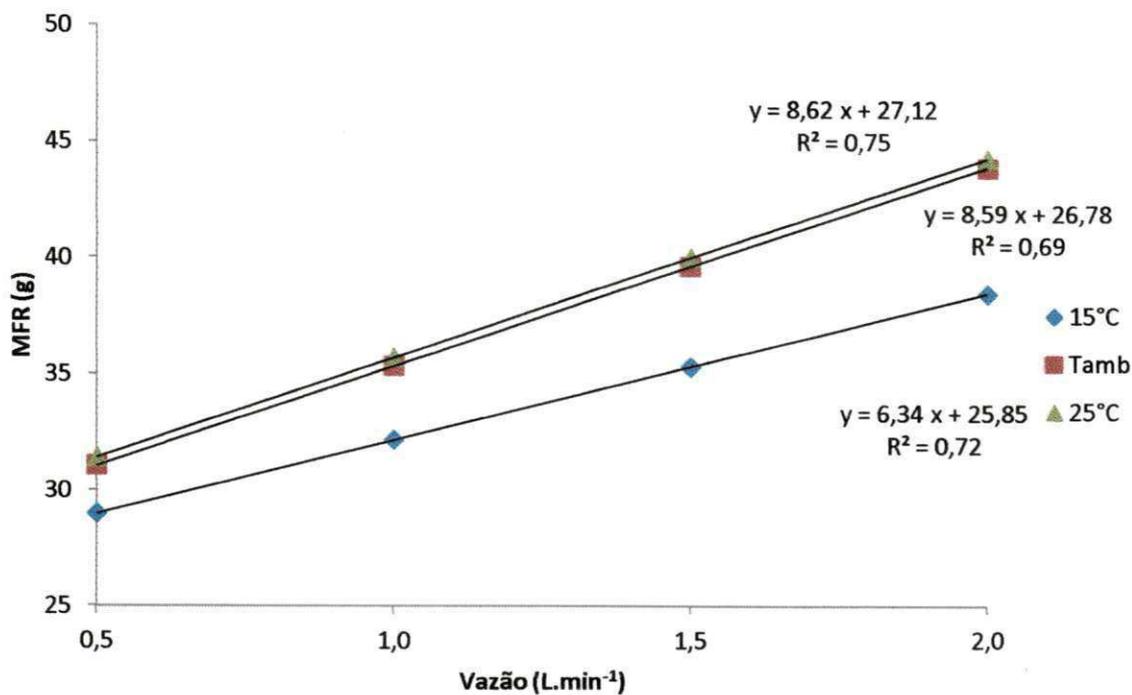


FIGURA 24. Produção de massa fresca de raiz (MFR) em função da vazão para as temperaturas ambiente, 15°C e 25°C da solução nutritiva.

A produção de massa fresca foliar, apresentada na Figura 25, devido às vazões utilizadas na irrigação da alface, aumentou com vazões crescentes.

A produção de massa fresca foliar da alface irrigada com solução nutritiva nas temperaturas, 25°C e ambiente, foi semelhante. As plantas irrigadas com solução nutritiva a 25°C apresentaram os maiores valores de massa fresca foliar; já as que receberam irrigação a 15°C, os menores. Estas, portanto, apresentaram menor ganho de massa fresca foliar para vazões crescentes.

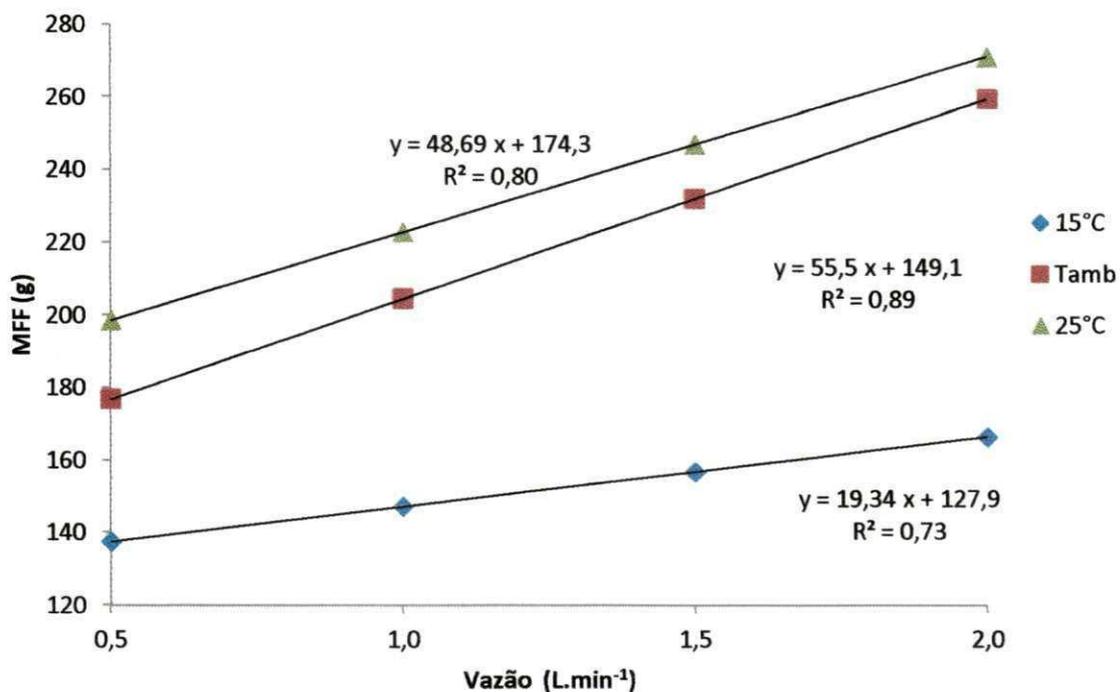


FIGURA 25. Produção de massa fresca foliar (MFF), em função da vazão para as temperaturas ambiente, 15°C e 25°C da solução nutritiva.

Conforme a Figura 26, o experimento mostrou que a produção de massa fresca da parte aérea aumentou com vazões crescentes da solução nutritiva em todas as temperaturas e que, nas temperaturas ambiente e 25°C, os valores foram próximos. Já nas plantas irrigadas com solução nutritiva a 15°C, a produção de massa fresca da parte aérea foi inferior em relação aos demais tratamentos.

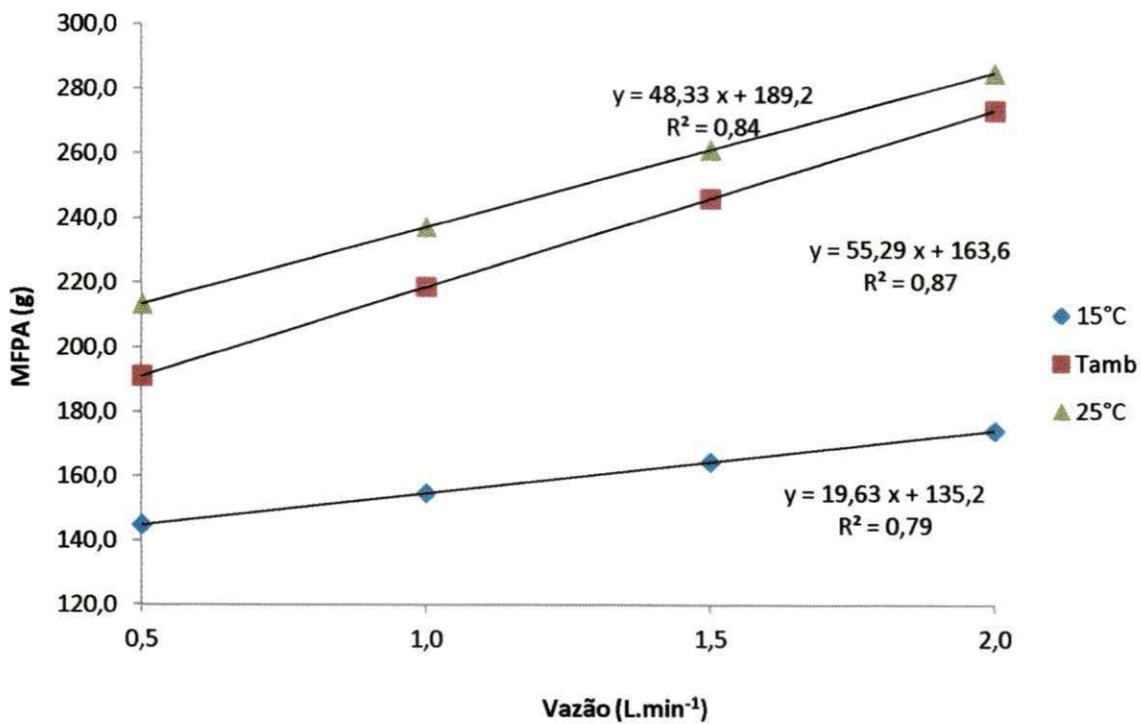


FIGURA 26. Produção de massa fresca da parte aérea (MFPA), em função da vazão, para as temperaturas ambiente, 15°C e 25°C da solução nutritiva.

A produção de massa fresca total, apresentada na Figura 27, recebeu influência das vazões utilizadas no processo de irrigação, aumentando com vazões crescentes, sendo que as plantas irrigadas com solução nutritiva em temperatura ambiente e a 25°C apresentaram acréscimo mais acentuado desta massa.

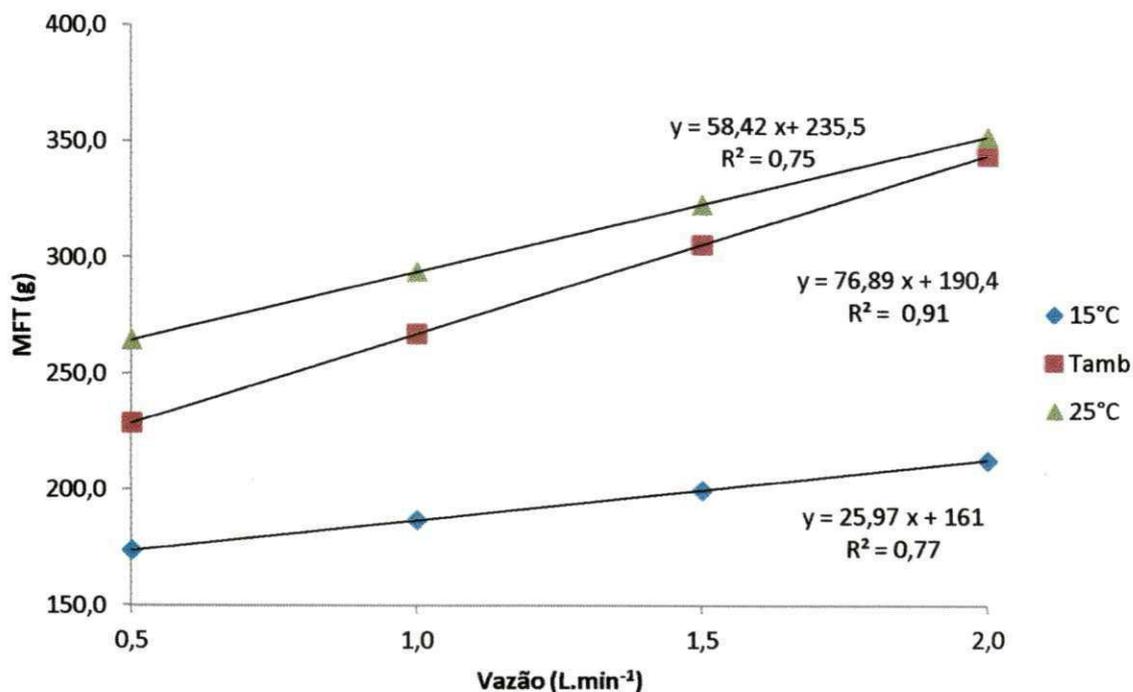


FIGURA 27. Produção de massa fresca total (MFT), em função da vazão para as temperaturas ambiente, 15°C e 25°C da solução nutritiva.

Observou-se, portanto, que a produção de massa fresca de raiz, massa fresca foliar, massa fresca da parte aérea e massa fresca total, quando submetidas as plantas a vazões crescentes, resultou no aumento dessas massas, sendo este aumento mais acentuado nos cultivos que foram irrigados com solução nutritiva a 25°C e em temperatura ambiente.

Este resultado é semelhante aos obtidos por Furtado (2008), Aprigio (2008) e Santos *et al.* (2011) que analisaram a influência da vazão na produção de massa fresca.

#### 5.4.3 Dados biométricos de massa seca

Na Tabela 12, são apresentados os resultados para o teste F, parâmetros de regressão, teste t e coeficiente de determinação para massa seca de caule, massa seca de raiz, massa seca foliar, massa seca parte aérea e massa seca total em relação às variáveis, vazão e temperatura, da solução nutritiva.

TABELA 12. Resultado da análise de regressão para massa seca de caule, massa seca de raiz, massa seca de folhas, massa seca parte aérea, e massa seca total em relação às variáveis, vazão e temperatura, da solução nutritiva.

Parâmetro Biométrico	ANOVA	Parâmetros de Regressão			
	Teste F	Nome	Coefficiente	t	r <sup>2</sup>
MSC	0,23 <sup>NS</sup>	Vazão	0,2940	0,89 <sup>NS</sup>	0,59
		Temperatura	0,0699	15,44 <sup>**</sup>	
		Constante	-0,4518		
MSR	50,60 <sup>**</sup>	Vazão	2,487	9,71 <sup>**</sup>	0,59
		Temperatura	0,3745	10,68 <sup>**</sup>	
		Constante	-1,4468		
MSF	76,78 <sup>**</sup>	Vazão	4,1372	9,03 <sup>**</sup>	0,52
		Temperatura	0,5326	8,49 <sup>**</sup>	
		Constante	-2,658		
MSPA	82,90 <sup>**</sup>	Vazão	4,4313	9,14 <sup>**</sup>	0,53
		Temperatura	0,6025	9,07 <sup>**</sup>	
		Constante	-3,110		
MST	106,89 <sup>**</sup>	Vazão	6,9181	10,50 <sup>**</sup>	0,60
		Temperatura	0,9770	10,18 <sup>**</sup>	
		Constante	-4,5570		

Teste F = análise de variância (para interação); t = teste "t" estatístico; r<sup>2</sup> = coeficiente de determinação  
<sup>\*\*</sup>..significativo ao nível de 1% de probabilidade; <sup>NS</sup>.. não significativo ao nível de 5% de probabilidade;

A Tabela 13 apresenta o desdobramento para produção de massa seca de caule, massa seca de raiz, massa seca foliar, massa seca parte aérea, e massa seca total, e as variáveis, vazão e temperatura, da solução nutritiva.

TABELA 13. Valores médios de massa seca de caule, massa seca de raiz, massa seca foliar, massa seca parte aérea, massa seca total, em função das variáveis, vazão e temperatura, da solução nutritiva.

Vazão (L.min <sup>-1</sup> )	0,5	1,0	1,5	2,0	CV(%)
<b>Temperatura (°C)</b>	<b>MSC (g)</b>				
15	0,69cC	0,84bC	0,98aC	1,01aB	1,25
25	1,54aA	1,56aA	1,60aB	1,61aA	0,56
T <sub>amb</sub>	0,98cB	1,28bB	1,81aA	1,82aA	6,58
CV(%)	4,21	3,52	8,12	2,68	
<b>Temperatura (°C)</b>	<b>MSR (g)</b>				
15	5,73cC	6,48bC	7,43aB	7,89aC	3,25
25	8,22bA	10,89aA	11,56aA	11,84aA	4,15
T <sub>amb</sub>	6,64cB	7,33cB	12,00bA	13,75aA	8,14
CV(%)	6,58	2,78	6,79	12,11	
<b>Temperatura (°C)</b>	<b>MSPA (g)</b>				
15	7,46cC	9,34bB	11,10aC	11,11aC	9,58
25	13,51bA	16,09aA	16,38aB	17,14aB	6,58
T <sub>amb</sub>	11,12dB	15,24cA	21,52bA	23,72aA	14,23
CV(%)	9,15	8,01	15,26	8,65	
<b>Temperatura (°C)</b>	<b>MSF (g)</b>				
15	6,77cB	8,51bB	10,10aB	10,11aC	7,52
25	11,96bA	14,53aA	14,76aA	15,53aB	3,96
T <sub>amb</sub>	10,13dA	13,95cA	14,70bA	21,89aA	16,52
CV(%)	4,44	6,25	1,96	8,98	
<b>Temperatura (°C)</b>	<b>MST (g)</b>				
15	13,19cC	15,83bC	18,55aC	18,99aC	5,87
25	21,73cA	27,27bA	27,66abB	28,95aB	6,98
T <sub>amb</sub>	17,76cB	22,57bB	35,27aA	35,72aA	19,11
CV(%)	5,91	6,98	14,25	16,21	

Médias de tratamentos seguidas da mesma letra, minúscula na mesma linha e maiúscula na mesma coluna, não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

A maior produção média de massa seca de caule foi de 1,82 gramas, obtido no cultivo irrigado com solução nutritiva em temperatura ambiente e vazão de 2,0 L.min<sup>-1</sup>, 164,3% maior que o menor valor, 0,69 gramas, obtido quando o cultivo foi irrigado com solução nutritiva em temperatura de 15°C e vazão de 0,5 L.min<sup>-1</sup>.

A maior média de produção de massa seca de raiz foi de 5,73 gramas, obtido no cultivo irrigado com solução nutritiva em temperatura ambiente e vazão de 2,0 L.min<sup>-1</sup>, 158,7% maior que o menor valor, 13,57 gramas, obtido no cultivo irrigado com solução nutritiva a 15°C e vazão de 0,5 L.min<sup>-1</sup>.

Em relação à produção de massa seca foliar, a maior média foi de 21,89 gramas, obtido no cultivo que recebeu irrigação com solução nutritiva em temperatura ambiente e vazão de 2,0 L.min<sup>-1</sup>, 97,6% maior que o menor valor, 6,77 gramas, obtido quando o cultivo foi irrigado com solução nutritiva com temperatura de 15°C e vazão de 0,5 L.min<sup>-1</sup>.

O maior valor para massa seca da parte aérea foi de 23,72 gramas, obtido no cultivo irrigado com solução nutritiva em temperatura ambiente e vazão de 2,0 L.min<sup>-1</sup>, 97,3% maior que o menor valor, 7,46 gramas, obtido quando o cultivo foi irrigado com solução nutritiva com temperatura de 15°C e vazão de 0,5 L.min<sup>-1</sup>.

Para a produção média de massa seca total, a maior medida foi de 35,72 gramas, obtida quando o cultivo recebeu irrigação com solução nutritiva em temperatura ambiente e vazão de 2,0 L.min<sup>-1</sup>, 95,2% maior que o menor valor, 13,19 gramas, que o cultivo irrigado com solução nutritiva a 15°C e vazão de 0,5 L.min<sup>-1</sup>.

Esses dados são inferiores aos encontrados por Aprigio (2008), Aprigio (2013), Furtado (2008) e Santos *et al.* (2011).

Para analisar a influência das variáveis, vazão e temperatura, da solução nutritiva no cultivo da alface, os dados de massa seca foram submetidos à regressão.

Apresentada na Figura 28, a produção de massa seca de raiz, devido às vazões utilizadas na irrigação da alface, aumentou para vazões crescentes. Para as temperaturas da solução nutritiva, 25°C e temperatura ambiente, foi semelhante, sendo que, a 25°C, apresentou maior massa seca de raiz, e a 15°C, menor, resultados estes semelhantes aos obtidos por Furtado (2008) e Santos *et al.* (2011).

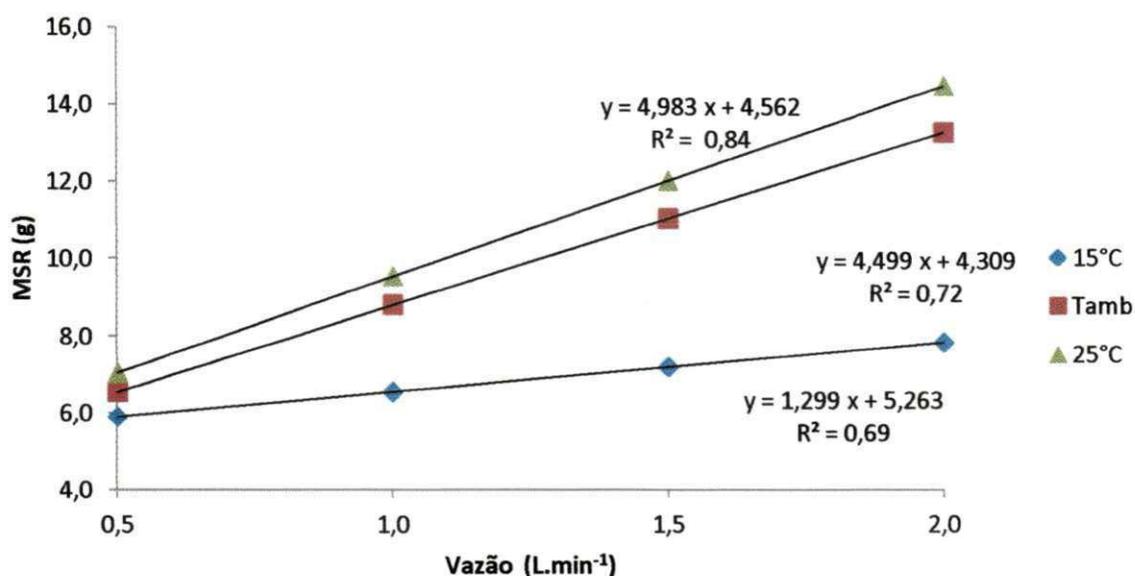


FIGURA 28. Produção de massa seca de raiz, em função da vazão para as temperaturas ambiente, 15°C e 25°C, da solução nutritiva.

Conforme a Figura 29, a produção de massa seca foliar foi influenciada pelas vazões utilizadas na irrigação da alface, observando-se que a produção desta massa aumentou com vazões crescentes e foi inferior quando a irrigação aconteceu com solução nutritiva a 15°C.

A irrigação das plantas com solução nutritiva em temperatura ambiente promoveu os melhores resultados para as vazões de 1,5 e 2,0 L.min<sup>-1</sup>. Para a vazão da solução nutritiva a 0,5 L.min<sup>-1</sup>, o melhor resultado foi observado quando o cultivo foi irrigado com solução nutritiva a 25°C.

Este comportamento ocorre também com a massa seca da parte aérea e com a massa seca total (Figuras 29 e 30).

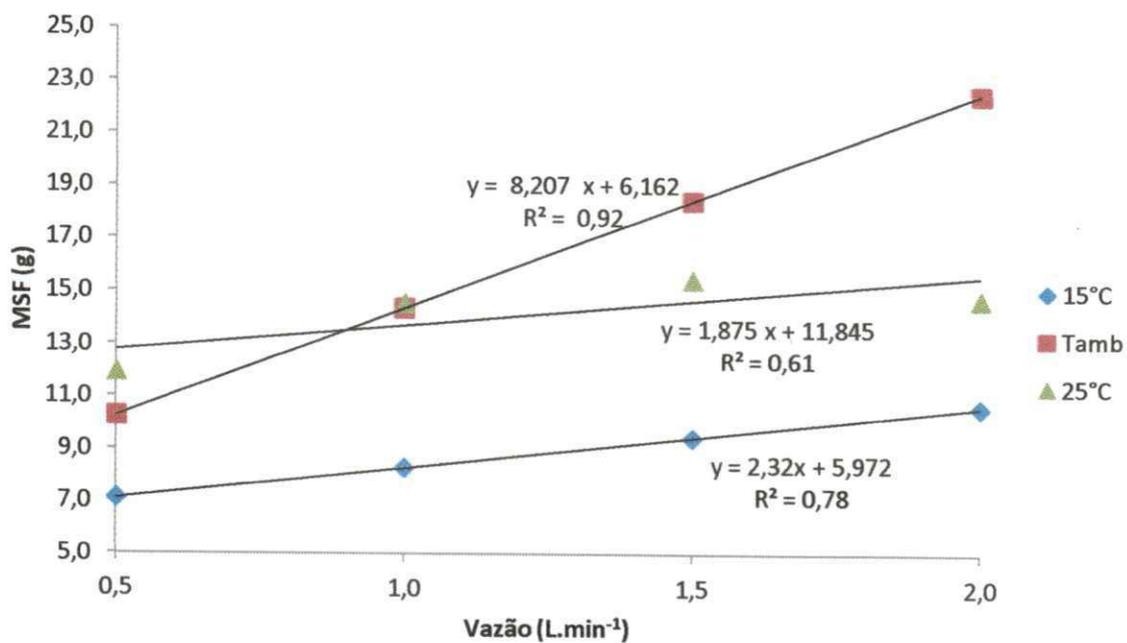


FIGURA 29. Produção de massa seca foliar, em função da vazão, para as temperaturas ambiente, 15°C e 25°C da solução nutritiva.

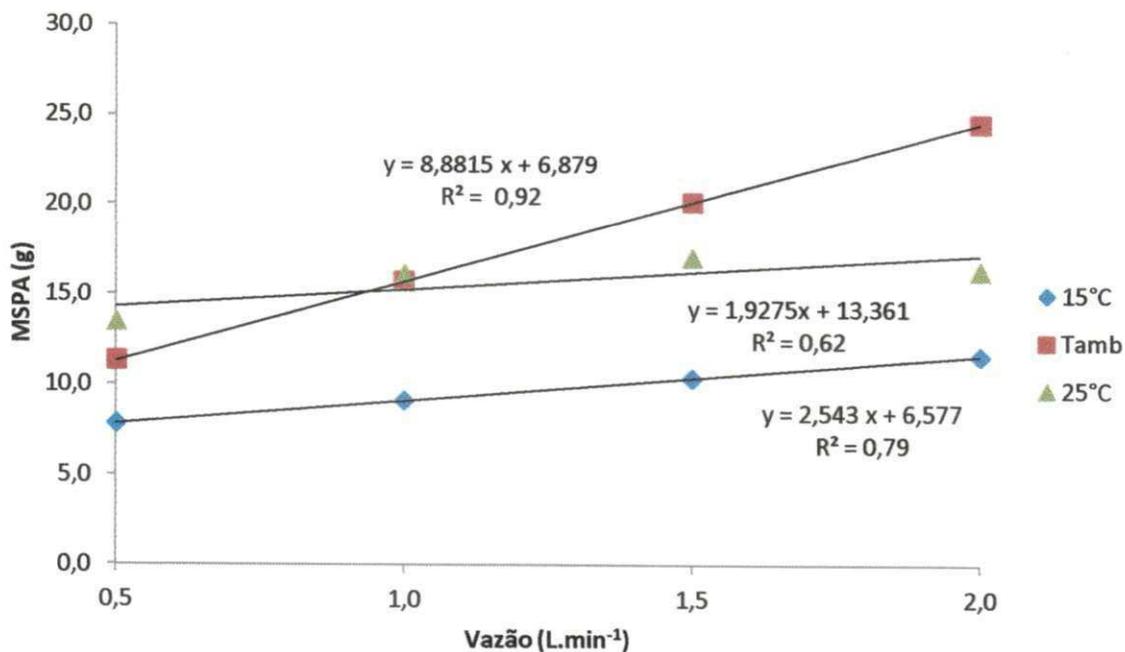


FIGURA 30. Produção de massa seca da parte aérea, em função da vazão, para as temperaturas ambiente, 15°C e 25°C da solução nutritiva.

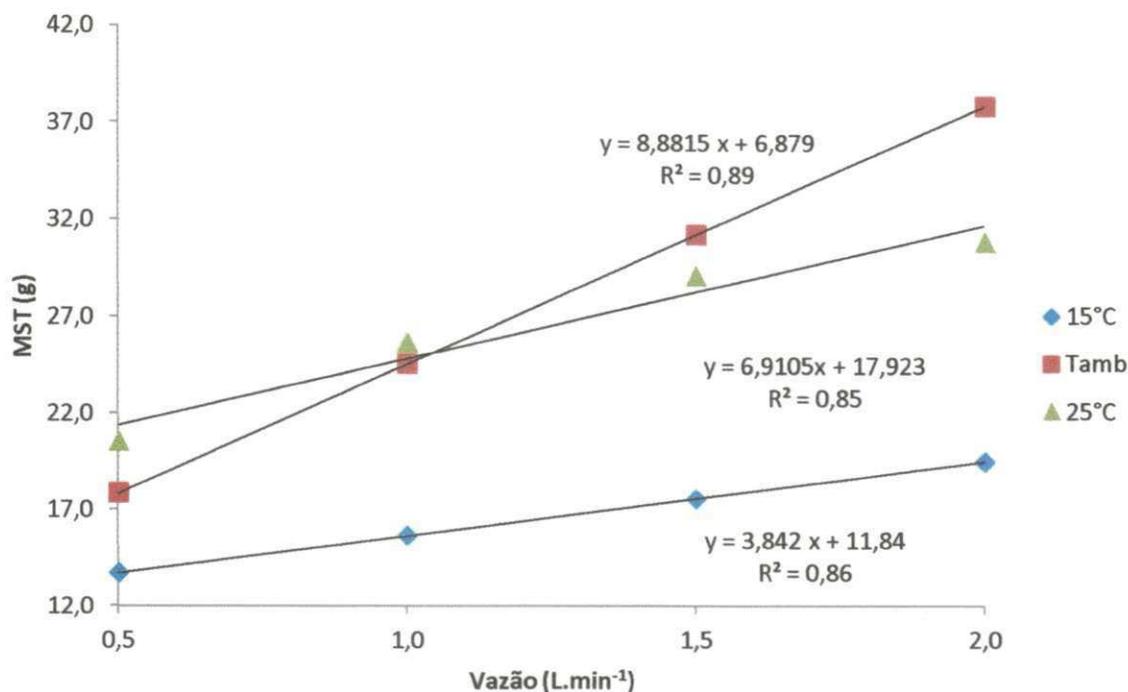


FIGURA 31. Produção de massa seca total, em função da vazão, para as temperaturas ambiente, 15°C e 25°C da solução nutritiva.

Na análise dos dados biométricos, constatou-se a influência da vazão na produção de massa seca de raiz, massa seca de folhas, massa seca parte aérea e massa seca total, ou seja, o aumento da vazão da solução nutritiva favoreceu o aumento da massa seca e da massa fresca da alface.

Em relação às vazões utilizadas, foram verificados efeitos crescentes na produção de massa seca de raiz, massa seca de folhas, massa seca parte aérea e massa seca total, em nível de 5% de significância em relação às quatro vazões aplicadas.

O comportamento da massa seca, quando submetido a vazões crescentes, teve resultados semelhantes aos obtidos por Furtado (2008), Aprigio (2008) e Santos *et al.* (2011), os quais analisaram a influência da vazão na produção de massa seca da alface.

## 5.5 TAXA DE CRESCIMENTO

### 5.5.1 Taxa de crescimento em relação ao número de folhas

A Figura 32 mostra o gráfico de regressão linear para o comportamento da taxa de crescimento absoluto em relação ao número de folhas da alface irrigada com solução nutritiva a 15°C.

Os coeficientes de correlação, para todas as medições, foram superiores a 0,96, demonstrando que o modelo é adequado para descrever o comportamento da taxa de crescimento absoluto da alface, considerando o número de folhas e vazões crescentes.

Observou-se que a vazão da solução nutritiva influencia na taxa de crescimento absoluto e que esta, considerando o número de folhas, foi maior na primeira semana após o transplante e reduziu até a última semana.

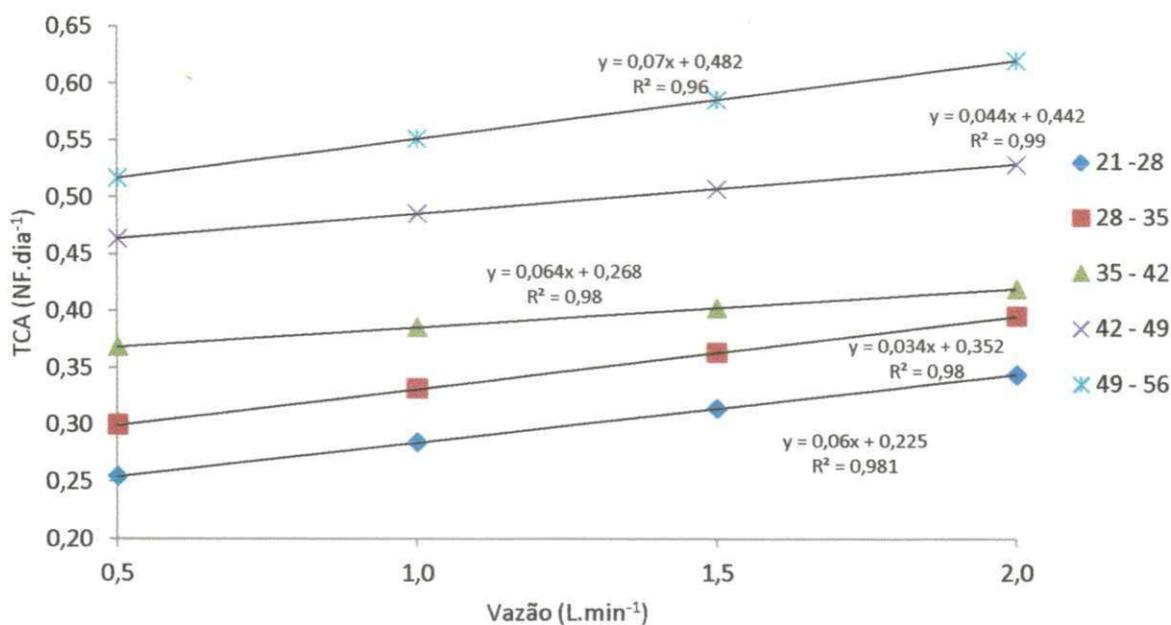


FIGURA 32. Taxa de crescimento absoluto do número de folhas da alface irrigada com solução nutritiva a 15°C, em função da vazão.

Na Figura 33, são apresentados os gráficos de regressão linear para o comportamento da taxa de crescimento relativo ao número de folhas da alface, irrigada com solução nutritiva a 15°C.

Constatou-se que os coeficientes de correlação foram elevados, demonstrando necessidade de ajustes no modelo da taxa de crescimento relativo e que a vazão da solução nutritiva influenciou esta taxa na primeira e na segunda semanas após o transplântio, não havendo influência da vazão sobre a taxa de crescimento relativa na terceira, quarta e quinta semanas. Em relação ao número de folhas, esta taxa foi menor na primeira semana após o transplântio e aumentou até a última semana de cultivo.

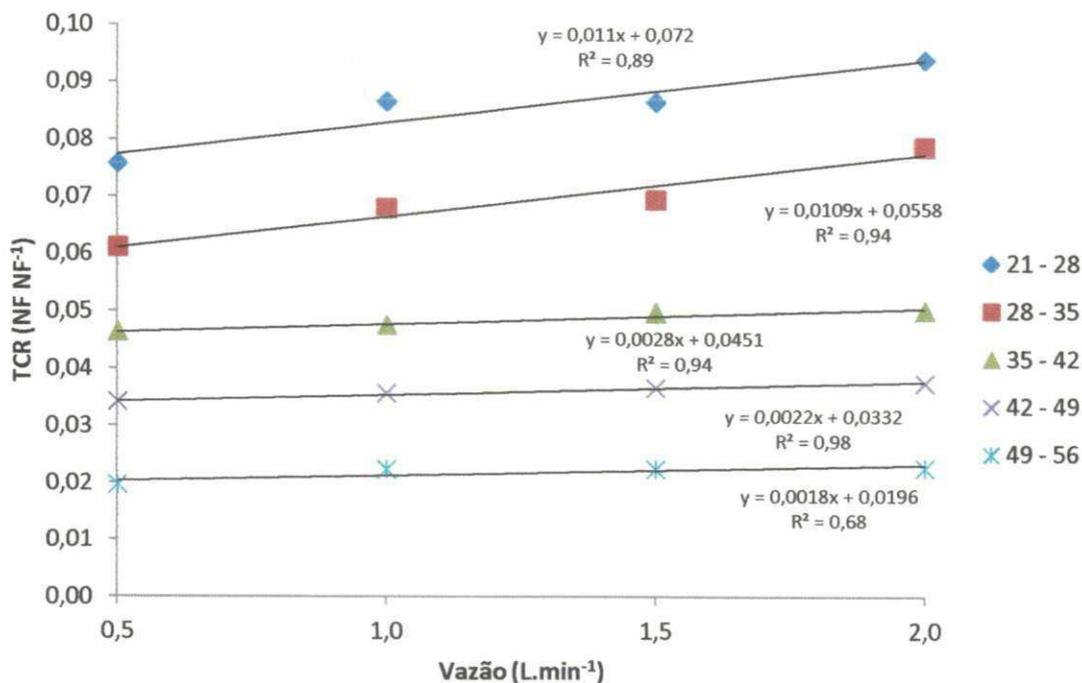


FIGURA 33. Taxa de crescimento relativo de número de folhas da alface irrigada com solução nutritiva a 15°C, em função da vazão.

Na Figura 34, são apresentados os gráficos de regressão linear para o comportamento da taxa de crescimento absoluto em relação ao número de folhas da alface, irrigada com solução nutritiva a 25°C.

Os coeficientes de correlação foram elevados, demonstrando o ajuste do modelo para a taxa de crescimento relativo da alface, considerando o número de folhas em relação à vazão da solução nutritiva.

Observou-se que a vazão da solução nutritiva influenciou a taxa de crescimento absoluto em todas as cinco semanas após o transplante e que, em relação ao número de folhas, esta taxa foi menor na primeira semana após o transplante e aumentou até a última semana de cultivo.

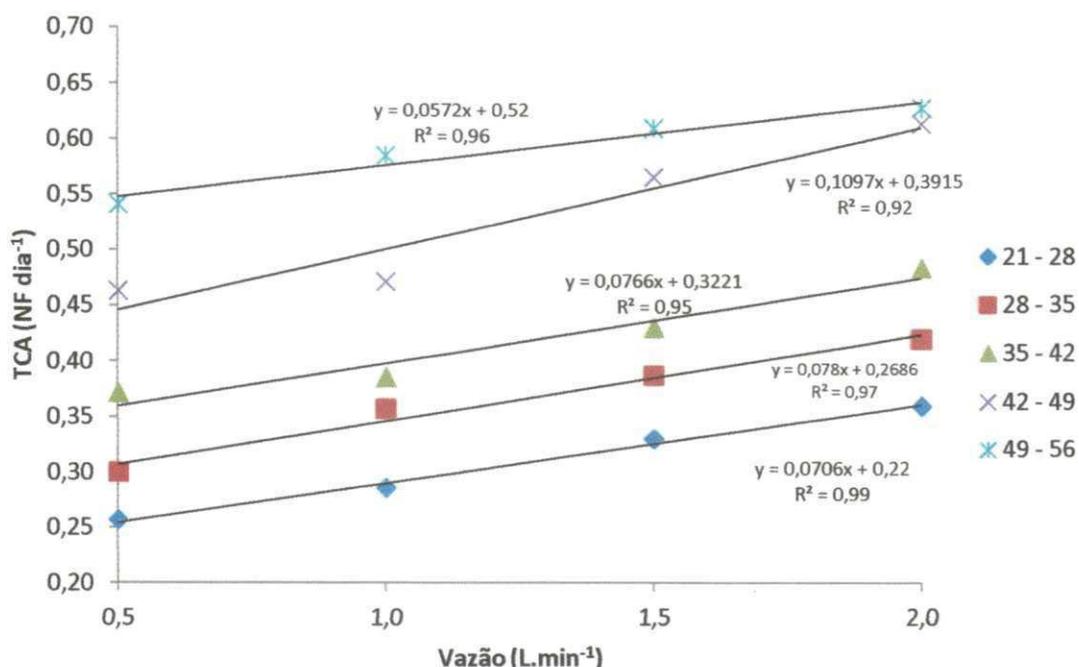


FIGURA 34. Taxa de crescimento absoluto de número de folhas da alface irrigada com solução nutritiva a 25°C, em função da vazão.

Na Figura 35, o gráfico de regressão linear para o comportamento da taxa de crescimento relativo, em relação ao número de folhas da alface irrigada com solução nutritiva a 25°C, demonstra que, na primeira e segunda semanas após o transplante, a vazão da solução nutritiva influenciou a taxa de crescimento, não ocorrendo influência desta na quarta e quinta semanas. Assim, a taxa de crescimento relativo da alface, considerando o número de folhas, foi maior na primeira semana após o transplante e reduziu até a última semana de cultivo.

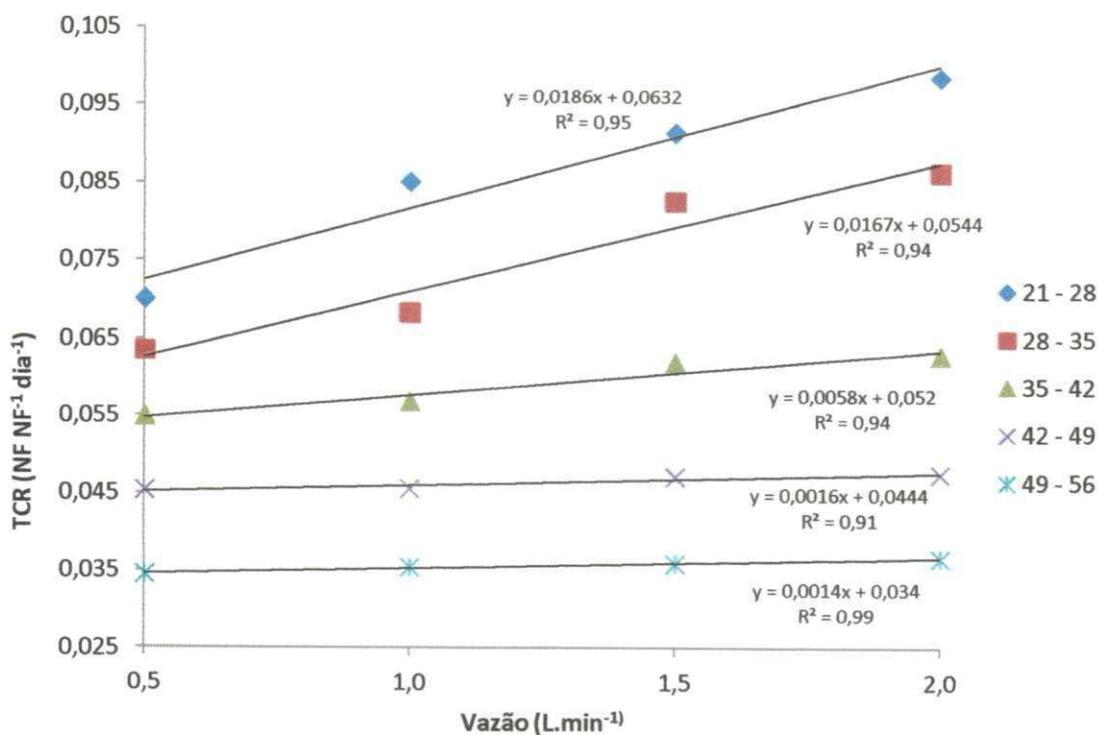


FIGURA 35. Taxa de crescimento relativo de número de folhas da alface irrigada com solução nutritiva a 25°C, em função da vazão.

Na Figura 36, é apresentado o gráfico de regressão linear para o comportamento da taxa de crescimento absoluto, em relação ao número de folhas da alface, irrigada com solução nutritiva em temperatura ambiente. Verifica-se que os coeficientes de correlação foram elevados, demonstrando que o modelo teve ajuste para a taxa de crescimento relativo da alface considerando o número de folhas.

Observou-se que a vazão da solução nutritiva influenciou a taxa de crescimento absoluto em todas as cinco semanas de cultivo após o transplante e que esta taxa, considerando o número de folhas em relação à vazão, foi menor na primeira semana após o transplante e progrediu até a última semana do cultivo.

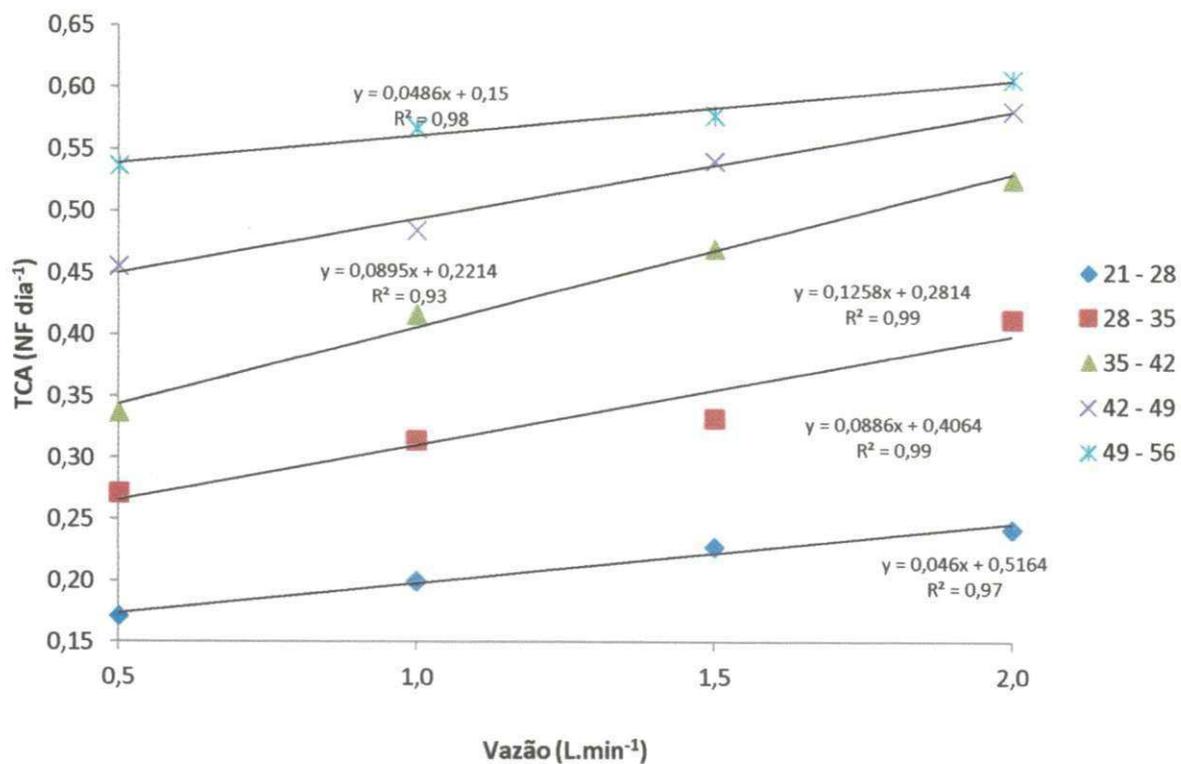


FIGURA 36. Taxa de crescimento absoluto de número de folhas da alface irrigada com solução nutritiva em temperatura ambiente, em função da vazão.

A Figura 37 apresenta o gráfico de regressão linear para o comportamento da taxa de crescimento relativo em relação ao número de folhas da alface irrigada com solução nutritiva em temperatura ambiente, cujo coeficiente de correlação para todas as medições foi superior a 0,95, demonstrando que o modelo é adequado para descrever o comportamento da taxa de crescimento relativo da alface considerando o número de folhas e as vazões.

Observou-se que a vazão da solução nutritiva influenciou a taxa de crescimento relativo nas três primeiras semanas após o transplante e que esta influência foi mais acentuada na última semana de cultivo. Neste caso, a vazão pouco influenciou a taxa de crescimento relativo e esta taxa, considerando o número de folhas, foi menor na primeira semana e aumentou até a última coleta.

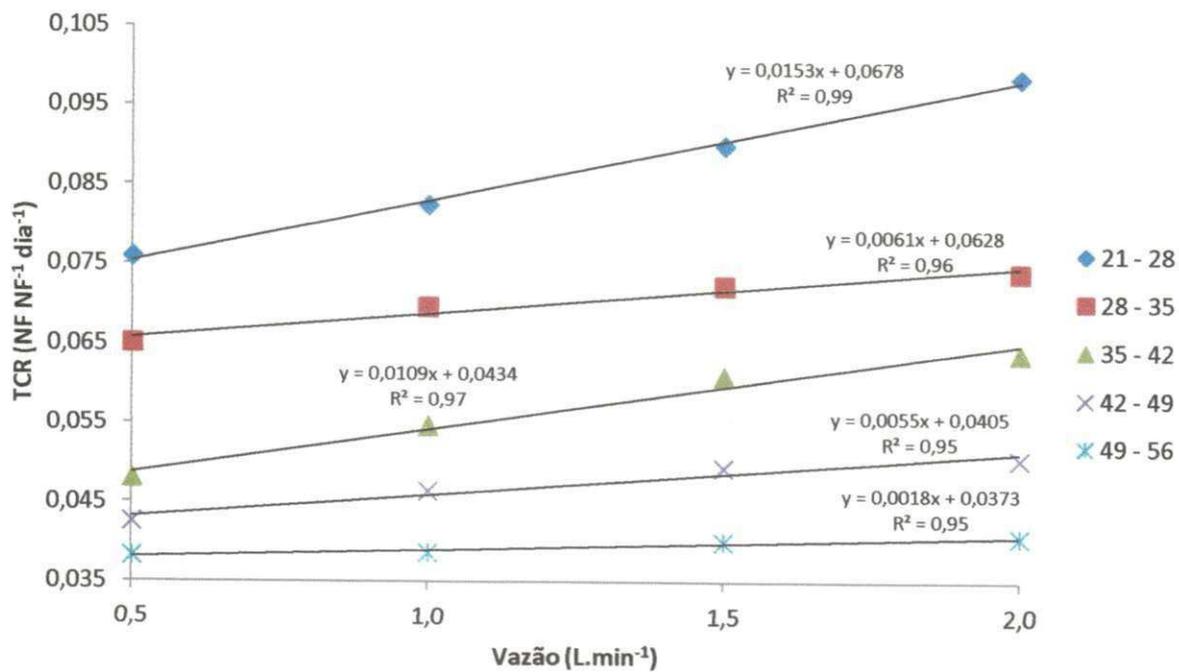


FIGURA 37. Taxa de crescimento relativo de número de folhas da alface irrigada com solução nutritiva em temperatura ambiente, em função da vazão.

### 5.5.2 Taxa de crescimento em relação à altura de planta

Na Figura 38, são apresentadas as equações de regressão para a taxa de crescimento absoluta da alface, considerando-se a altura de planta em relação à irrigação com solução nutritiva a 15°C e em 4 vazões (0,5; 1,0; 1,5 e 2,0 L.min<sup>-1</sup>).

Os coeficientes de correlação para todas as medições foram superiores a 0,93, demonstrando ajuste adequado do modelo para a taxa de crescimento absoluta da alface considerando a altura de planta e as vazões.

Observou-se que a vazão da solução nutritiva influenciou a taxa de crescimento absoluto em todas as coletas realizadas e que esta taxa, considerando a altura de planta, foi menor na primeira semana após o transplante e aumentou até a última semana de cultivo.

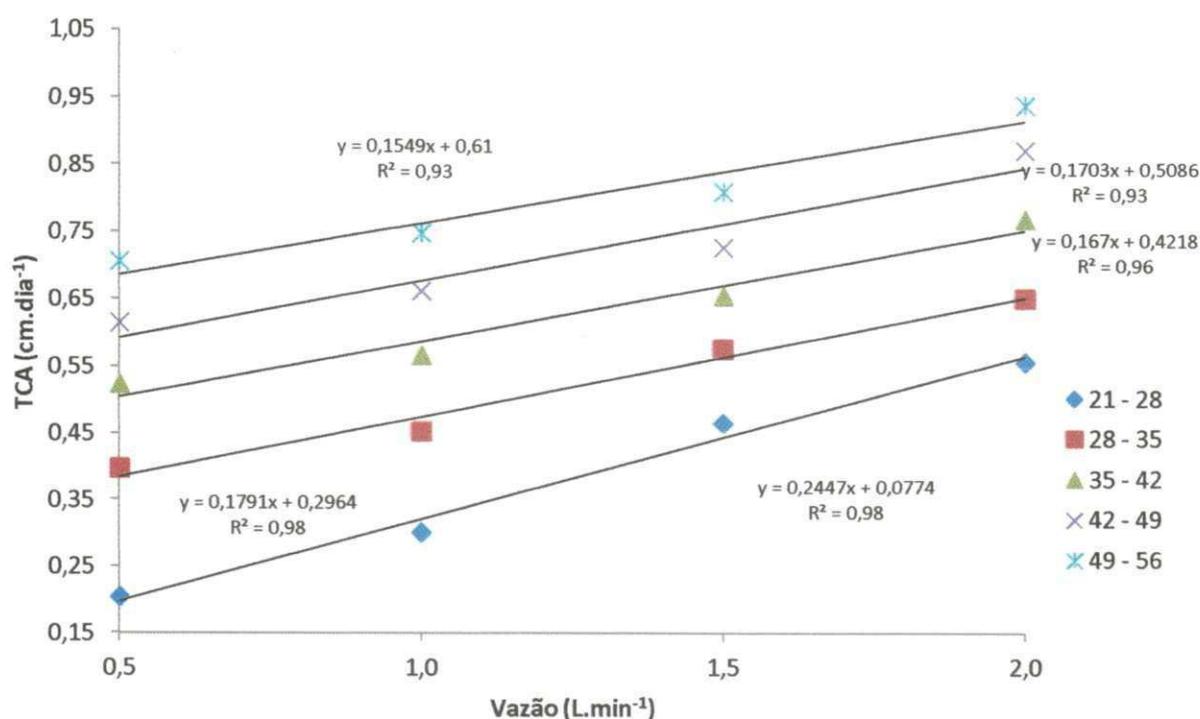


FIGURA 38. Taxa de crescimento absoluto de altura de planta da alface, irrigada com solução nutritiva a 15°C, em função da vazão.

Na Figura 39, são apresentadas as equações de regressão para a taxa de crescimento relativo da alface considerando a altura de planta em relação à irrigação com solução nutritiva a 15°C e em 4 vazões (0,5; 1,0; 1,5 e 2,0 L.min<sup>-1</sup>).

Os coeficientes de correlação para todas as medições foram superiores a 0,93, demonstrando ajuste adequado do modelo da taxa de crescimento relativo da alface em relação à altura de planta e às vazões.

Observou-se que a vazão da solução nutritiva pouco influenciou a taxa de crescimento relativo.

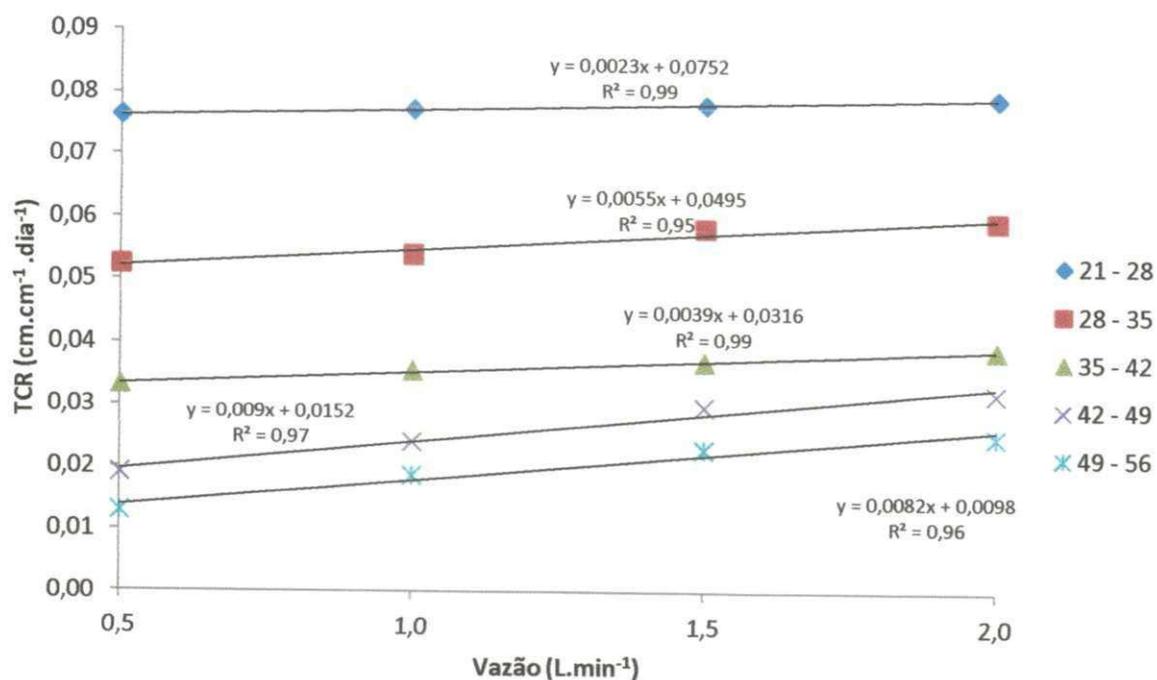


FIGURA 39. Taxa de crescimento relativo de altura de planta da alface irrigada com solução nutritiva a 15°C, em função da vazão.

Na Figura 40, são apresentados os gráficos de regressão linear para o comportamento da taxa de crescimento absoluto em relação à altura de planta da alface irrigada com solução nutritiva a 25°C.

O coeficiente de correlação para todas as medições foi superior a 0,93, demonstrando ajuste adequado do modelo da taxa de crescimento absoluto da alface considerando a altura de planta e as vazões.

Observou-se que a vazão da solução nutritiva influenciou a taxa de crescimento absoluto em todas as coletas realizadas e que a taxa de crescimento absoluto da alface, considerando a altura de planta, foi menor na primeira semana após o transplântio e aumentou até a última semana de cultivo.

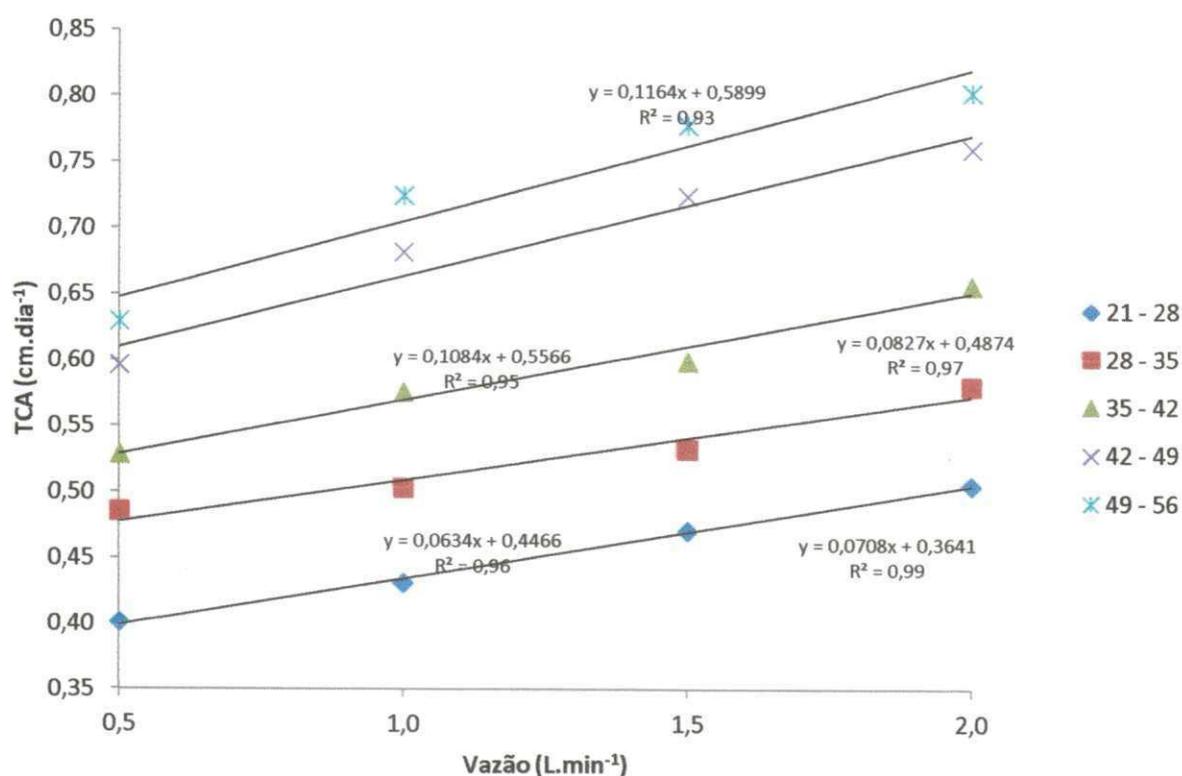


FIGURA 40. Taxa de crescimento absoluto de altura de planta da alface irrigada com solução nutritiva a 25°C, em função da vazão.

Na Figura 41, é apresentado o gráfico de regressão linear para o comportamento da taxa de crescimento relativo em relação à altura de planta da alface irrigada com solução nutritiva a 25° C. O coeficiente de correlação para todas as medições foi superior a 0,88, demonstrando ajuste adequado do modelo.

A vazão da solução nutritiva pouco influenciou a taxa de crescimento relativo, que foi maior na primeira semana após o transplântio e reduziu acentuadamente até a quarta semana de cultivo. Na quarta e quinta semanas de cultivo, após o transplântio, o comportamento da taxa de crescimento relativo foi muito semelhante.

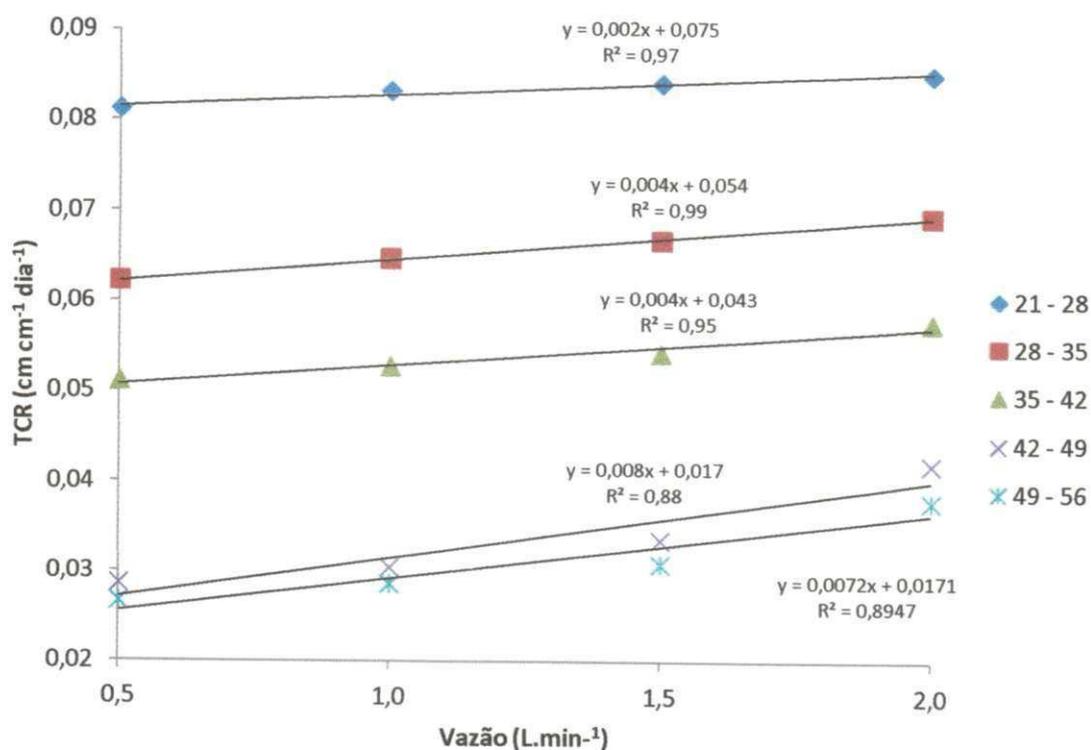


FIGURA 41. Taxa de crescimento relativo de altura de planta da alfaca irrigada com solução nutritiva a  $25^{\circ}\text{C}$ , em função da vazão.

Na Figura 42, os gráficos de regressão linear para o comportamento da taxa de crescimento absoluto em relação à altura de planta da alfaca irrigada com solução nutritiva em temperatura ambiente demonstraram que o coeficiente de correlação para todas as medições foi superior a 0,96, verificando-se, assim, que o modelo é adequado para descrever este comportamento e que a vazão da solução nutritiva influenciou a taxa de crescimento absoluto em todas as coletas realizadas. Esta taxa de crescimento, considerando-se a altura de planta, foi menor na primeira semana após o transplante e aumentou até a última semana de cultivo.

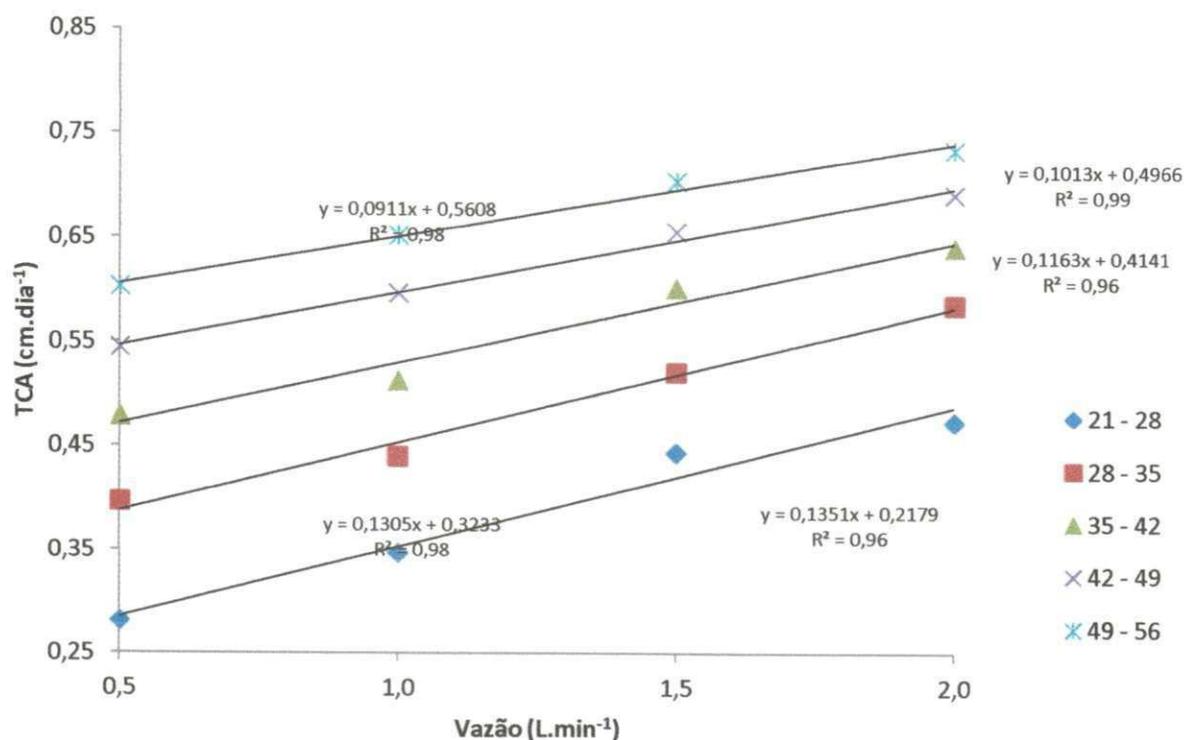


FIGURA 42. Taxa de crescimento absoluto de altura de planta da alface irrigada com solução nutritiva em temperatura ambiente, em função da vazão.

O gráfico de regressão linear para o comportamento da taxa de crescimento relativo de altura de planta da alface irrigada com solução nutritiva em temperatura ambiente, apresentado na Figura 43, demonstra que o coeficiente de correlação para todas as medições foi superior a 0,88 e apresenta ajuste adequado.

A taxa de crescimento relativo, influenciado pela vazão da solução nutritiva, foi maior na primeira semana após o transplântio e reduziu até a quarta semana após o transplântio. Na quarta e quinta semanas de cultivo, após o transplântio, o comportamento foi muito similar.

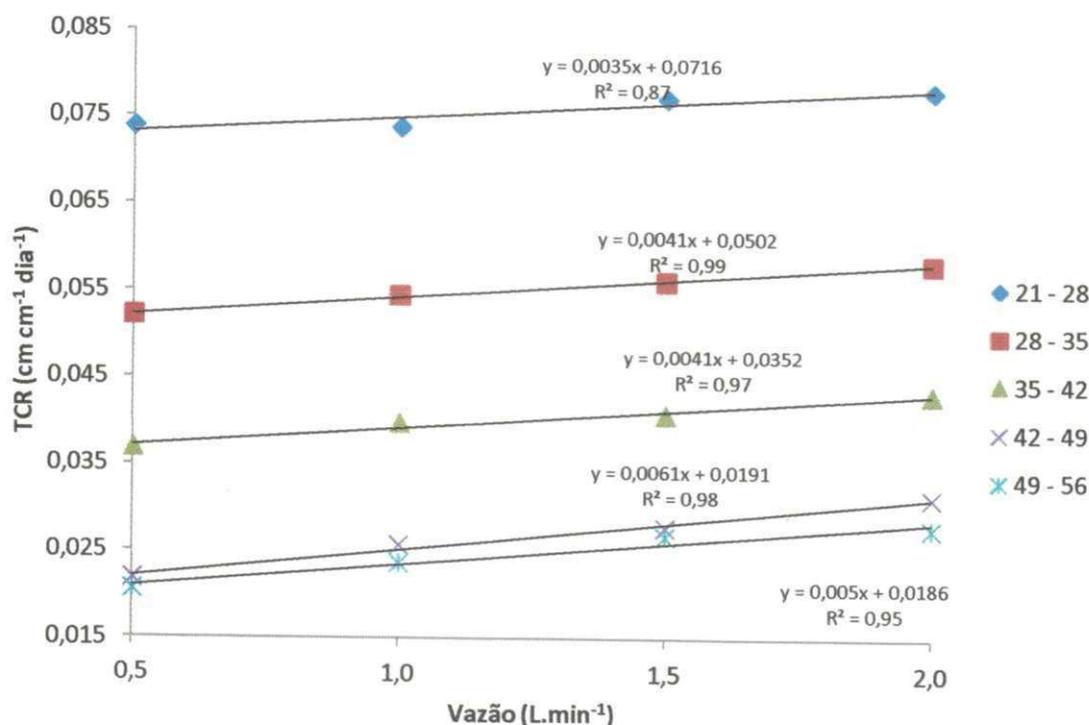


FIGURA 43. Taxa de crescimento relativo de altura de planta da alface irrigada com solução nutritiva em temperatura ambiente, em função da vazão.

### 5.5.3 Taxa de crescimento em relação ao diâmetro de caule

Na Figura 44 é apresentado o gráfico de regressão linear para o comportamento da taxa de crescimento absoluto do diâmetro do caule da alface irrigada com solução nutritiva a  $15^\circ\text{C}$ . Os coeficientes de correlação, para todas as medições, foram superiores a 0,94, demonstrando que o modelo é adequado para descrever este comportamento.

Observou-se que a vazão da solução nutritiva influenciou a taxa de crescimento absoluto, sendo esta taxa maior na última semana após o transplântio, diminuindo até a primeira semana após o transplântio.

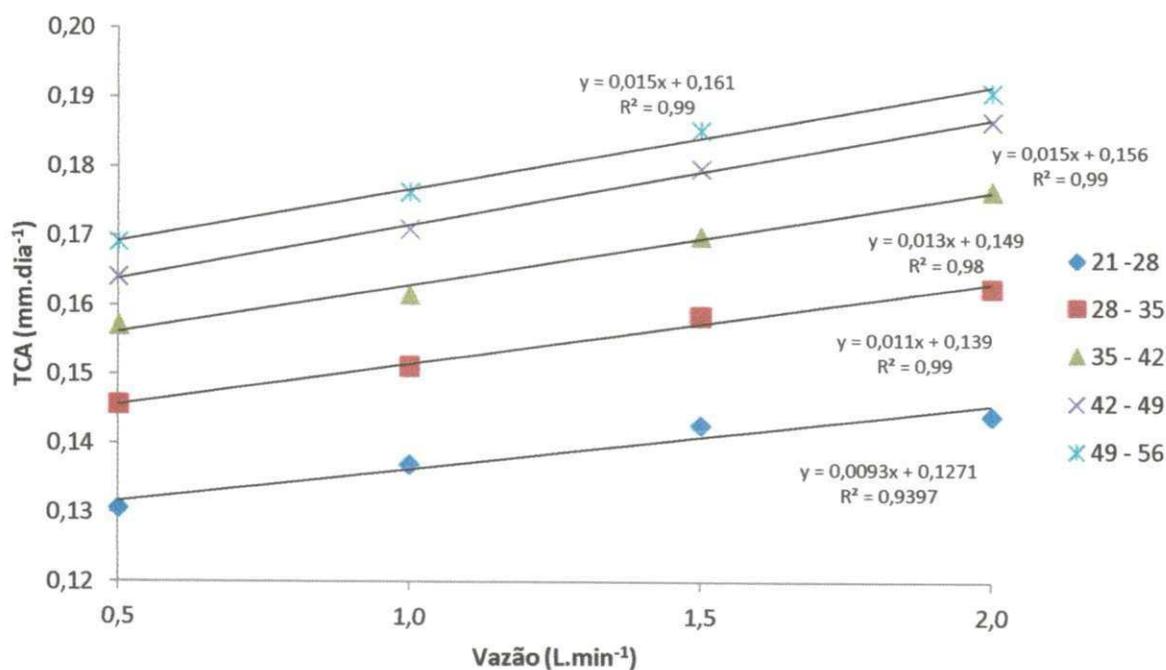


FIGURA 44. Taxa de crescimento absoluto do diâmetro da alface irrigada com solução nutritiva a 15°C, em função da vazão.

Na Figura 45, é apresentado o gráfico de regressão linear para o comportamento da taxa de crescimento relativo do diâmetro do caule da alface irrigado com solução nutritiva a 15°C. Os coeficientes de correlação para todas as medições foram superiores a 0,87, demonstrando que o modelo é adequado para descrever a referida taxa em função das vazões.

Observou-se que a vazão da solução nutritiva influenciou a taxa de crescimento relativo do diâmetro de caule e que esta foi maior na primeira semana após o transplante, reduzindo até a última semana após o transplante. Outrossim, para a quarta e quinta semanas após o transplante, as taxas de crescimento relativo tiveram comportamento muito semelhantes.

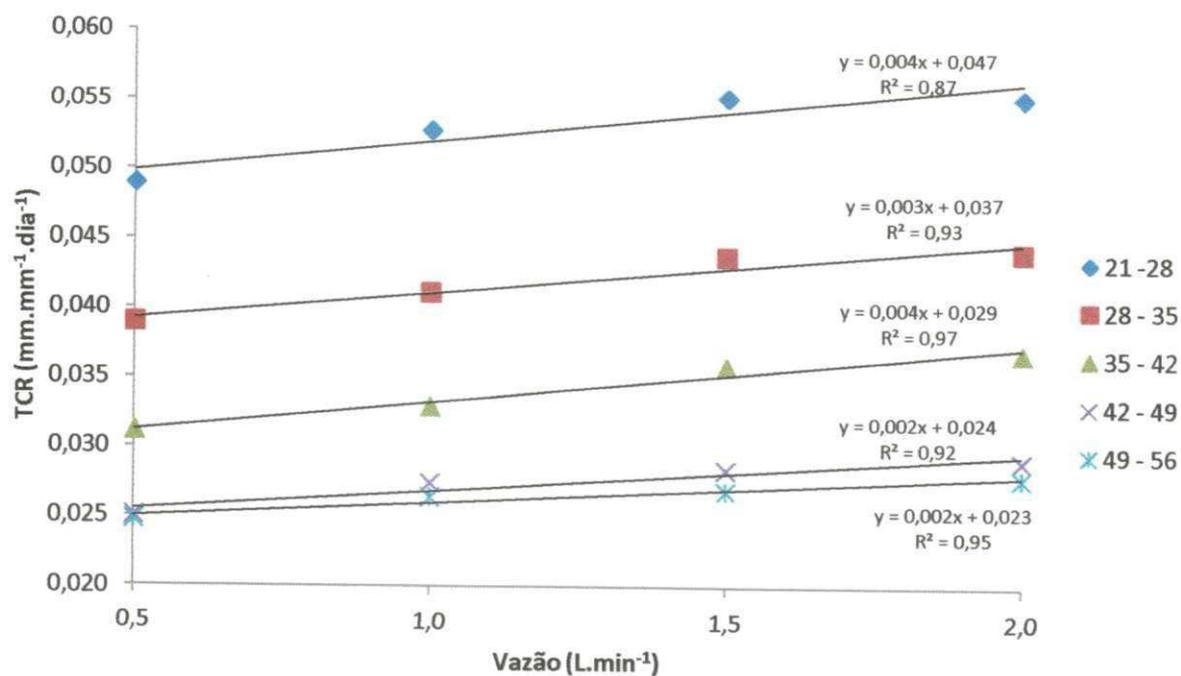


FIGURA 45. Taxa de crescimento relativo do diâmetro da alface irrigada com solução nutritiva a 15°C, em função da vazão.

Sobre o comportamento da taxa de crescimento absoluto do diâmetro de caule da alface irrigada com solução nutritiva a 25°C para vazões crescentes, a Figura 46 mostra que os coeficientes de correlação, para todas as medições, foram superiores a 0,95, significando que o modelo é adequado para descrever tal comportamento.

Observou-se que a taxa de crescimento absoluto do diâmetro de caule da alface foi maior na última semana após o transplântio e reduziu até a primeira semana após o transplântio, influenciada pela vazão da solução nutritiva.

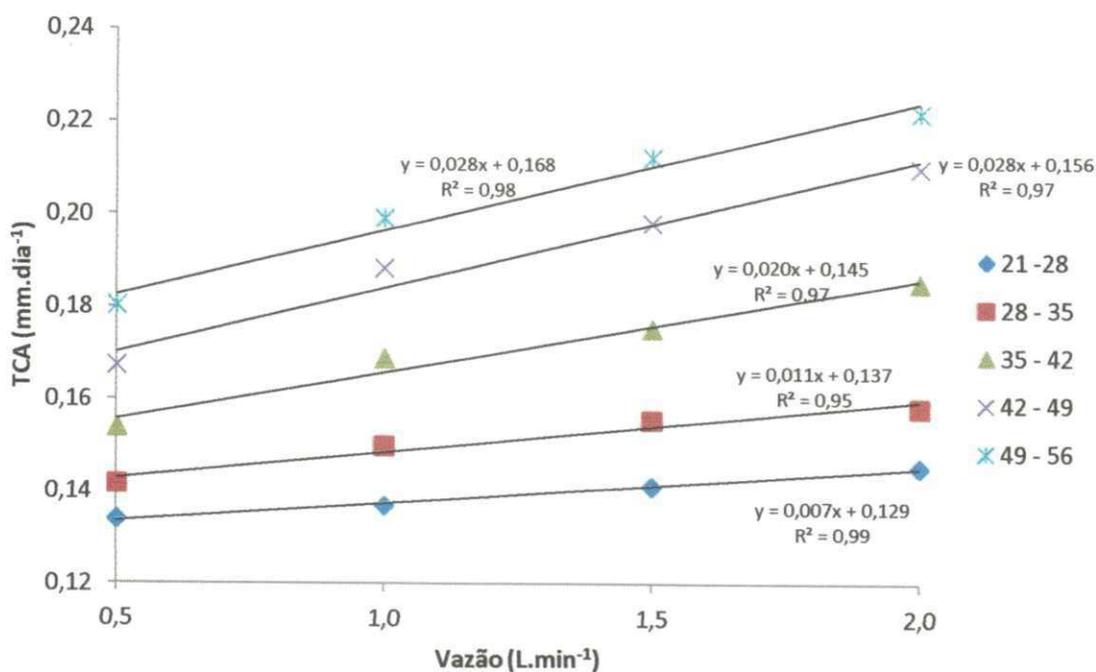


FIGURA 46. Taxa de crescimento absoluto do diâmetro da alface irrigada com solução nutritiva a 25°C, em função da vazão.

Na Figura 47, é apresentado o gráfico de regressão linear para o comportamento da taxa de crescimento relativo do diâmetro de caule da alface irrigada com solução nutritiva a 25°C, cujos coeficientes de correlação, para todas as medições, foram superiores a 0,98, demonstrando ser um modelo adequado para a descrição deste comportamento e que a vazão da solução nutritiva influenciou a taxa de crescimento relativo. Verificou-se, também, que esta taxa de crescimento relativo foi maior na primeira semana após o transplântio e reduziu até a última semana após o transplântio. Nas duas últimas semanas, esta mesma taxa foi semelhante e pouco influenciada pela vazão da solução nutritiva.

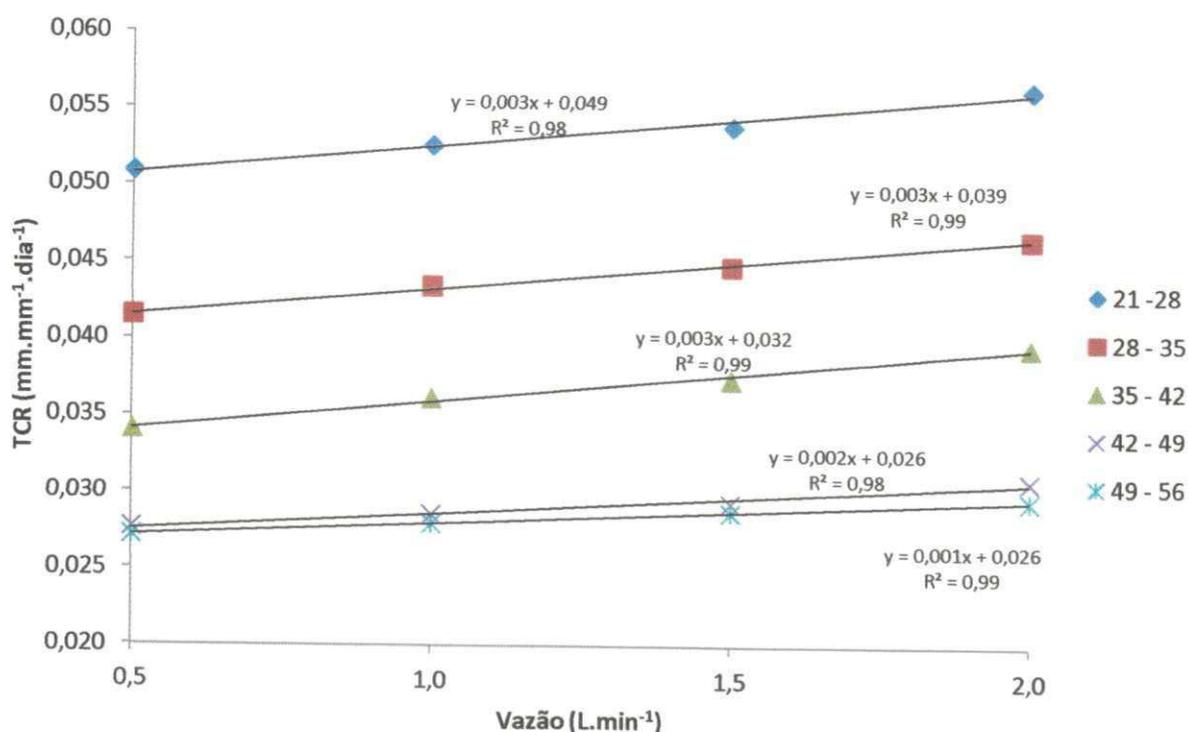


FIGURA 47. Taxa de crescimento relativo do diâmetro da alface irrigada com solução nutritiva a 25°C, em função da vazão.

Na Figura 48, o gráfico de regressão linear para o comportamento da taxa de crescimento absoluto do diâmetro de caule da alface irrigada com solução nutritiva à temperatura ambiente mostra que os coeficientes de correlação para todas as medições foram superiores a 0,94, sendo um modelo adequado para descrever o comportamento da taxa de crescimento absoluto do diâmetro do caule da alface e as vazões.

O experimento demonstrou que a vazão da solução nutritiva influenciou a taxa de crescimento absoluto do diâmetro de caule da alface e que, após o transplântio, esta taxa foi menor na primeira semana, aumentando até a última semana.

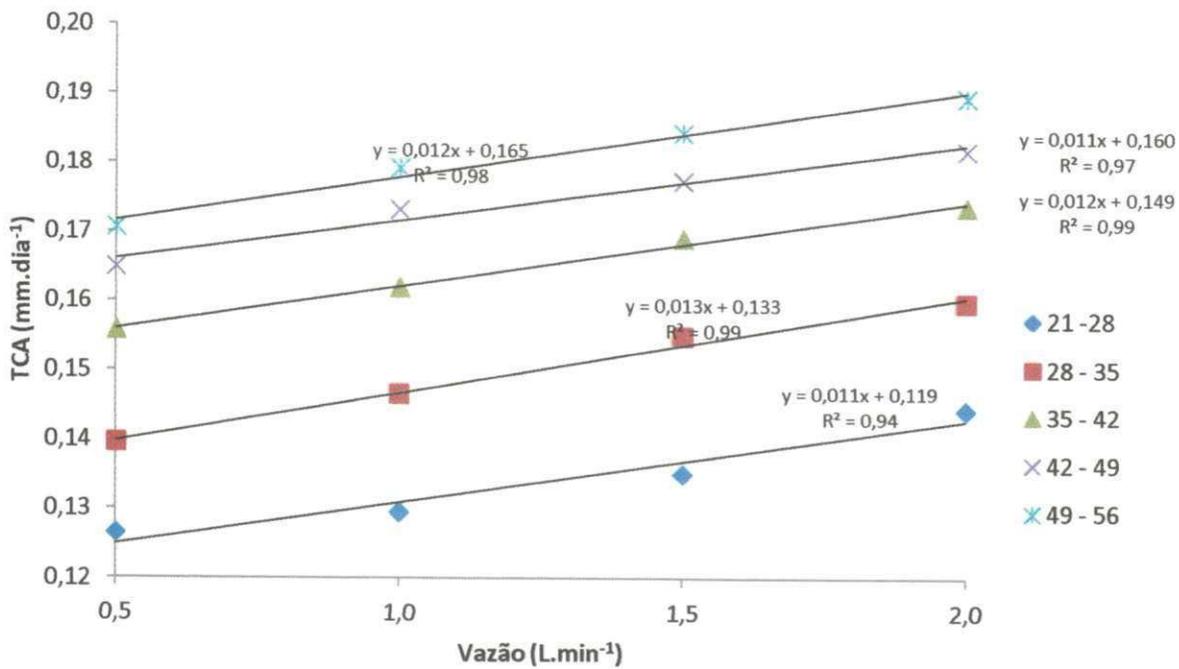


FIGURA 48. Taxa de crescimento absoluto do diâmetro da alface irrigada com solução nutritiva em temperatura ambiente, em função da vazão.

No gráfico de regressão linear para o comportamento da taxa de crescimento relativo do diâmetro de caule da alface irrigada com solução nutritiva em temperatura ambiente (Figura 49), os coeficientes de correlação para todas as medições foram superiores a 0,84, demonstrando que o modelo é adequado para descrever o comportamento desta taxa de crescimento. Observa-se, também, que a vazão da solução nutritiva influenciou a taxa de crescimento relativo e que esta taxa foi maior na primeira semana após o transplântio e diminuiu até a última semana após o transplântio.

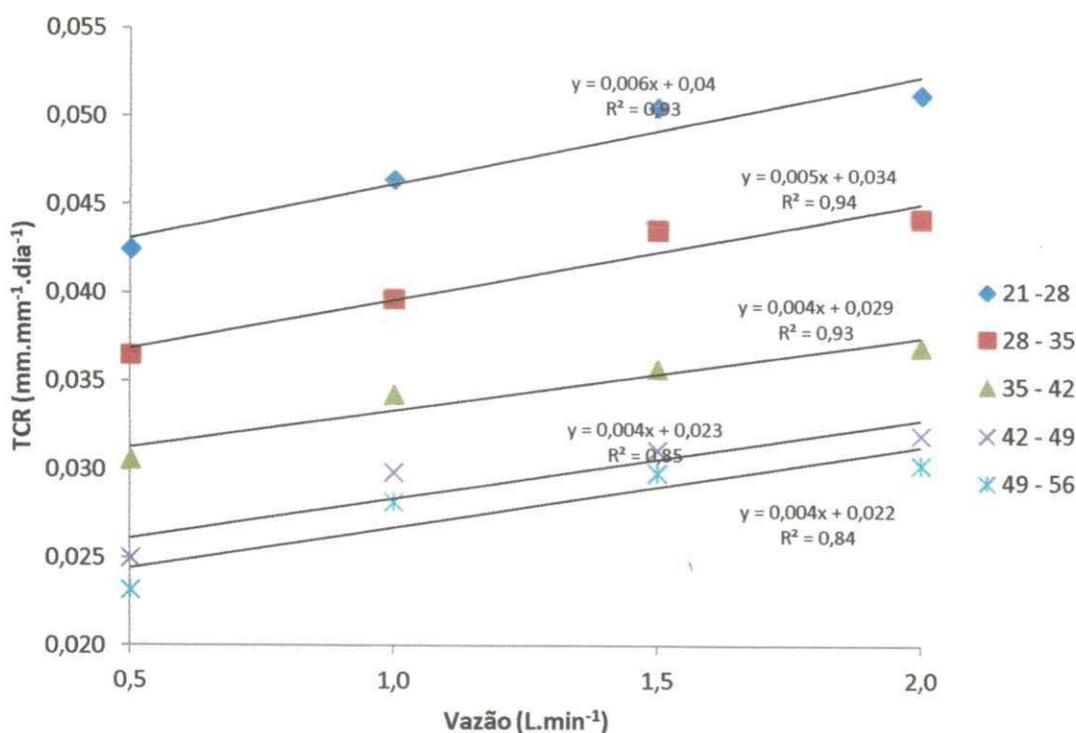


FIGURA 49. Taxa de crescimento relativo do diâmetro da alface irrigada com solução nutritiva em temperatura ambiente, em função da vazão.

Considerando a altura de planta, número de folhas ou diâmetro do caule, a vazão da solução nutritiva influenciou a taxa de crescimento relativo da alface, em vazões crescentes, tendo sido maior na primeira semana e sofrendo redução até a última semana após o transplântio. Constatou-se também que a vazão da solução nutritiva influenciou a taxa de crescimento absoluto, ou seja, quanto maior a vazão, maior a taxa de crescimento absoluto, principalmente nas primeiras duas semanas após o transplântio. Observou-se, também, que a taxa de crescimento absoluto da alface, neste mesmo contexto, foi menor na primeira semana e aumentou até a última semana após o transplântio e que a vazão influenciou positivamente a taxa de crescimento absoluto, ou seja, quanto maior a vazão, maior foi a taxa de crescimento absoluto, sendo que, nas duas últimas semanas de cultivo, a influência da vazão sobre a taxa de crescimento relativa foi quase imperceptível.

## 5.6 AREA FOLIAR

Para analisar as medidas de área foliar e área foliar específica, razão de peso foliar e razão de área foliar em relação às variáveis, vazão e temperatura, da solução nutritiva, os dados foram submetidos ao teste de média Tukey ao nível de significância de 5% (Tabela 14).

TABELA 14. Valores médios de área foliar, área foliar específica, razão de peso foliar e razão de área foliar, em relação às variáveis, vazão e temperatura, da solução nutritiva.

Vazão (L.min <sup>-1</sup> )	0,5	1,0	1,5	2,0	CV(%)
<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Área Foliar (cm<sup>2</sup>)</b>				
15°C	6901 aA	5431 bB	5040 bC	7625 aAB	8,23
25°C	8320 abA	7668 bA	9278 aA	7340 bB	5,98
T <sub>amb</sub>	7783 aA	8031 aA	7828 aB	8492 aA	9,11
CV(%)	13,32	16,45	21,09	13,12	
<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Área Foliar Específica (cm.g<sup>-1</sup>)</b>				
15°C	37,492 aA	37,602 aA	36,833 aA	36,044 aA	8,90
25°C	33,195 aB	32,008 aB	31,756 aB	31,987 aB	2,32
T <sub>amb</sub>	33,688 aB	32,977 aB	33,607 aB	33,372 aB	3,76
CV(%)	4,65	9,09	6,76	9,87	
<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Razão de Peso de Foliar (g.g<sup>-1</sup>)</b>				
15°C	0,4051 bB	0,3483 bB	0,3795 bB	0,5454 aA	4,87
25°C	0,5693 aA	0,5903 aA	0,5524 aA	0,5621 aA	8,76
T <sub>amb</sub>	0,5291 aA	0,5964 aA	0,5324 aA	0,5373 aA	8,34
CV(%)	4,23	4,98	8,21	3,54	
<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Razão de Área Foliar (cm<sup>2</sup>.g<sup>-1</sup>)</b>				
15°C	381,21 aA	380,87 aA	401,22 aA	337,69 aA	5,43
25°C	345,25 aB	300,33 aB	337,60 aB	298,69 aA	6,43
T <sub>amb</sub>	332,25 abB	362,45 aA	294,35 bB	310,24 abA	8,98
CV(%)	11,21	12,32	24,23	13,54	

Médias de tratamentos seguidas da mesma letra, minúscula na mesma linha e maiúscula na mesma coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Nos testes de média, o tratamento que recebeu irrigação com solução nutritiva com vazão de 1,5 L.min<sup>-1</sup> a 25°C apresentou a maior média de área foliar, 9278 cm<sup>2</sup> por planta, 84,1% superior ao tratamento que recebeu irrigação com solução nutritiva com vazão de 1,5 L.min<sup>-1</sup> a 15°C, que apresentou a menor média de área foliar, 5040 cm<sup>2</sup> por planta.

Para as medidas de área foliar específica, a maior média foi obtida para as plantas irrigadas com solução nutritiva com vazão de 1,5 L.min<sup>-1</sup> a 25°C, 37,602 cm<sup>2</sup>.g<sup>-1</sup>, 18,9% superior ao tratamento que recebeu irrigação com solução nutritiva com vazão de 1,0 L.min<sup>-1</sup> a 15°C, 31,756 cm<sup>2</sup>.g<sup>-1</sup> por planta e que apresentou a menor média área foliar específica.

Na análise da razão de peso foliar, a maior média foi obtida no tratamento que, irrigado com solução nutritiva em temperatura ambiente e vazão de 1,0 L.min<sup>-1</sup>, 0,5964 g.g<sup>-1</sup>, foi 71,2% superior ao tratamento irrigado com solução nutritiva a 15°C e vazão de 1,0 L.min<sup>-1</sup>, 0,3483 g.g<sup>-1</sup> e que apresentou a menor média de razão de peso foliar.

Para as medidas de razão de área foliar, a maior média foi verificada no tratamento irrigado com solução nutritiva a 15°C e vazão de 0,5 L.min<sup>-1</sup>, 381,21 cm<sup>2</sup>.g<sup>-1</sup>, 29,5% maior que o tratamento irrigado com solução nutritiva em temperatura ambiente e vazão de 1,5 L.min<sup>-1</sup>, 294,35 cm<sup>2</sup>.g<sup>-1</sup> e que apresentou a menor média de razão de área foliar.

Para analisar a correlação entre a área foliar e as variáveis, vazão e temperatura da solução nutritiva, foram realizadas as regressões, e as que apresentaram melhores coeficientes de determinação (r<sup>2</sup>) foram adotadas no modelo (Tabela 15).

TABELA 15. Equações de regressão e parâmetros observados para a relação obtida entre área foliar (AF) e as variáveis, vazão e temperatura, da solução nutritiva.

Parâmetro	Temperatura (°C)	teste F	p	Equação de Regressão	
AF	15	17,43	0,001	$y = 4055x^2 - 9781,3x + 10873$	R <sup>2</sup> = 0,95
	T <sub>amb</sub>	21,87	0,002	$y = 416x^2 - 655,2x + 8072,5$	R <sup>2</sup> = 0,72
	25	0,45	0,021	$y = -266x + 8484$	r <sup>2</sup> = 0,04

Observou-se relação muito baixa (r<sup>2</sup> = 0,04) para o tratamento irrigado com solução nutritiva a 25°C.

A área foliar é uma variável de crescimento, reconhecida pela sua importância como indicativo da produtividade da planta, uma vez que a fotossíntese realizada pelas plantas depende da interceptação da energia luminosa pelo dossel e da sua conversão em energia química. A eficiência do processo fotossintético depende da taxa de fotossíntese por unidade de área foliar e da interceptação da radiação solar, as quais são influenciadas pela arquitetura do dossel e pela dimensão do sistema fotoassimilador (FAVARIN et al., 2002).

Segundo LAWLOR (1993), o processo fotossintético é um fenômeno de superfície. Em folhas expostas ao sol, sob quantidades adequadas de fluxo de fótons fotossintéticos, a assimilação do carbono está relacionada linearmente com a interceptação dos fótons nas regiões do azul e do vermelho. Maior área foliar implica maior superfície de interceptação de luz, o que poderá resultar em taxas fotossintéticas mais elevadas. Esse fato mostra que a mensuração da área foliar é importante e pode auxiliar na avaliação do estado fisiológico de uma planta.

Para análise de área foliar, em relação à temperatura da solução nutritiva, foi observado que menor temperatura resulta em área foliar menor, e para temperatura ambiente, a área foliar foi praticamente a mesma para todos os tratamentos; o aumento da temperatura para 25°C promoveu o aumento da área foliar para as vazões de 0,5 e 1,5 L.min<sup>-1</sup>, e redução da área foliar para as vazões de 1,0 e 2,0 L.min<sup>-1</sup> (Figura 50).

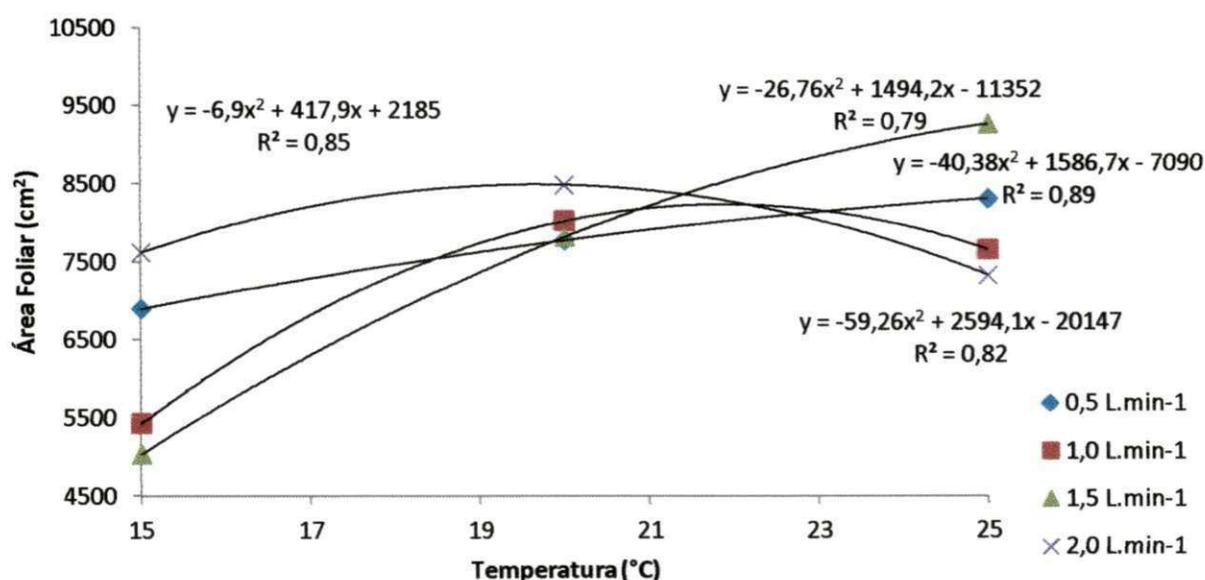


FIGURA 50. Gráfico das regressões da área foliar em relação à temperatura para as vazões da solução nutritiva.

A Figura 51 apresenta o comportamento das regressões da área foliar específica em relação à vazão para as temperaturas da solução nutritiva.

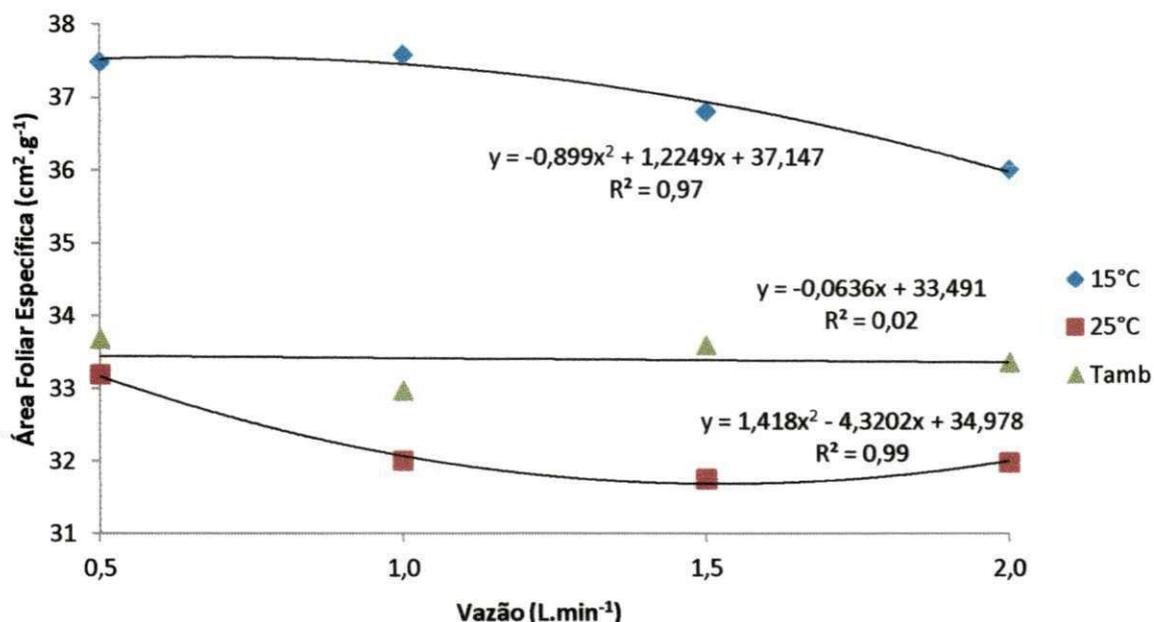


FIGURA 51. Gráfico das regressões da área foliar específica em relação à vazão para as temperaturas da solução nutritiva.

A área foliar específica (AFE) é a relação entre a área foliar e o peso seco de folha. O inverso da AFE indica a espessura da folha (BENINCASA, 2004).

Em todos os tratamentos, os maiores valores de área foliar específica foram obtidos com solução nutritiva a 15°C enquanto que os menores valores dessa mesma área foram obtidos para os tratamentos irrigados com solução nutritiva a 25°C. Significa que o aumento da temperatura da solução nutritiva provocou a redução da área foliar específica (Tabela 52).

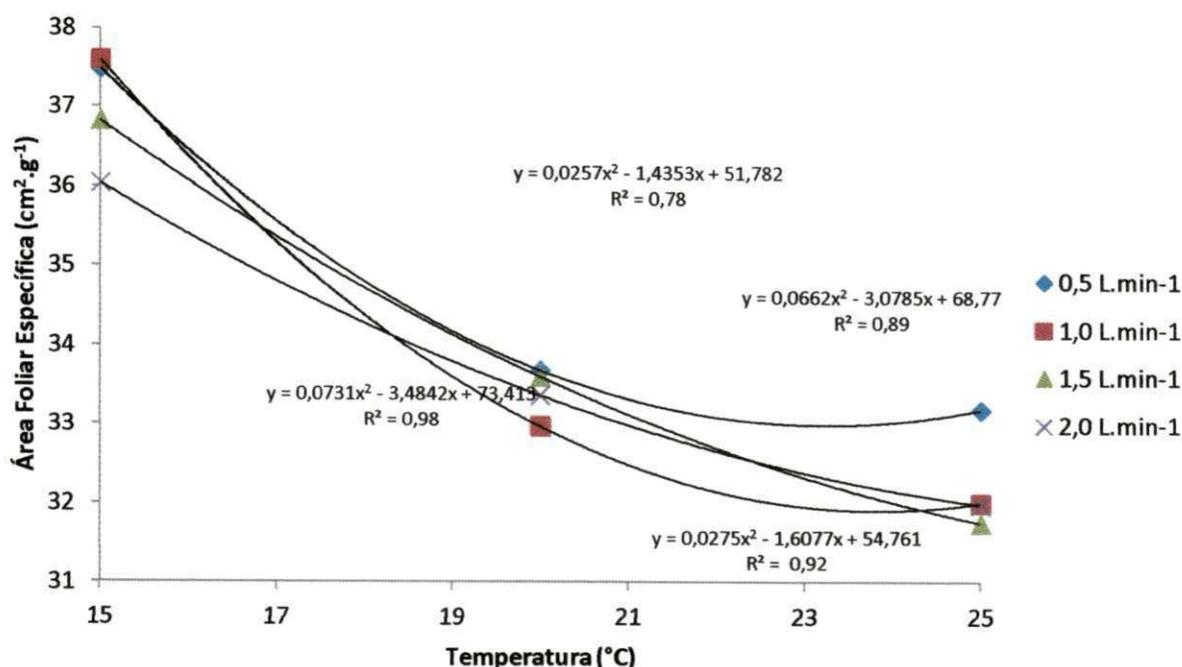


FIGURA 52. Gráfico das regressões da área foliar específica em relação à temperatura para as vazões da solução nutritiva.

Na Tabela 16, temos as equações de regressão e os parâmetros observados para a razão de peso foliar em relação à temperatura da solução nutritiva, nas quais verifica-se que o ajuste do modelo não é adequado para descrever o comportamento ( $r^2 = 0,02$  e  $0,22$ ) para os tratamentos irrigados com solução nutritiva a  $25^\circ\text{C}$  e em temperatura ambiente, respectivamente.

TABELA 16. Equação de regressão e parâmetros observados da razão de peso foliar em relação às variáveis, vazão e temperatura, da solução nutritiva.

Parâmetro	Temperatura (°C)	teste F	p	Equação de Regressão	$r^2$
RPF	15	4,65	0,001	$y = 0,2227x^2 - 0,4663x + 0,5849$	0,99
	$T_{\text{amb}}$	6,24	0,021	$y = -0,0119x + 0,5834$	0,23
	25	7,98	0,043	$y = -0,0079x + 0,5587$	0,02

O comportamento das regressões da razão de peso foliar da alface em relação a vazões crescentes para as temperaturas da solução nutritiva é apresentado na Figura 53.

A razão de peso foliar, além de representar a fração de matéria seca não-exportada das folhas para as outras partes da planta, também representa a capacidade de translocação de fotoassimilados da parte aérea para o resto da planta e, quanto maior for esta razão, mais eficiente é a translocação, o que favorece o desenvolvimento da planta (BENINCASA, 2004).

No experimento realizado, os tratamentos irrigados com solução nutritiva a 25°C e em temperatura ambiente demonstraram que a razão de peso foliar não foi influenciada pela vazão da solução nutritiva e que o tratamento irrigado com solução nutritiva a 15°C apresentou um comportamento crescente de razão de peso foliar com o aumento da vazão da solução nutritiva. Observou-se que, para vazão de 2,0 L.min<sup>-1</sup>, a razão de peso foliar foi semelhante entre os tratamentos, independentemente da temperatura da solução nutritiva (Figura 53). Para as vazões de 0,5; 1,0 e 1,5 L.min<sup>-1</sup>, a razão de peso foliar foi menor quando as plantas foram irrigadas com solução nutritiva na temperatura de 15°C e maior quando irrigadas com solução nutritiva em temperatura ambiente, mantendo-se muito próxima quando irrigada com solução nutritiva a 25°C enquanto que, para a vazão de 2,0 L.min<sup>-1</sup>, a razão de peso foliar não sofreu influência da temperatura da solução nutritiva.

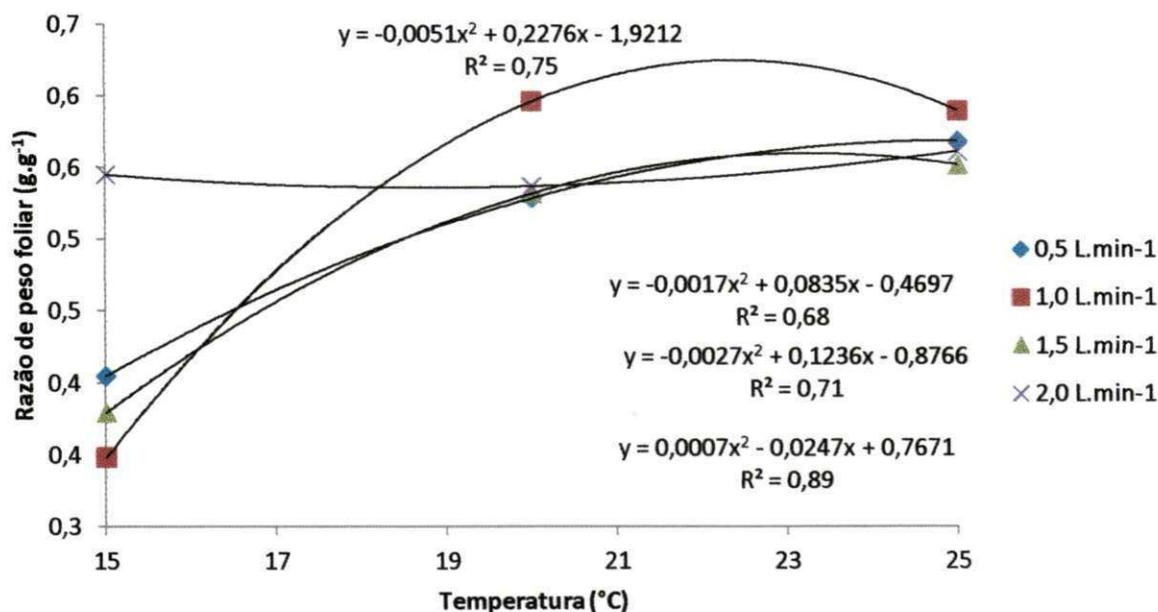


FIGURA 53. Gráfico das regressões da razão de peso foliar em relação à temperatura para as vazões da solução nutritiva.

Na Figura 54, que apresenta o comportamento da razão de área foliar (RAF) em relação à vazão para as temperaturas da solução nutritiva, foi observada uma relação elevada

para o coeficiente de determinação ( $r^2$ ), em todos os tratamentos, demonstrando que a razão de área foliar pode ser explicada pela vazão e temperatura da solução nutritiva.

Segundo PEDÓ (2010), a razão de área foliar é um componente morfofisiológico do crescimento que expressa a razão entre a área foliar e a massa seca total e representa a superfície assimilatória por unidade de matéria seca total, onde os valores normalmente decrescem com a ontogenia das plantas (PEDÓ, 2010).

De acordo com BENINCASA (1988), a RAF representa a unidade de área foliar que está sendo usada pela planta para produzir uma unidade de peso de matéria seca.

Para os tratamentos irrigados com solução nutritiva a 15°C e 25°C, o comportamento foi semelhante para a vazão de 0,5 L.min<sup>-1</sup> e os valores da razão de área foliar foram menores; para as vazões de 1,0 a 1,5 L.min<sup>-1</sup>, observaram-se as maiores médias, e para vazão de 2,0 L.min<sup>-1</sup>, observou-se redução da razão de área foliar.

Nos tratamentos irrigados com solução nutritiva em temperatura ambiente, o comportamento foi inverso. Para vazão em 0,5 e 2,0 L.min<sup>-1</sup>, obtiveram-se as maiores médias de razão de área foliar e para as vazões de 1,0 e 1,5 L.min<sup>-1</sup> foram observadas as menores.

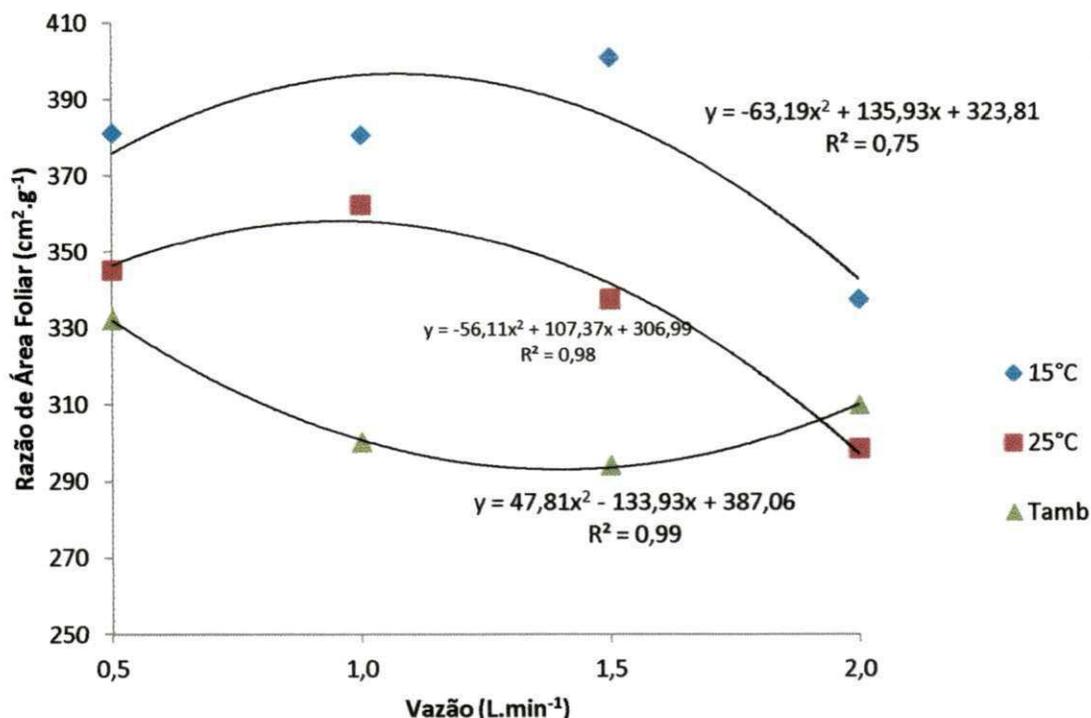


FIGURA 54. Comportamento da razão de área foliar em relação à vazão para as temperaturas da solução nutritiva.

O comportamento das regressões da razão de área foliar em relação à temperatura para as vazões da solução nutritiva é apresentado na Figura 55.

Observou-se que, para as vazões de 0,5; 1,0 e 1,5 L.min<sup>-1</sup>, a razão de área foliar apresentou comportamento semelhante; valores maiores foram observados para solução nutritiva a 15°C, reduzindo estes valores quando irrigadas com solução nutritiva em temperatura ambiente e aumentando quando irrigadas com solução nutritiva a 25°C.

Para a vazão de 2,0 L.min<sup>-1</sup>, a razão de área foliar apresentou um decréscimo com o aumento da temperatura, onde as maiores médias foram observadas para os tratamentos irrigados com solução nutritiva a 15°C, e as menores, quando irrigadas com solução nutritiva a 25°C.

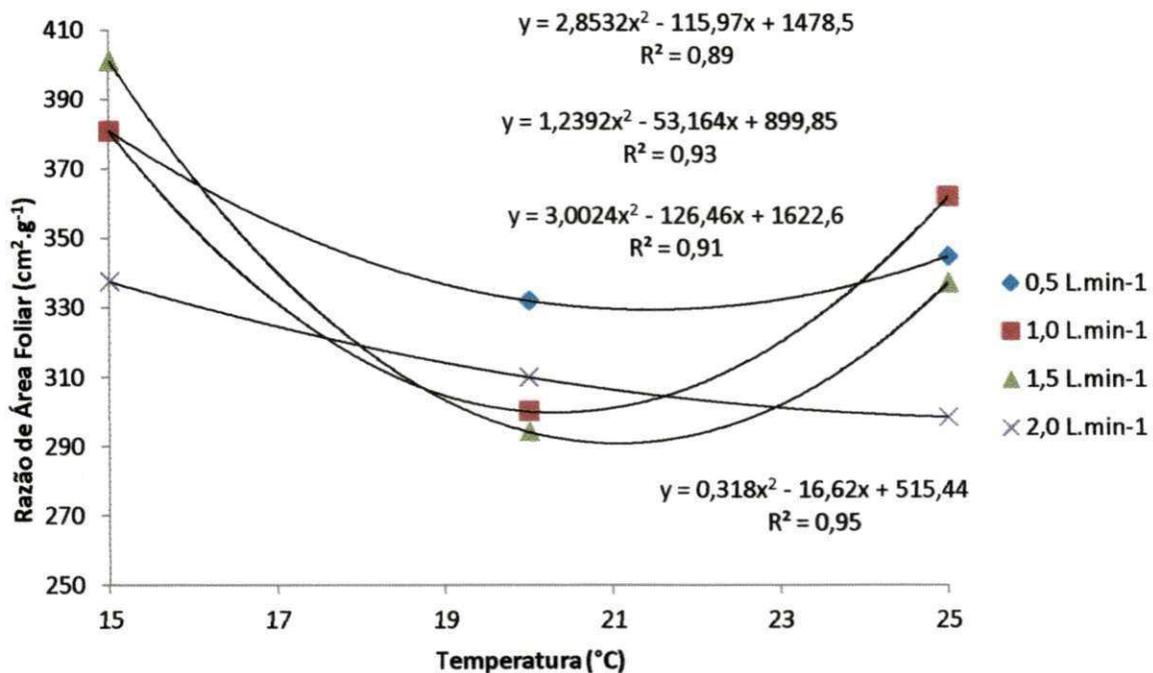


FIGURA 55. Gráfico das regressões da razão de área foliar em relação à temperatura para as vazões da solução nutritiva.

## 5.7 ANÁLISES TÉRMICAS

O estudo das imagens térmicas foi realizado com medição de 4 pontos da planta: temperatura da raiz (Tr), temperatura do caule (Tc), temperatura do meio da folha (Tm) e temperatura da extremidade da folha (Tex). A leitura ocorreu aos 55 DAS. A temperatura do

ar durante a medição foi 25,5°C e a umidade relativa do ar 84%. A solução em temperatura ambiente estava a 21,8°C.

Para verificar a relação existente entre a temperatura dos pontos de medição na planta e as variáveis, vazão e temperatura da solução nutritiva, os dados foram submetidos à análise de variância (Tabela 17).

Ao se aplicar o teste estatístico “t”, avaliou-se a importância individual dos coeficientes obtidos no modelo, constatando-se influência não significativa da variável denominada vazão ( $p < 0,05$ ) e, por isso, procedeu-se à eliminação desta variável do modelo.

TABELA 17. Resultado da análise de variância e regressão das relações entre temperatura da folha da alface e as variáveis, vazão e temperatura, da solução nutritiva.

Teste F	Nome	Parâmetros de Regressão			
		Coefficiente	t	p	r <sup>2</sup>
1,45	Constante	0,5881	7,37	0,000	0,45
	Vazão	0,2024	-0,10	0,917	
	Temperatura	0,0226	33,96	0,000	
	Ponto de leitura	0,1012	<b>2,41</b>	0,180	
	Interação		5,64	0,002	

Teste F = análise de variância; t = teste “t” estatístico; r<sup>2</sup> = coeficiente de determinação.

\*\*..significativo ao nível de 1% de probabilidade; <sup>NS</sup>.. não significativo ao nível de 5% de probabilidade

As leituras foram separadas por temperatura da solução nutritiva e submetidas ao teste de média de Tukey a 5% (Tabela 18).

As Figuras 56 e 57 apresentam as imagens térmicas das plantas irrigadas com solução nutritiva a 15°C.

TABELA 18. Teste de médias para as temperaturas obtidas nos pontos da planta em relação à temperatura da solução nutritiva.

Ponto de coleta	Tr	Tc	Tm	Tex	CV(%)
Temperatura da solução nutritiva	°C				
15°C	15,01b	14,85b	17,97a	17,96a	1,19
25°C	24,96a	25,44a	23,26b	23,21b	3,89
T <sub>amb</sub>	21,65b	22,09b	22,57ab	23,20a	6,12

Tr – Temperatura da raiz, Tc – Temperatura do Caule, Tm – Temperatura do meio da planta, Tex – Temperatura da extremidade da folha, T<sub>amb</sub> – Temperatura da solução nutritiva.

Em todos os tratamentos, constatou-se que as temperaturas da raiz e do caule tendem a estabelecer equilíbrio com a temperatura da solução nutritiva enquanto que as temperaturas do meio e da extremidade da planta tendem ao equilíbrio com a temperatura do ambiente de cultivo.

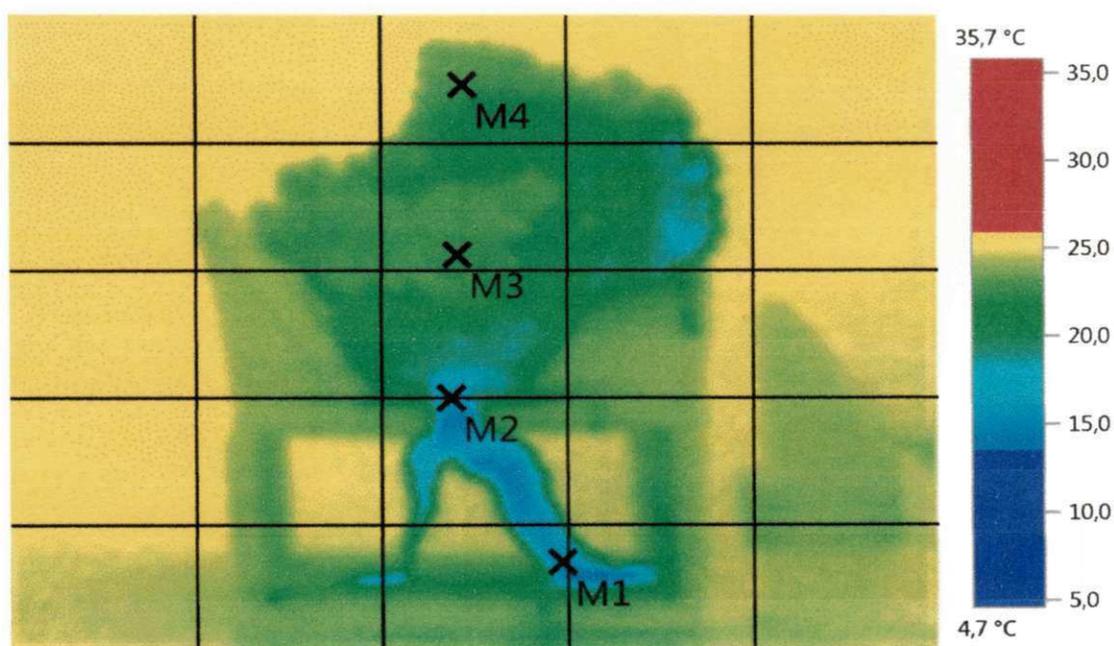
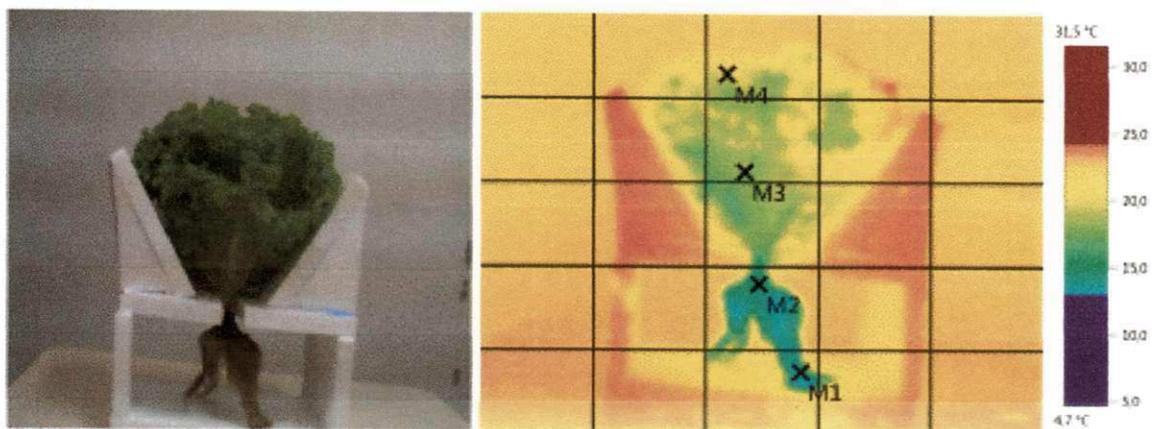
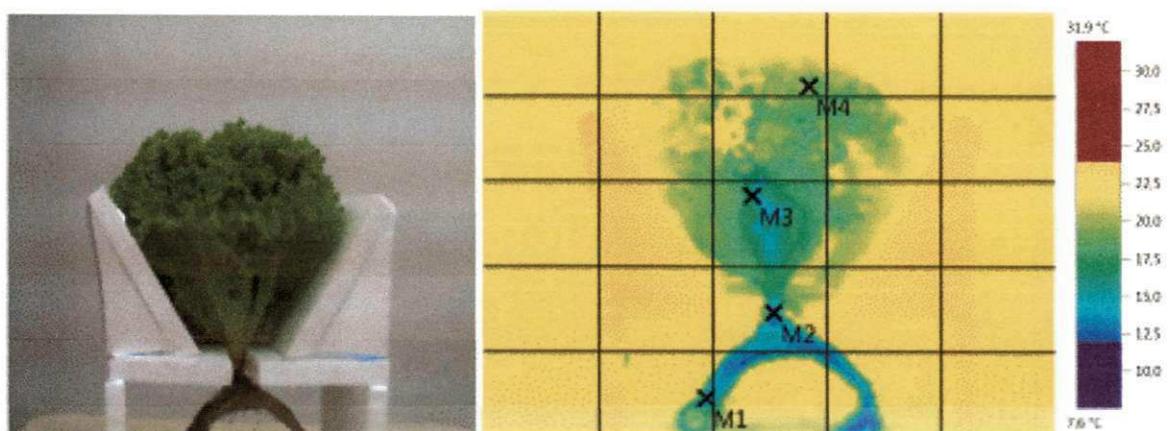


FIGURA 56. Análise térmica da planta submetida à solução nutritiva a 15°C. M1 – raiz da planta, M2 – caule da planta, M3 – meio da planta e M4 - extremidade das folhas.



(a)



(b)

FIGURA 57. Análise térmica da planta submetida à solução nutritiva a 15°C. M1 – raiz da planta, M2 – caule da planta, M3 – meio da planta e M4 – extremidade das folhas.

As Figuras 58 e 59 apresentam as imagens térmicas das plantas irrigadas com solução nutritiva em temperatura ambiente.

Nas imagens térmicas das plantas que foram irrigadas com solução nutritiva em temperatura ambiente, verificou-se que as temperaturas da raiz, do caule, do meio da planta e da extremidade das folhas se mantiveram muito próximas enquanto que a temperatura da planta ficou abaixo da temperatura ambiente.

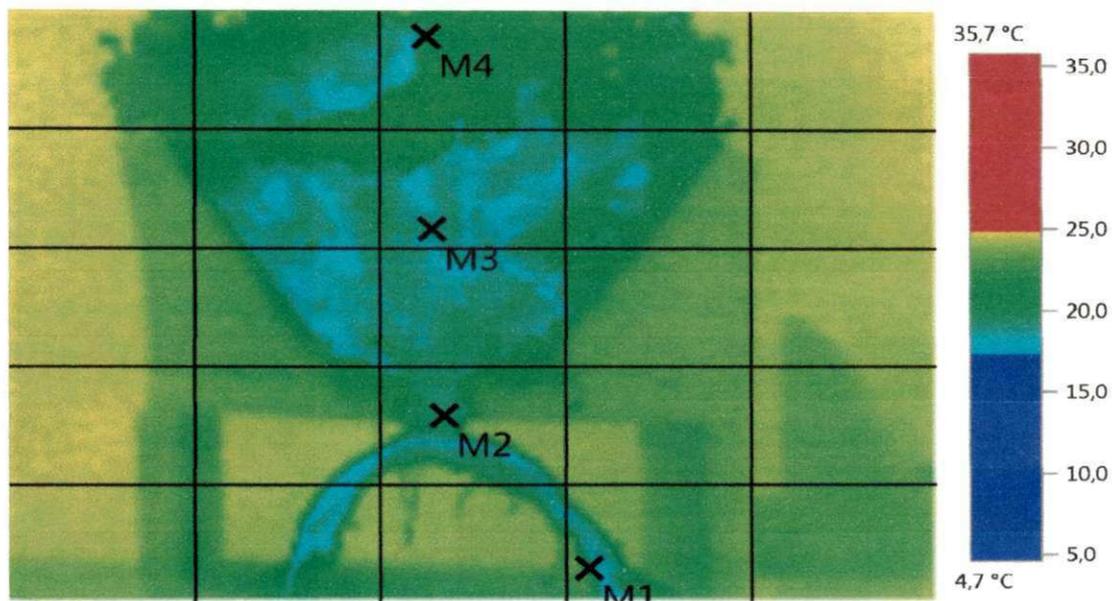


FIGURA 58. Análise térmica da planta submetida à solução nutritiva em temperatura ambiente. M1 – raiz da planta, M2 – caule da planta, M3 – meio da planta e M4 – extremidade das folhas.

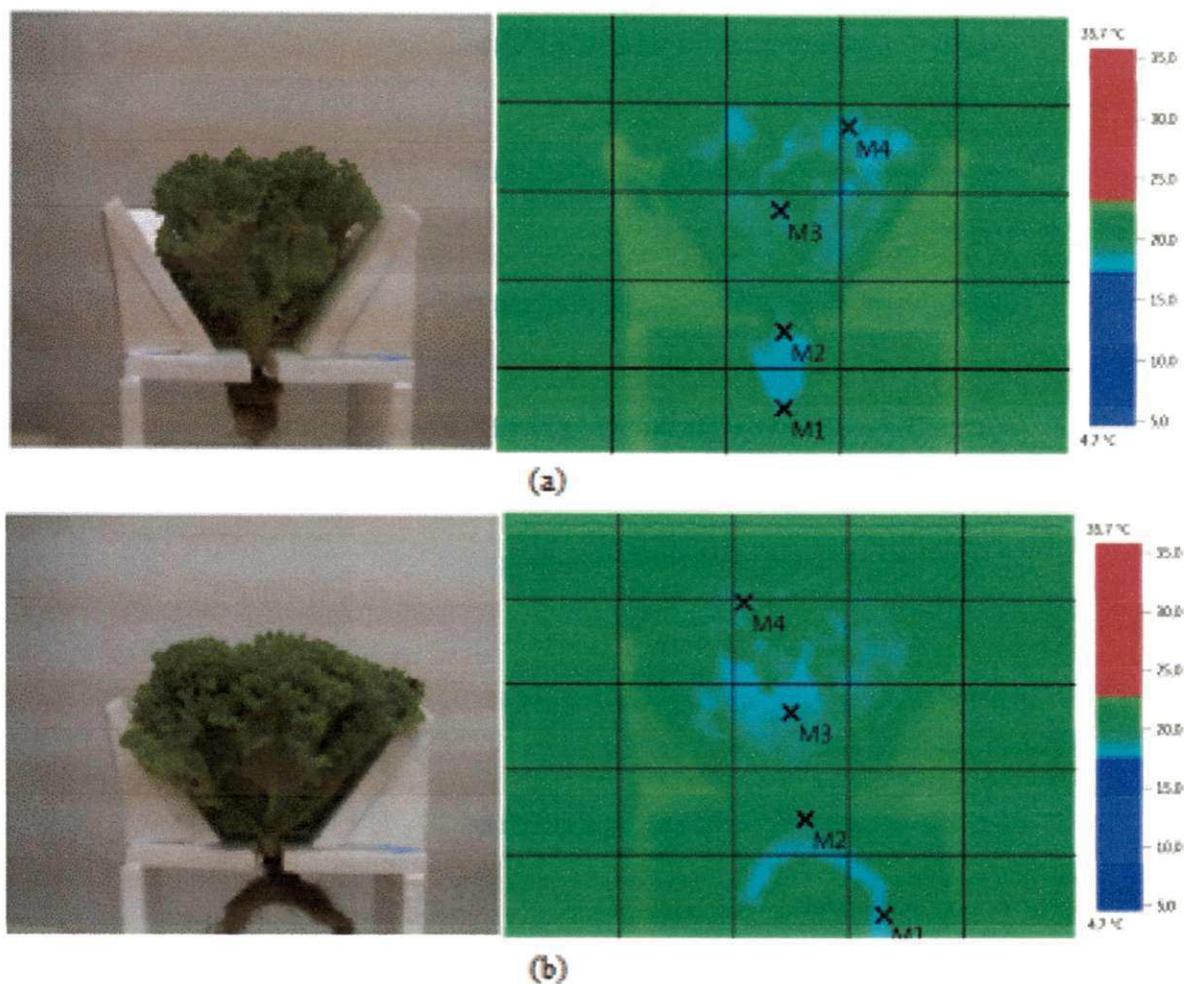


FIGURA 59. Análise térmica da planta submetida à solução nutritiva em temperatura ambiente. M1 – raiz da planta, M2 – caule da planta, M3 – meio da planta e M4 – extremidade das folhas.

As Figuras 60 e 61 apresentam as imagens térmicas das plantas irrigadas com solução nutritiva a 25°C.

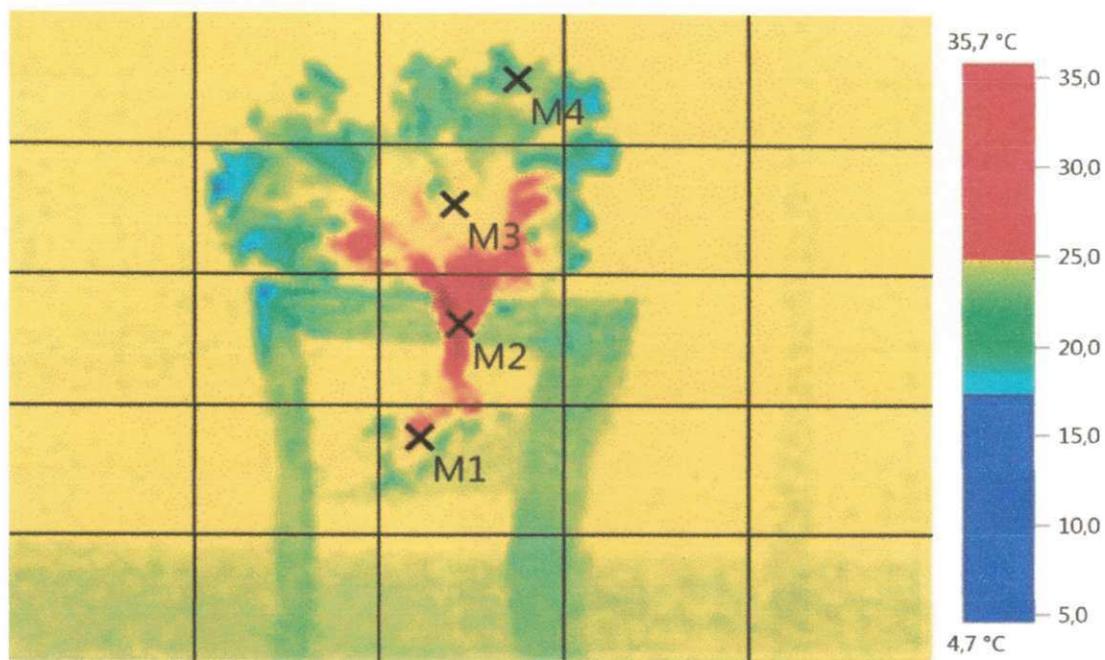


FIGURA 60. Análise térmica da planta submetida à solução nutritiva a 25°C. M1 – raiz da planta, M2 – caule da planta, M3 – meio da planta e M4 – extremidade das folhas.

Nas imagens térmicas das plantas que foram irrigadas com solução nutritiva a 25°C, verificou-se que as temperaturas, tanto da raiz quanto do caule, como também a do meio da planta, ficaram muito próximas da temperatura da solução nutritiva enquanto que a temperatura da extremidade das folhas apresentou tendência de equilíbrio térmico com a temperatura do ar.

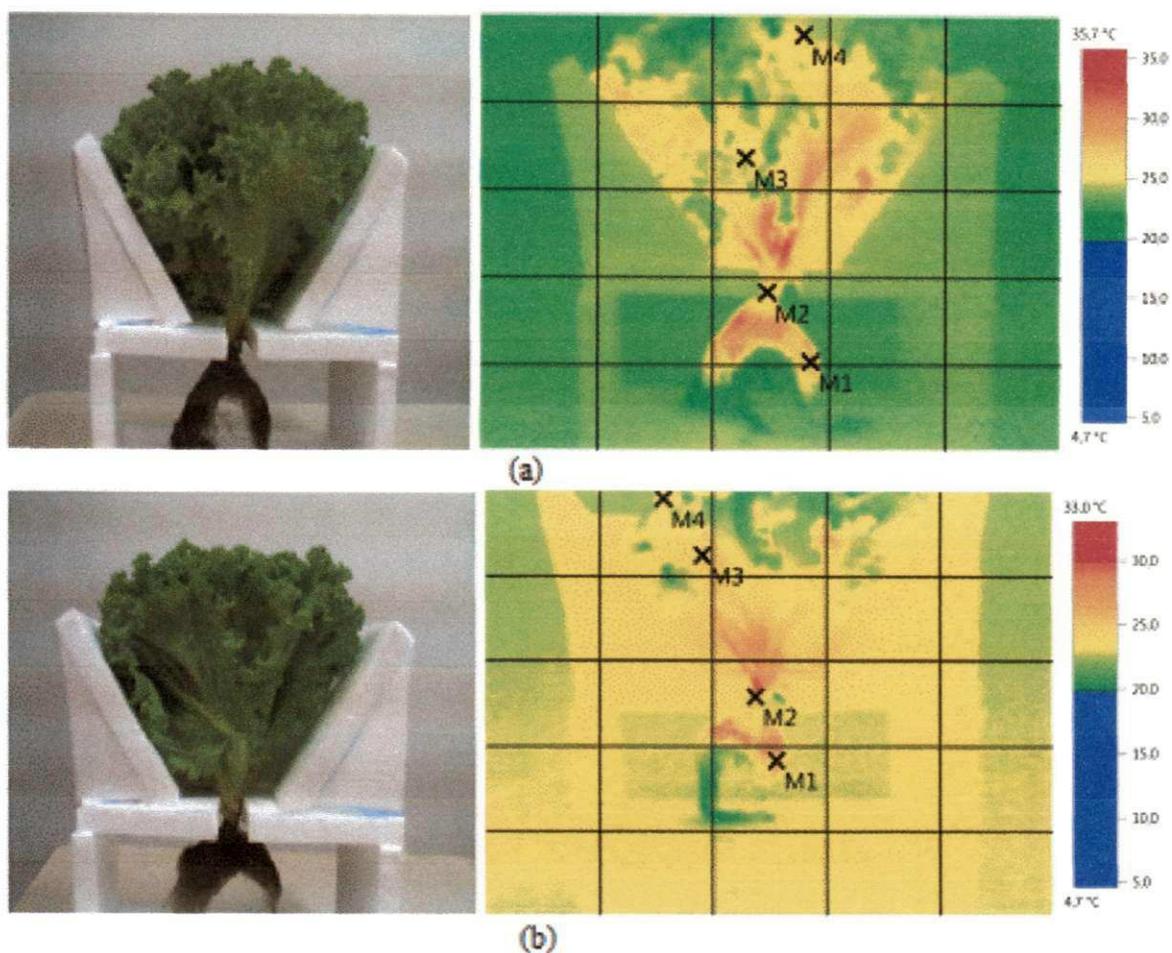


FIGURA 61. Análise térmica da planta submetida à solução nutritiva a 25°C. M1 – raiz da planta, M2 – caule da planta, M3 – meio da planta e M4 - extremidade das folhas.

Na Figura 62, vê-se o comportamento térmico da alface quando irrigada com solução nutritiva em temperatura ambiente, a 15°C e 25°C. Na irrigação das plantas nestas temperaturas, constatou-se que a temperatura da raiz foi muito próxima à da solução nutritiva enquanto que nas plantas irrigadas com solução nutritiva em temperatura ambiente, a temperatura da raiz foi maior do que a da solução nutritiva.

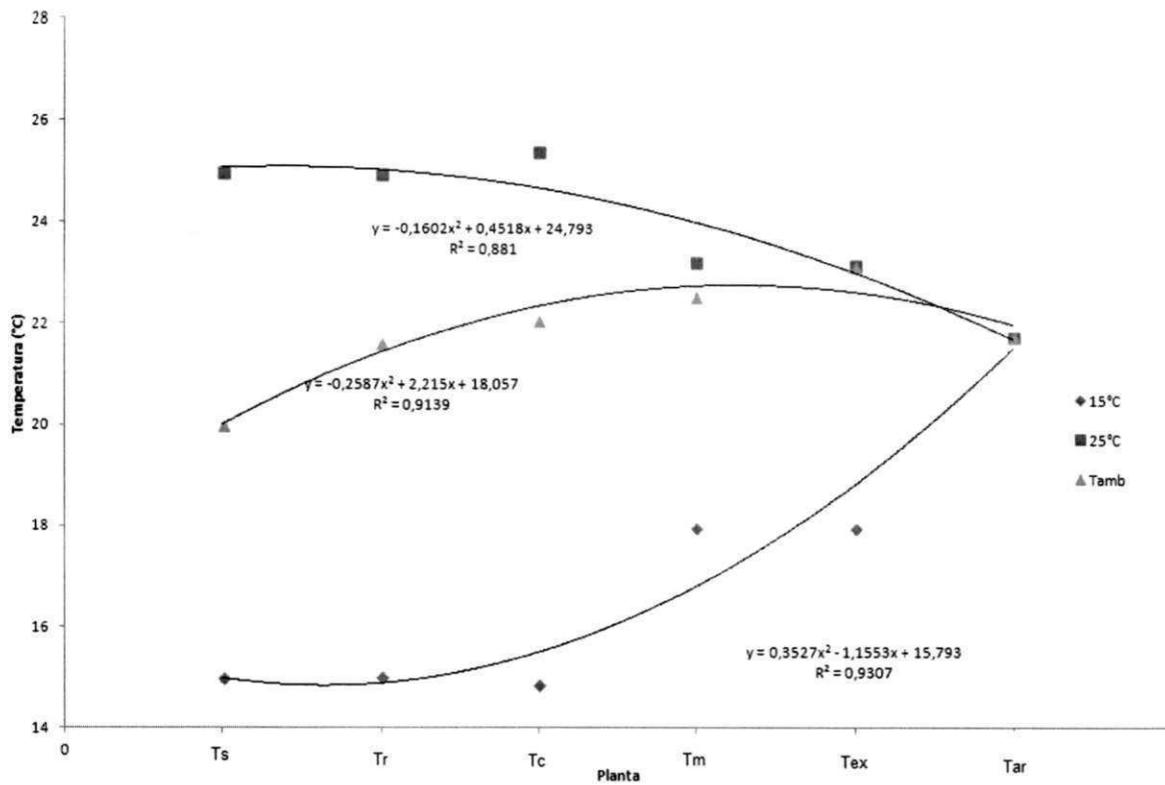


FIGURA 62 Equações de regressão para as temperaturas nas partes da planta (Ts – Temperatura da Solução Nutritiva, Tr – Temperatura da raiz, Tc – Temperatura do Caule, Tm – Temperatura do meio da planta, Tex – Temperatura da extremidade da folha, Tar – Temperatura do ar).

Em relação ao comportamento térmico das plantas que foram irrigados com solução nutritiva em temperaturas diferentes, a temperatura da planta tendeu a ficar em equilíbrio com a temperatura do meio.

## CONCLUSÕES

A realização do experimento e os resultados obtidos em relação à metodologia empregada neste estudo permitem as seguintes conclusões:

1. As vazões utilizadas não influenciaram o acúmulo de nitrato e pigmentos;
2. A maior temperatura proporcionou maior acúmulo de nitrato nas folhas;
3. Os teores de nitrato nas folhas encontram-se dentro dos padrões internacionais;
4. A temperatura influenciou o acúmulo de pigmentos fotossintéticos;
5. Ocorreu elevada correlação entre leitura com clorofilômetro e quantificação de pigmentos;
6. A vazão influenciou positivamente a taxa de crescimento absoluto relativa ao diâmetro de caule, à altura de planta e ao número de folhas;
7. A maior produção de massa fresca da parte aérea foi de 286,19 g, obtida na temperatura de 25°C em vazão de 2,0 L.min<sup>-1</sup>, correspondendo a um valor 97,3% maior que o menor valor, 145,07 g, obtida na temperatura de 15°C e vazão de 0,5 L.min<sup>-1</sup>;
8. A produção de massa fresca da parte aérea foi influenciada positivamente pela temperatura e vazão da solução nutritiva;

9. A maior produção de massa seca total foi de 35,72 g, em temperatura ambiente e vazão de 2,0 L.min<sup>-1</sup>, 95,2% maior que o menor valor, 13,19 g, na temperatura de 15°C e vazão de 0,5 L.min<sup>-1</sup>;
10. A produção de massa seca total foi influenciada positivamente pela temperatura e pela vazão da solução nutritiva;
11. Por meio da avaliação do comportamento térmico das plantas cultivadas com soluções nutritivas em temperaturas diferentes, observou-se uma tendência da temperatura da planta entrar em equilíbrio com a temperatura do meio.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AL-HAMDANI S.H.; GHAZAL J.J. *Selected physiological responses of Salvinia minima to various temperatures and light intensities*. Am. Fern J. 99: 155-161. 2009.

ANDRIOLO, J.L. *Olericultura Geral: princípios e técnicas*. Santa Maria: Ed. UFSM, 2002. 158p.

APRÍGIO, A; REZENDE, R; FREITAS, P.S.L. de; COSTA, A.R. da; SOUZA, R. S. de, . **Teor de nitrato em alface hidropônica em função de vazões e períodos de pós-colheita**. Rev. bras. eng. agríc. ambient., Campina Grande, v. 16, n. 9, set. 2012 . Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1415-43662012000900004&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662012000900004&lng=pt&nrm=iso)>. acessos em 01 set. 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S1415-43662012000900004>.

APRIGIO, A. **Nitrato na folha da alface (*Lactuca sativa* L.) no cultivo hidropônico com diferentes vazões em função do tempo de pós-colheita**. UEM, 2008. 70 p. (Tese de doutorado)

ARGENTA, G.; SILVA, P.R.F. da; SANGOI, L. *Leaf relative chlorophyll content as an indicator parameter to predict nitrogen fertilization in maize*. Ciência Rural, v. 34, n. 05, p. 1379-1387, 2004.

AUMONDE, T. Z.; LOPES, N. F.; MORAES, D. M.; PEIL, R. M. N.; PEDÓ, T. **Análise de crescimento do híbrido de mini melancia Smile® enxertada e não enxertada**. Interciencia, Caracas, v. 36, n. 9, p. 677-681, 2011.

AVERY, J. S. **Malthus**. Issue 6 Part 2 Volume 1 Knowledge, Science & Values. Cadmus Journal. Zagreb, 2013. Pg 110-122;

BACELAR E.A.; SANTOS D.L.; MOUTINHO-PEREIRA J.M.; GONÇALVES B.C.; FERREIRA H.F.; CORREIA C.M; *Immediate responses and adaptative strategies of three olive cultivars unde contrasting water availability regimes: Changes on structure and chemical compositions of foliage and oxidative damage*. Plant Sci. 170:596-605. 2006.

BARBIERI JUNIOR, R.; R.T. O. P. ROSSIELLO; R. V. M. M. SILVA; R. C. RIBEIRO; M. J. F. MORENZ. **Um novo clorofilômetro para estimar os teores de clorofila em folhas do capim Tifton 85**. Cienc. Rural, Santa Maria , v. 42, n. 12, Dec. 2012 . Available from <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-84782012001200022&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782012001200022&lng=en&nrm=iso)>. access on 09 Sept. 2013. Epub Oct 09, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782012005000109>.

BENINCASA, M.M.P. **Análise de Crescimento de Plantas**. Jaboticabal. FUNEP. 2004. 42p.

BENINCASA, M.M.P. **Análise de crescimento de plantas (noções básicas)**. 2ed Jaboticabal: FUNEP, 41p. 2003.

BOINK, A.; SPEIJERS, G. *Health effect of nitrates and nitrites, a review. Acta Horticulturae*, n. 563, p. 29-36, 2001.

BOTHA, E.J.; ZEBARTH, B.J.; LEBLON, B. *Non-destructive estimation of potato leaf chlorophyll and protein contents from hyperspectral measurements using the PROSPECT radiative transfer model. Canadian Journal of Plant Science*, v. 86, n. 01, p. 279-291, 2006.

BRASIL, Casa Civil. Presidência da República. Lei 11 346, de 15 de setembro de 2006. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2004-2006/2006/lei/111346.htm?](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/111346.htm?) Acessado em agosto de 2013.

BRASIL. Conselho Nacional de Segurança Alimentar e Nutricional. **A segurança alimentar e nutricional e o direito humano à alimentação adequada no Brasil**. Brasília, DF: CONSEA, 2010.

Disponível em: <http://www4.planalto.gov.br/consea/publicacoes/publicacoes-arquivos/a-seguranca-alimentar-e-nutricional-e-o-direito-humano-a-alimentacao-adequada-no-brasil>  
Acesso em: 16 de junho de 2012.

BREITENSTEIN, O.; WARTA, W.; LANGENKAMP, M.; *Lock-in thermography - springer series in advanced microelectronics 10*. SPRINGER VERLAG GERM, 2010

BRITO, G. G.; BRANDÃO, Z. N.; SILVA, V. B.; FRANKLIN, M. S.; SILVA, D. A. *Non-destructive analysis of photosynthetic pigments in cotton plants. Acta Scientiarum Agronomy*, Maringá, v. 33, n. 4, p. 671-678, 2011.

BRITO, G. G.; SOFIATTI, V.; BRANDÃO, Z. N.; BELO SILVA, V.; SILVA, F. M.; SILVA D. A. *Non-destructive analysis of photosynthetic pigments in cotton plants. Acta Sci., Agron. (Online)*, Maringá, v.33, n.4, p.671-678, 2011. Available from [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1807-86212011000400016&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1807-86212011000400016&lng=en&nrm=iso). access on 09 Sept. 2013.

CARMELLO, Q.A.C. **Cultivo hidropônico de plantas**. Piracicaba: ESALQ-USP, 1997. 43p.

CATALDO, D.A.; ARAÚJO, M.; SCHRADER, L.E.; YOUNGS, V.L. *Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid Commun. Soil Science and plant Anal*, New York, v. 6, n. 1, p. 71-80, 1975.

CE – Comunidade Européia - Regulamento (CE) n.º 1881/2006 da Comissão, de 19 de Dezembro de 2006.

COMETTI N.N. **Nutrição mineral da alface (*Lactuca sativa* L.) em cultura hidropônica sistema NFT**. Seropédica: UFRRJ. 128p (Tese doutorado). 2003.

COMETTI, N.N.; MATIAS, G.C.S.; ZONTA, E.; MARY, W.; FERNANDES, M.S. **Compostos nitrogenados e açúcares solúveis em tecidos da alface orgânica, hidropônica e convencional. Horticultura Brasileira**, Brasília, v.22, n.4, p.748-753, out-dez 2004.

COMETTI, N.N.; MATIAS, G.C.S.; ZONTA, E.; MARY, W.; FERNANDES, M. S. **Efeito da concentração da solução nutritiva no crescimento da alface em cultivo hidropônico-sistema NFT.** *Hortic. Bras.*, Brasília, v. 26, n. 2, June 2008 . Available from <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0102-05362008000200027&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-05362008000200027&lng=en&nrm=iso)>. access on 22 June 2012.

COMETTI, N.N.; MARTINS, M.Q.; BREMENKAMP, C.A.; NUNES, J.A. **Nitrate concentration in lettuce leaves depending on photosynthetic photon flux and nitrate concentration in the nutrient solution.** *Hortic. Bras.*, Brasília, v. 29, n. 4, Dec. 2011 . Available from <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0102-05362011000400018&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-05362011000400018&lng=en&nrm=iso)>. access on 22 June 2012.

COMETTI NN; BREMENKAMP DM; GALON K; HELL LR; ZANOTELLI MF. 2013. **Cooling and concentration of nutrient solution in hydroponic lettuce crop.** *Horticultura Brasileira* 31: 287-292.

COSTA C.P; SALA F.C. 2005. **A evolução da alficultura brasileira.** *Horticultura Brasileira*. 23: 1(artigo de capa).

COSTA, P.C.; DIDONE, E. B.; SESSO, T. M.; CAÑIZARES, K. A. L.; GOTO, R. **Condutividade elétrica de solução nutritiva da alface em hidroponia.** *Scientia Agricola*, v. 58, p. 595-597, 2001.

DIAS, N. da S.; SOUSA-NETO O.N. de; COSME, C.R.; JALES, A.G. de O. ; REBOUÇAS, J.R.L.; OLIVEIRA, A.M. de. **Resposta de cultivares da alface à salinidade da solução nutritiva com rejeito salino em hidroponia.** *Rev. bras. eng. agríc. ambient.*, Campina Grande, v. 15, n. 10, Oct. 2011 . Available from <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1415-43662011001000001&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-43662011001000001&lng=en&nrm=iso)>. access on 10 Mar. 2012.

ESCOÍN-PEÑA M.C; IBANEZ M.A.C; SANTAMARIA A.A; LAZARO R.C. **Contenido de nitratos em lechuga y espinacas frescas.** *Alimentaria*, v, v. 29 p. 37-41. 1998.

FALKER AUTOMAÇÃO AGRÍCOLA LTDA. **Manual do medidor eletrônico de clorofila ClorofiLOG CFL 1030,** Porto Alegre, 2008. 4p.

FAQUIM V; ANDRADE A.T. 2004. **Nutrição mineral e diagnose do estado nutricional das hortaliças.** Lavras: UFLA/FAEPE. 88 p.

FAQUIN, V.; FURLANI, P.R. **Cultivo de hortaliças de folhas em hidropônia em ambiente protegido.** *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v.20, n.200/201, p.99-104, set./dez. 1999.

FAVARIN, J. L.; NETO, D. D. GARCIA, A.; VILLA NOVA, N. A.; FAVARIN, M. G. G. **V. Equações para a estimativa do índice de área foliar do cafeeiro.** *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v.37, n.6, p.769-773, 2002.

FENECH-LARIOS, L.; E TROYO-DIÉGUEZ, M TRASVIÑA-CASTRO, F RUIZ-ESPINOZA, A BELTRÁN-MORALES, B MURILLO-AMADOR, J GARCÍA-

HERNÁNDEZ, S ZAMORA-SALGADO. *Relación entre un método no destructivo y uno de extracción destructivo, para medir el contenido de clorofila en hojas de plántula de albahaca (Ocimum basilicum L).* Universidad y ciencia [online]. 2009, vol.25, n.1, pp. 99-102. ISSN 0186-2979.

FERNANDES, A.A.; MARTINEZ, H.E.P.; PEREIRA, P.R.G; FONSECA, M.C.M. Produtividade, acumulo de nitrato e estado nutricional de cultivares da alface, em hidroponia, em função de fontes de nutrientes. Horticultura Brasileira, Brasília, v.20, 2,p. 1995-200, 2002.

FERREIRA, D.F. *Sisvar - Sistema de Análise de Variância*. 2006.

FERREIRA, M.M.M; FERREIRA, G.B.; FONTES, P.C.R; DANTAS, J.P.; **Índice SPAD e teor de clorofila no limbo foliar do tomateiro em função de doses de nitrogênio e da adubação orgânica, em duas épocas de cultivo.** Revista Ceres, v. 53, n. 305, p. 83-92, 2006.

FILGUEIRA, F.A.R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças.** Viçosa, MG: UFV. 2008. 421 p.

FILGUEIRAS, R.C; TAKAHASHI, H.W; BENINI, E.R.Y. **Produção da alface hidropônico em diferentes condutividade elétricas.** Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v.23, n.2, p. 157-164, 2002.

FURLANI, P.R.; SILVEIRA, L.C.P.; BOLONHEZI, D.; FAQUIN, V. **Cultivo Hidropônico de Plantas: Parte 2 - Solução Nutritiva.** 2009. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <[http://www.infobibos.com/Artigos/2009\\_2/hidroponiap2/index.htm](http://www.infobibos.com/Artigos/2009_2/hidroponiap2/index.htm)>. Acesso em:20/8/2013

FURLANI, P. R.; BOLONHEZI, D.; SILVEIRA, L. C. P.; FAQUIN, V. **Nutrição mineral de hortaliças, preparo e manejo de soluções nutritivas.** Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 20, n. 200/201, p. 90-98, 1999.

FURTADO, L. F. **Vazão de aplicação de solução nutritiva, teor de nitrato em alface, sob cultivo hidropônico e aceitabilidade sensorial.** UNIOESTE, 2008. 77 p. (Dissertação de Mestrado)

GENUNCIO, G. . **Produção de cultivares da alface em sistema NFT variando concentração e vazão da solução.** Hort. Bras., Vitoria da Conquista , v. 30, n. 3, Sept. 2012 . Available from <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0102-05362012000300028&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-05362012000300028&lng=en&nrm=iso)>. access on 07 Sept. 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-05362012000300028>.

GERICK, W. F. **O que é hidropônia.** Disponível em: <<http://hydor.eng.br/Pagina4.htm>> Acesso em 12 de Janeiro de 2012.

GESCH RW, FORCELLA F. *Differential sensitivity to temperature of Cuphea vegetative and reproductive growth.* Ind. Crops and Products 25:305-309. (2007).

GONDIM, A.R. de O.; FLORES, M.E.P.; MARTINEZ, H.E.P.; FONTES, P.C.R.; PEREIRA, P.R.G. **Condutividade elétrica na produção e nutrição da alface Em sistema de cultivo hidropônico NFT.** BIOSCIENCE JOURNAL Uberlândia, v. 26, n. 6, p. 894-904, Nov./Dec. 2010

HEIFFIG, L. S. **Plasticidade da cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) em diferentes arranjos espaciais.** 2002. 85 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

HELBEL JUNIOR C.; REZENDE, R.; FREITAS P. S. L. de; GONÇALVES, A.C.A.; FRIZZONE, J. A. **Influência da condutividade elétrica, concentração iônica e vazão de soluções nutritivas na produção da alface hidropônica.** Ciênc. agrotec., Lavras, v. 32, n. 4, Aug. 2008 . Available from <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-70542008000400016&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-70542008000400016&lng=en&nrm=iso)>. access on 30 June 2012.

HUANG C. B.; WANG Z. H.; LI S.X.; MALHI S. S. **Nitrate in leaf petiole and blade of spinach cultivars and its relation to biomass and water in plants.** *Journal of Plant Nutrition*, 33: 1112-1123. 2010.

HUNT, R. **Basic growth analysis.** London: Unwin Hyman, 1990. 112p

IBGE - instituto Brasileiro de Geografia e estatística. Censo demográfico. 2006. disponível em: <  
<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/2006/agropecuario.pdf>> ACESSO EM 15 de maio de 2013.

IBGE, **Estimativas populacionais para os municípios brasileiros.** <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/estimativa/default.shtm>. 2013

INCROPERA, F. P; De WITT, D. P. **Fundamentals of heat and mass transfer**, 5th ed. New York: John Wiley & Sons, 2003.

JAWORSKA, G. **Content of nitrates, nitrites, and oxalates in New Zealand spinach.** *Food Chemistry* 89: 235-242. 2005.

JESUS FILHO, J. D. Hidroponia – Cultivo sem solo. Viçosa, MG. Ed. CPT, 2009

JESUS, S. V. de; MARENCO, R. A.. **O SPAD-502 como alternativa para a determinação dos teores de clorofila em espécies frutíferas.** *Acta Amaz.*, Manaus , v. 38, n. 4, Dec. 2008 . Available from <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0044-59672008000400029&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0044-59672008000400029&lng=en&nrm=iso)>. access on 09 Sept. 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672008000400029>.

KEPPLE A, SEGALL-CORRÊA A. **Conceituando e Medindo Segurança Alimentar e Nutricional.** *Ciência & Saúde Coletiva* (Online) 2008 Agosto[11- 19]. Available from: [http://www.abrasco.org.br/cienciaesaudecoletiva/artigos/artigo\\_int.php?id\\_artigo=1511](http://www.abrasco.org.br/cienciaesaudecoletiva/artigos/artigo_int.php?id_artigo=1511)

KERBAUY, G.B. **Fisiologia vegetal**. 2 ed. Rio de Janeiro - RJ: Guanabara Koogan, 2012. 431 p.

LAWLOR, D. R. **Carbon and nitrogen assimilation in relation to yield: mechanisms are the key to understanding production systems**. Journal of Experimental Botany, v. 53, p. 773-787, 2002.

LICHTENTHALER, H. K.; WELBURN, A. R. **Determination of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf extracts in different solvents**. Biochemical Society Transactions. v.11, p.591-592, 1983.

LIMA P. M.; SÃO JOSÉ J. F. B.; ANDRADE N. J.; PIRES A. C. S.; FERREIRA S. O. **Interaction between natural microbiota and physicochemical characteristics of lettuce surfaces can influence the attachment of Salmonella Enteritidis**. Food Control p. 157 a161. 2013.

LORENTE, D.; ALEIXOS, N.; GÓMEZ-SANCHIS, J.; CUBERO, S.; GARCÍA-NAVARRETE, L. O.; BLASCO. J.; **Recent Advances and Applications of Hyperspectral Imaging for Fruit and Vegetable Quality Assessment**. Food and Bioprocess Technology May 2012, Volume 5, Issue 4, pp 1121-1142

LAWLOR, D. Photosynthesis: **Molecular, physiological and environmental processes**. England: Pearson Education Limited, 1993. 328 p.

LUZ, G. L. da; MEDEIROS, S. L. P.; MANFRON, P. A.; AMARAL, A. D. do; MÜLLER, L.; TORRES, M. G.; MENTGES, L.; **A questão do nitrato em alface hidropônica e a saúde humana**. Cienc. Rural, Santa Maria, v. 38, n. 8, Nov. 2008 . Available from <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-84782008000800049&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-84782008000800049&lng=en&nrm=iso)>. access on 22 June 2012.

LUZ, J. M. Q.; GUIMARÃES, S. T. M. R.; KORNDÖRFER, G. H. **Produção hidropônica da alface em solução nutritiva com e sem silício**. Horticultura Brasileira, Brasília, v.24, p.295-300, 2006.

MINKINA, W.; DUDZIK, S. **Infrared thermography - errors and uncertainties**. John wiley professio, 2009. 212p.

OHCHR - Office of the United Nations High Commissioner for Human Rights. **International Covenant on Economic, Social and Cultural Rights**. Disponível em: <http://www2.ohchr.org/english/law/cescr.htm> Acessado em agosto de 2013.

OHSE, S; DOURADO-NETO, D; MANFRON, P. A.; SANTOS, O. S. dos. **Qualidade de cultivares da alface produzidos em hidropônia**. Sci. agric., Piracicaba, v. 58, n. 1, mar. 2002. Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-90162001000100027&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-90162001000100027&lng=pt&nrm=iso)>. acessos em 21 mar. 2010.

OHSE S.; RAMOS D. M. R.; CARVALHO S. M.; FETT R.; OLIVEIRA J. L. B. **Composição centesimal e teor de nitrato em cinco cultivares da alface produzidas sob cultivo hidropônico.** *Bragantia* 68: 407-414. 2009.

ONU, **Relatório sobre a Situação da População Mundial 2011** (revisado e publicado em 13 de junho de 2013) <http://www.un.org/spanish/News/story.asp?NewsID=26703#.UgjkYdI3sfh>.

ONU [http://www.un.org/files/BOOK\\_SWOP\\_2012.pdf](http://www.un.org/files/BOOK_SWOP_2012.pdf) . Acessado em 17 de agosto de 2013

PAASONEN, P.; ASMI, A.; PETAJA, T.; KAJOS, M. K.; AIJALA, M.; JUNNINEN, H.; HOLST, T.; ABBATT, J. P. D.; ARNETH, A.; BIRMILI, W.; VAN DER GON, H.D.; HAMED, A.; HOFFER, A.; LAAKSO, L.; LAAKSONEN, A.; LEAITCH, W. R.; PLASS-DULMER, C.; PRYOR, S. C.; RAISANEN, P.; SWIETLICKI, E.; WIEDENSOHLER, A.; WORSNOP, D. R.; KERMINEN, V. M.; KULMALA, M.; *Nature Geoscience*, 2013, Vol.6(6), pp.438-442. Web of Science.

PATEKOSKI, K. da S.; **Patogenicidade e controle biológico de *Pythium aphanidermatum* (Edson) Fitzp. em variedades da alface (*Lactuca sativa* L.) em sistema hidropônico.** Instituto de Botânica da Secretaria do Meio Ambiente. São Paulo. 2010. 69 p. (Dissertação de Mestrado)

PEDÓ, T.; ERNANDES LOPES, N.; MORAES, D. M. DE ; AUMONDE, T. Z.; SACCARO, E. L.; **Crescimento de três cultivares de rabanete (*Raphanus sativus*) ao longo da ontogenia das plantas.** Revista Tecnologia & Ciência Agropecuária. ISSN 1982-2871. João Pessoa, v.4, n.3, p.17-21, set. 2010

PIGNATELLI, B.; MALAVEILLE, C.; ROGATKO, A.; HAUTEFEUILLE, A.; THUILLIER, P.; MUNOZ, N.; MOULINIER, B.; BERGER, F.; de MONTCLOS, H.; LAMBERT, R. **Mutagens, N-nitroso compounds and their precursors in gastric juice from patients with and without precancerous lesions of the stomach.** *European Journal of Cancer*, Edimburg, v.29A, n.14, p.2031-2039, 1993.

RAMALHO, J. C.; QUARTIN, V. L.; LEITÃO, E.; CAMPOS, P. S.; CARELLI, M. L. C.; FAHL, J. I.; NUNES, M. A. **Cold acclimation ability and photosynthesis among species of the tropical *Coffea* genus.** *Plant Biology*, v.5, p.631-641, 2003.

REZENDE, R.; HELBEL JUNIOR, C.; FREITAS, P. S. L.; GONÇALVES, A. C. A.; DALLACORT, R.; FRIZZONE, J. A. **Diferentes soluções nutritivas aplicadas em duas vazões na produção hidropônica da cultura da alface.** Irriga, UNESP. Botucatu, SP. v. 12, n. 3, p. 354-363, 2007.

RIGON, J. P. G.; CAPUANI, S.; BRITO NETO, J. F. DE; BELTRÃO, N.; MACÊDO, E. de. **Indirect measurement of photosynthetic pigments in the leaves of *Jatropha curcas*.** *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 34, n. 2, p. 669-674, mar./abr. 2013

RIGON, J. P. G.; BELTRÃO, N. E. de M.; CAPUANI, C.; BRITO NETO, J. F. de; SILVA, F. V. de F. **Análise não destrutiva de pigmentos fotossintéticos em folhas de gergelim.** Agriambi, Campina Grande, v. 16, n. 3, p. 258-261, 2012

RODRIGUES, L. R. F. **Técnicas de cultivo hidropônico e de controle ambiental no manejo de pragas, doenças e nutrição vegetal em ambiente protegido.** Jaboticabal: Funep/Unesp, 2002. 762 p.

SILVA, E. A.; DAMATTA, F. M.; DUCATTI, C.; REGAZZI, A. J.; BARROS, R. S. **Seasonal changes in vegetative growth and photosynthesis of Arabica coffee trees.** Field Crops Research, v.89, p.349-357, 2004.

SILVA, L. C.; BELTRÃO, N. E. de M.; AMORIM NETO, M. da S. **Análise de crescimento de comunidades vegetais.** Campina Grande: EMBRAPA-CNAPA. 47p. 2000.

SOUSA, C. S.; BONETTI, A. M.; GOULART FILHO, L. R.; MACHADO, J. R. A.; LONDE, L. N.; BAFFI, M. A.; RAMOS, R. G.; VIEIRA, C. U.; KERR, W. E. **Divergência genética entre genótipos da alface por meio de marcadores AFLP.** Bragantia, v.66, p.11-16, 2007.

STEIDLE NETO, A. J.; ZOLNIER, S.; MAROUELLI, W. A.; CARRIJO, O. A.; MARTINEZ, H. E. P. **Avaliação de um circuito eletrônico para medição da condutividade elétrica de soluções nutritivas.** Eng. Agríc., Jaboticabal, v. 25, n. 2, Aug. 2005. Available from <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-69162005000200016&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162005000200016&lng=en&nrm=iso)>. access on 07 Sept. 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-69162005000200016>.TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia vegetal.** 5.ed. Trad. de E.R. Santarém. Porto Alegre: Artmed, 2013. 719p.

SUMRIDDECHKAJORN, S.; YINTARAVANNE, Y.; **Two-dimensional fruit ripeness estimation using thermal imaging,** Proc. SPIE8883, ICPS 2013: International Conference on Photonics Solutions, 88831C (June 7, 2013); doi:10.1117/12.2019654; <http://dx.doi.org/10.1117/12.2019654>

TAKAHASHI, H. W.; HIDALGO, P. C.; FADELLI, L.; CUNHA, M. E. T. **Composição e manejo da solução nutritiva visando a diminuição do teor de nitrato nas folhas da alface hidropônico.** Horticultura Brasileira, p. 6-9, v.25, n.1, Brasília Jan/Mar. 2007.

TAMME, T., REINIK, M., ROASTO, M., JUHKAM, K. TENNO, T., & KIIS, A. (2006). **Nitrates and nitrites in vegetables and vegetable-based products and their intakes by the Estonian population.** Food Additives and Contaminants, 23(4), 355–361.

URRESTARAZU M. **Infrared thermography used to diagnose the effects of salinity in a soilless culture.** Quantitative InfraRed Thermography Journal. Taylor e Francis Editora. Volume 10, Issue 1, 2013

VIANA M. C. M.; FRERE F. M.; GONÇALVES L. D.; MASCARENHAS M. H. T.; LARA F. R.; ANDRADE C. L. T.; PURCINO H. M. A. **Índice de clorofila na folha da alface submetida a diferentes doses de nitrogênio.** Horticultura Brasileira 26: S86-S90. 2008.

VIEIRA, R. M. da S. P.; CUNHA, A. P. M. do A.; ALVALÁ, R. C. dos S.; CARVALHO, V. C.; FERRAZ NETO, S.; SESTINI M. F. **Land use and land cover map of a semiarid region of Brazil for meteorological and climatic models.** Rev. bras. meteorol., São Paulo, v. 28, n. 2, June 2013. Available from <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0102-77862013000200002&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-77862013000200002&lng=en&nrm=iso)>. access on 12 Aug. 2013. <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-77862013000200002>.

VILLAS BÔAS, R. L. **Doses de nitrogênio para o pimentão aplicadas de forma convencional e através da fertirrigação.** Botucatu, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, 2001. 123p. (Tese de Livre Docência)

WITZKE, H. VON; NOLEPPA S.; SCHWARZ G. **Global agricultural market trends revisited: The roles of energy prices and biofuel production.** Department of Agricultural Economics and Social Sciences, Chair for International Agricultural Trade and Development, Humboldt University of Berlin, Germany. 2009

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Evaluation of certain food additives and contaminants. (Forty-fourth report of the Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives).** Geneva: FAO/WHO. p.54 (WHO Technical Report Series, 859).2011

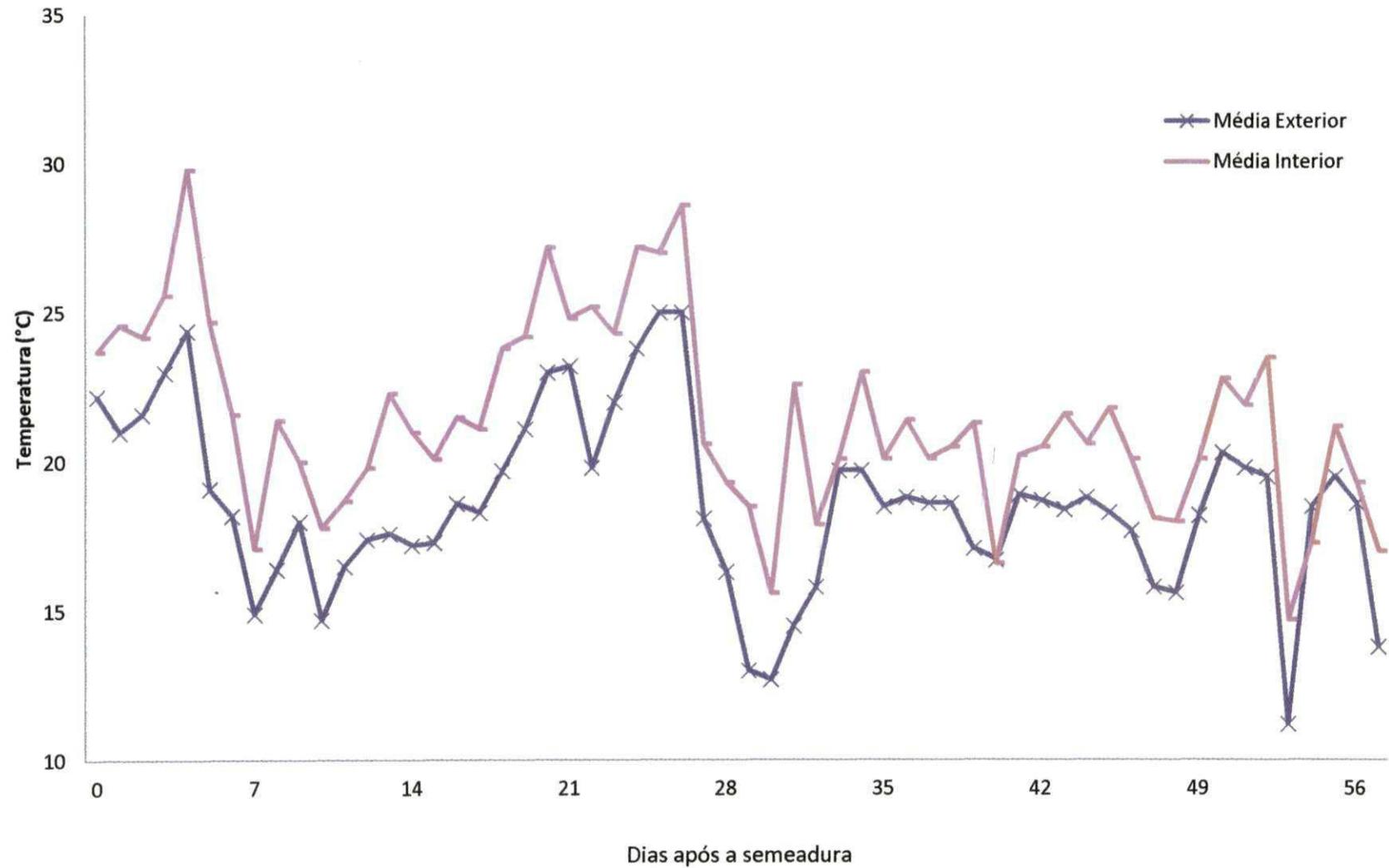
WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Toxicological evaluation of certain food additives with a review of general principles and of specifications. Seventeenth report of the joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives.** FAO Nutrition Report Series, Geneva n.344, p.42, 2012.

ZANELLA, F.; LIMA, A.L. da S.; SILVA JÚNIOR, F. F. da; MACIEL, S. P. A. **Crescimento da alface hidropônica sob diferentes intervalos de irrigação.** Ciênc. agrotec., Lavras, v. 32, n. 2, p. 366 -370, mar./abr., 2008.

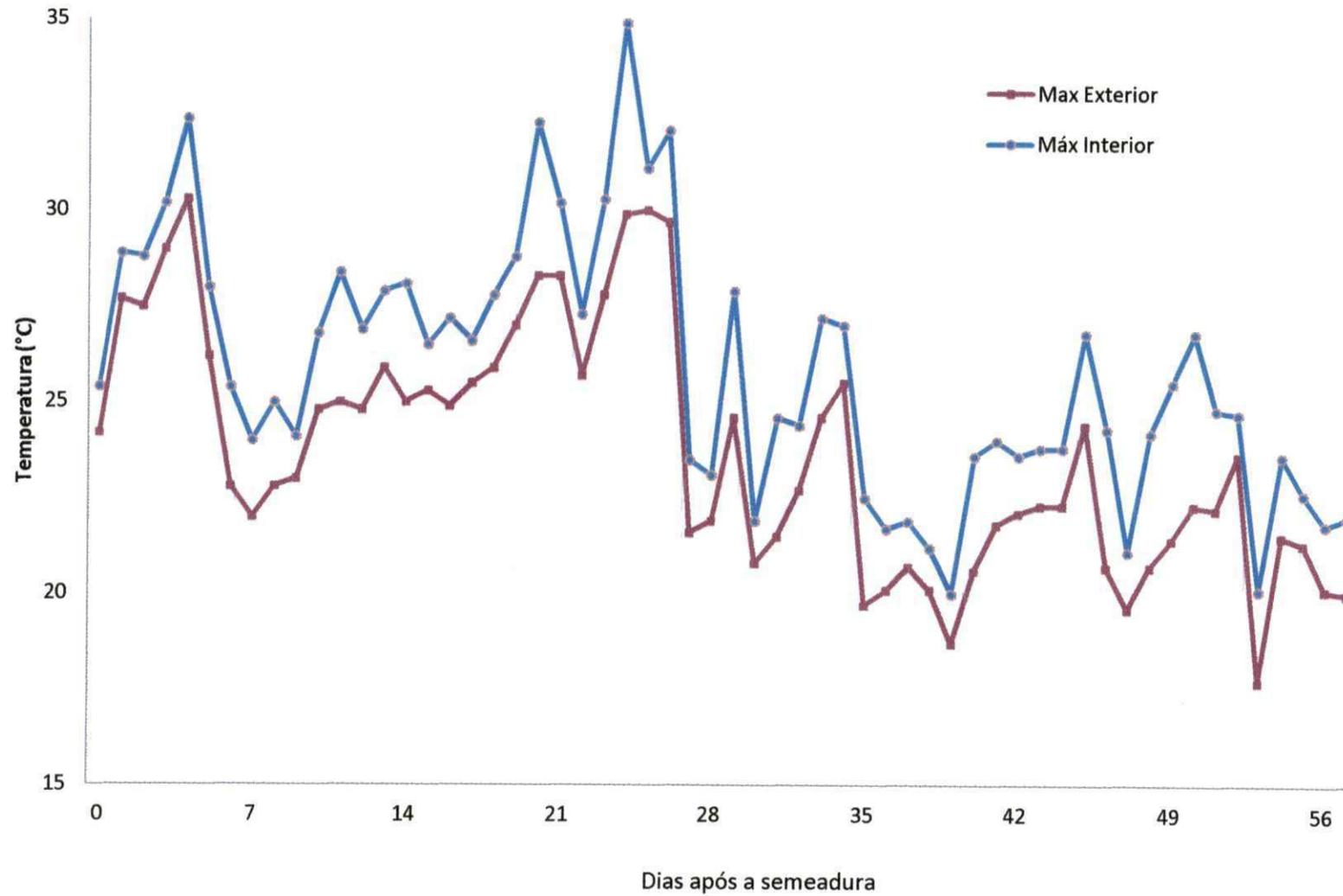
## **ANEXO I**

### **Gráficos de Temperatura do Ar**

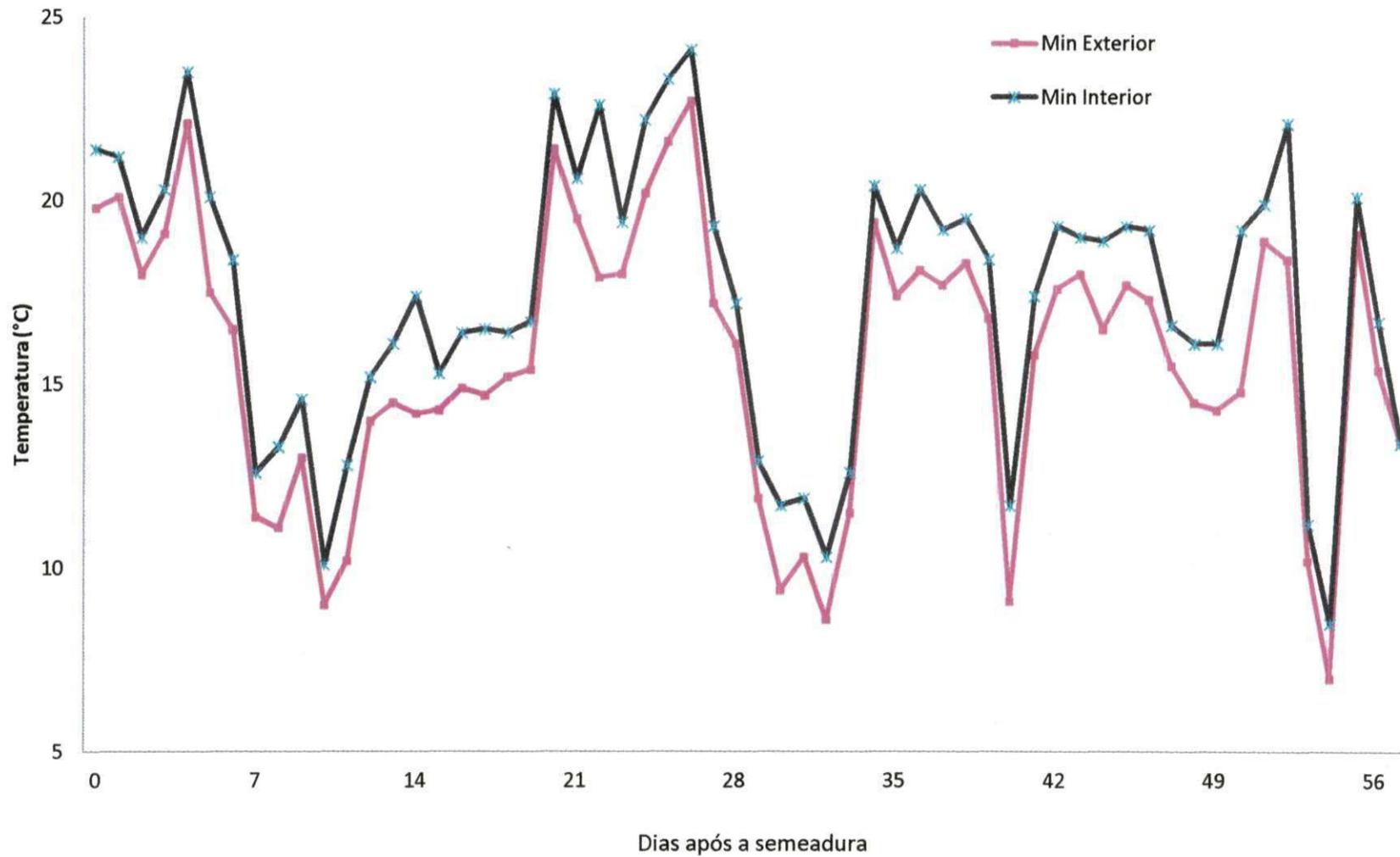
## Temperatura Média no Interior e Exterior da Estufa



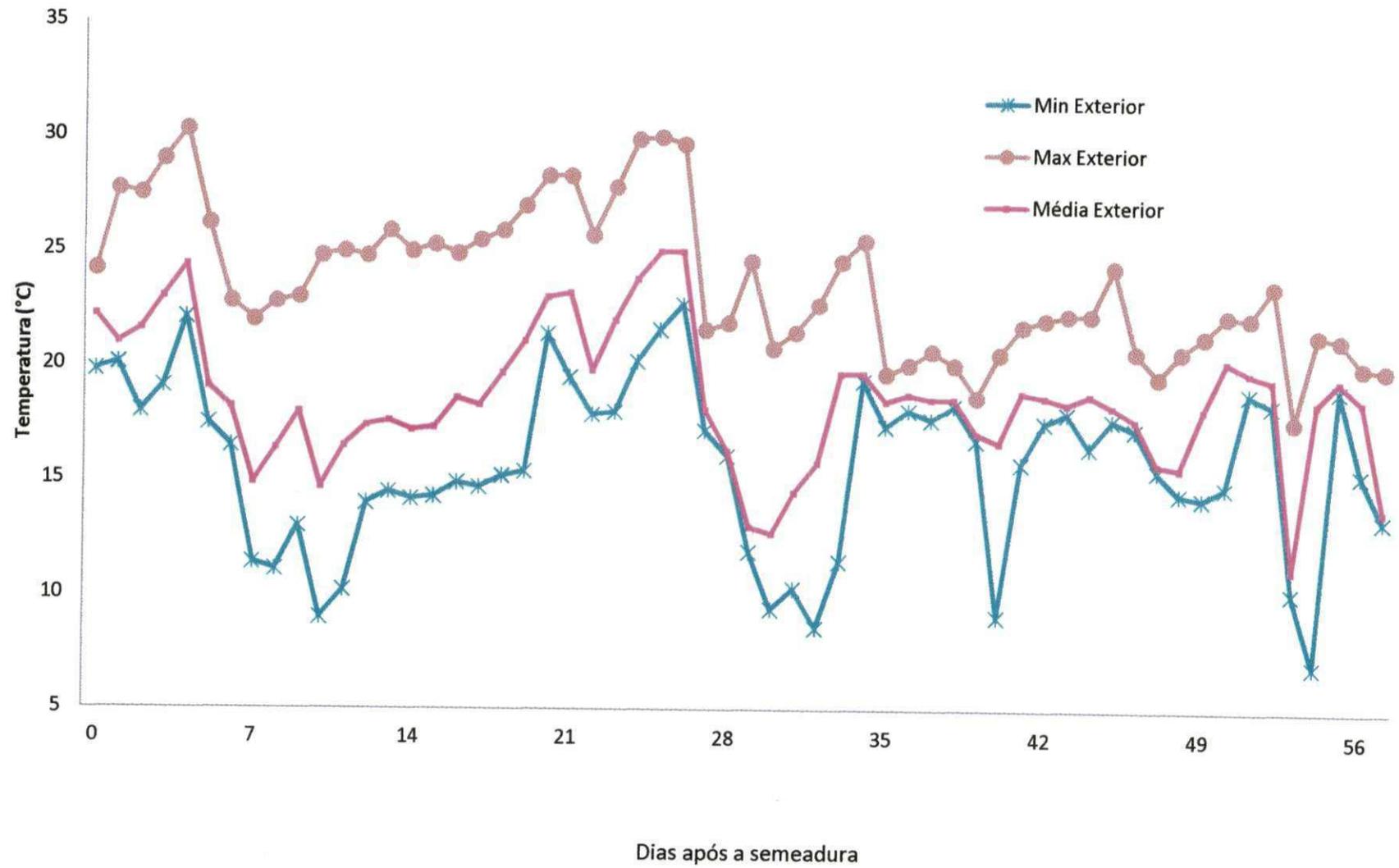
## Temperaturas Máximas no Interior e Exterior da Estufa



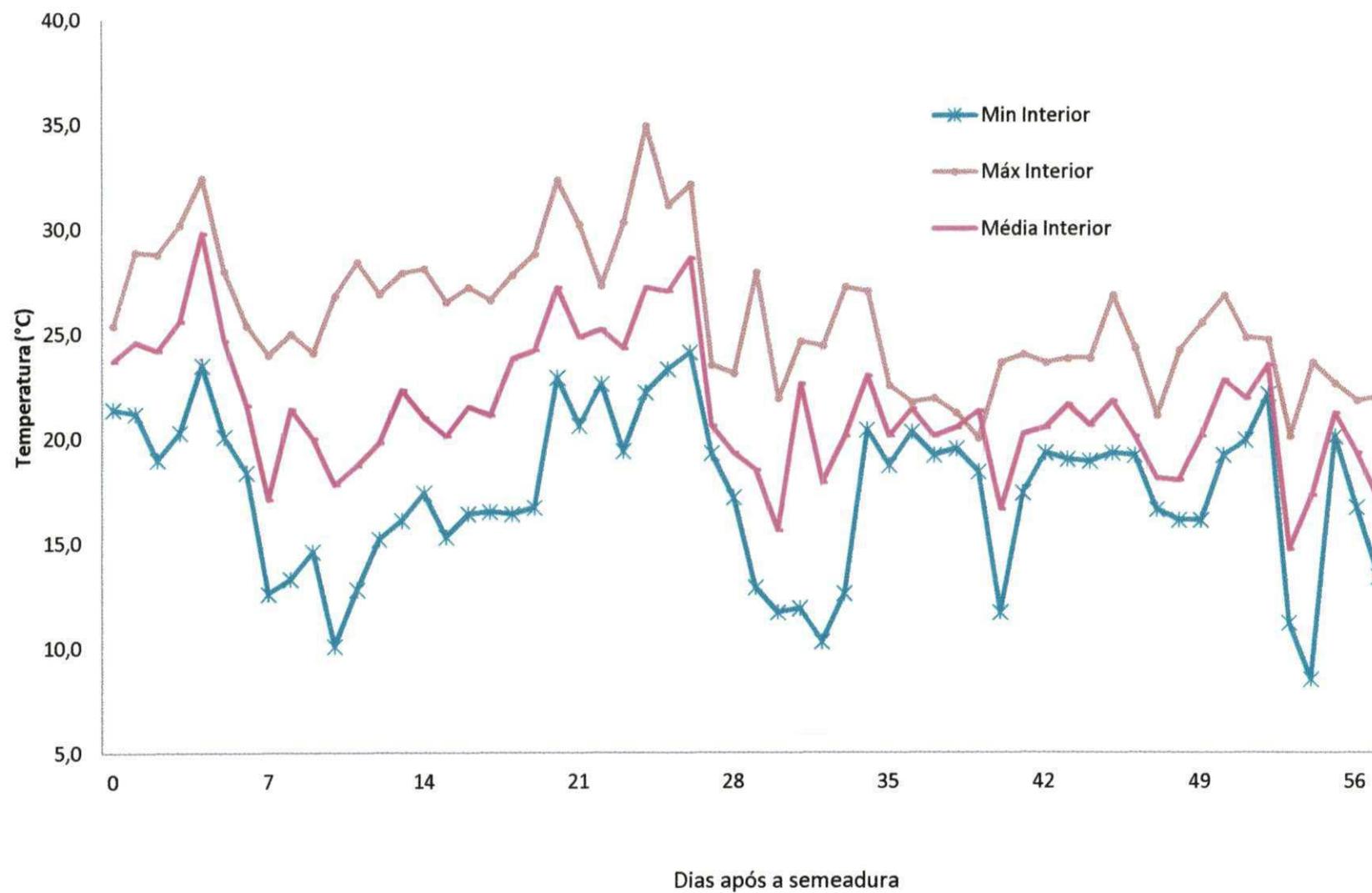
## Temperaturas Mínimas no Interior e Exterior da Estufa



## Temperatura no Exterior da Estufa



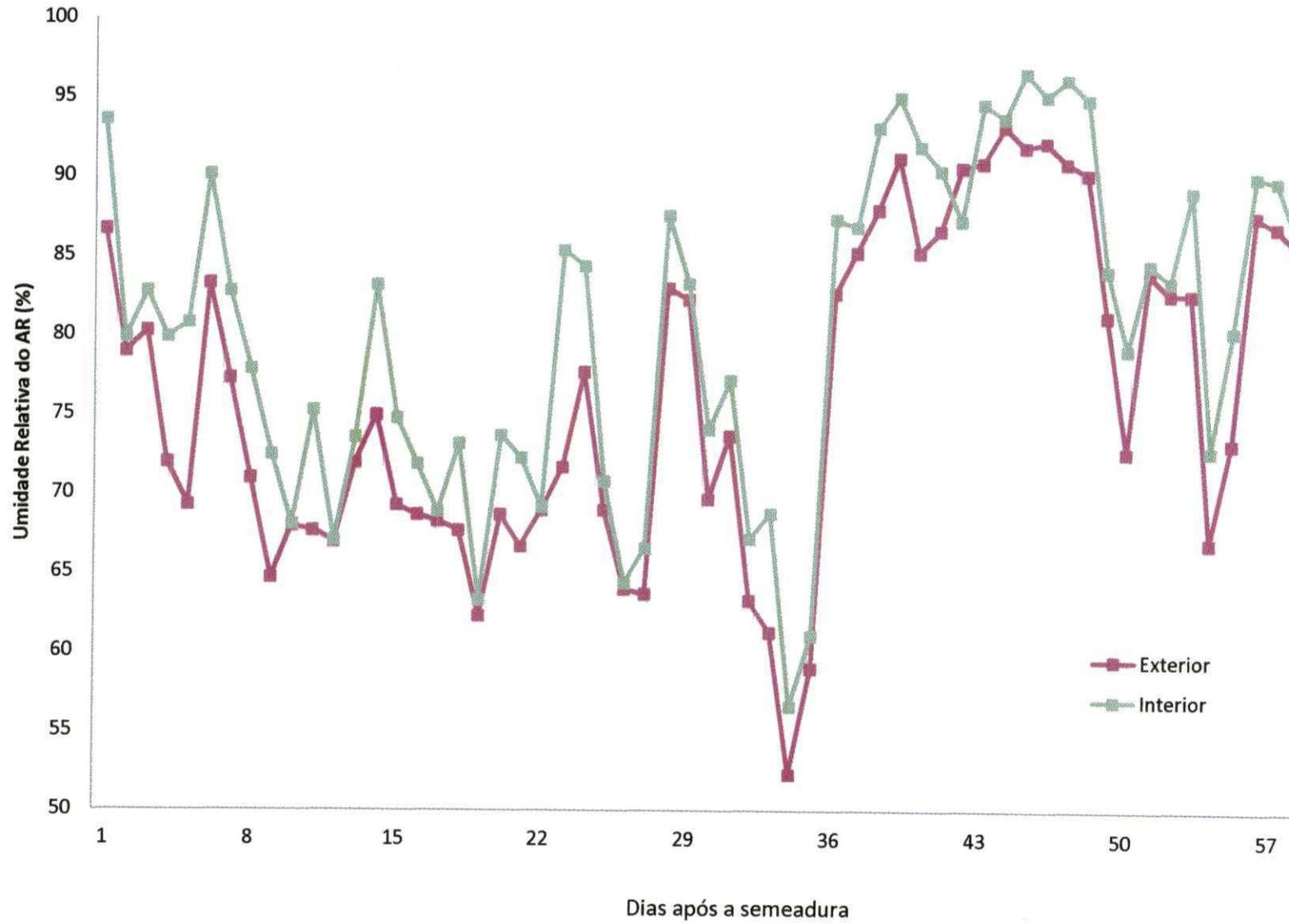
## Temperatura no Interior da Estufa



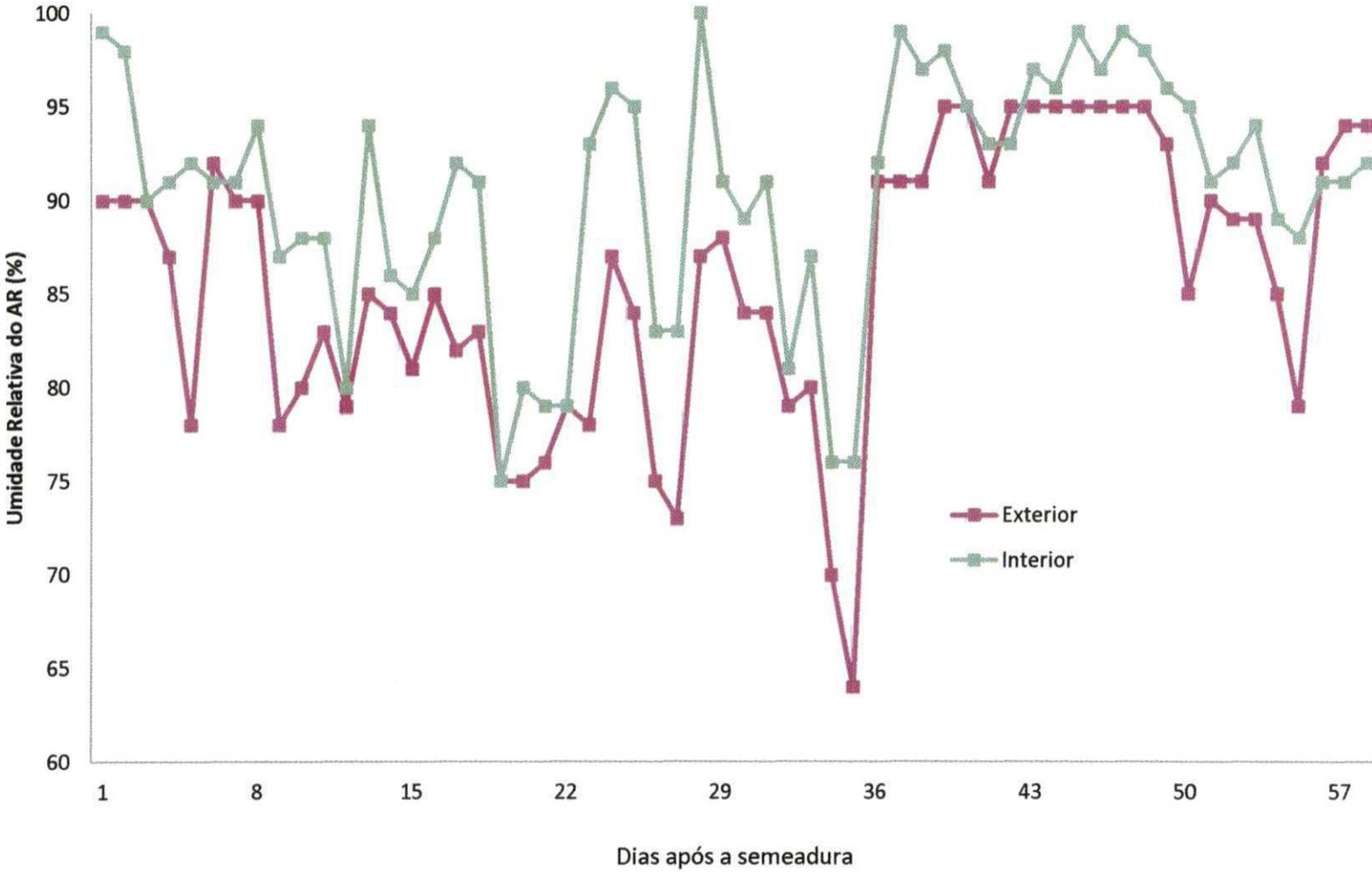
## **ANEXO II**

Gráficos de Umidade do Ar

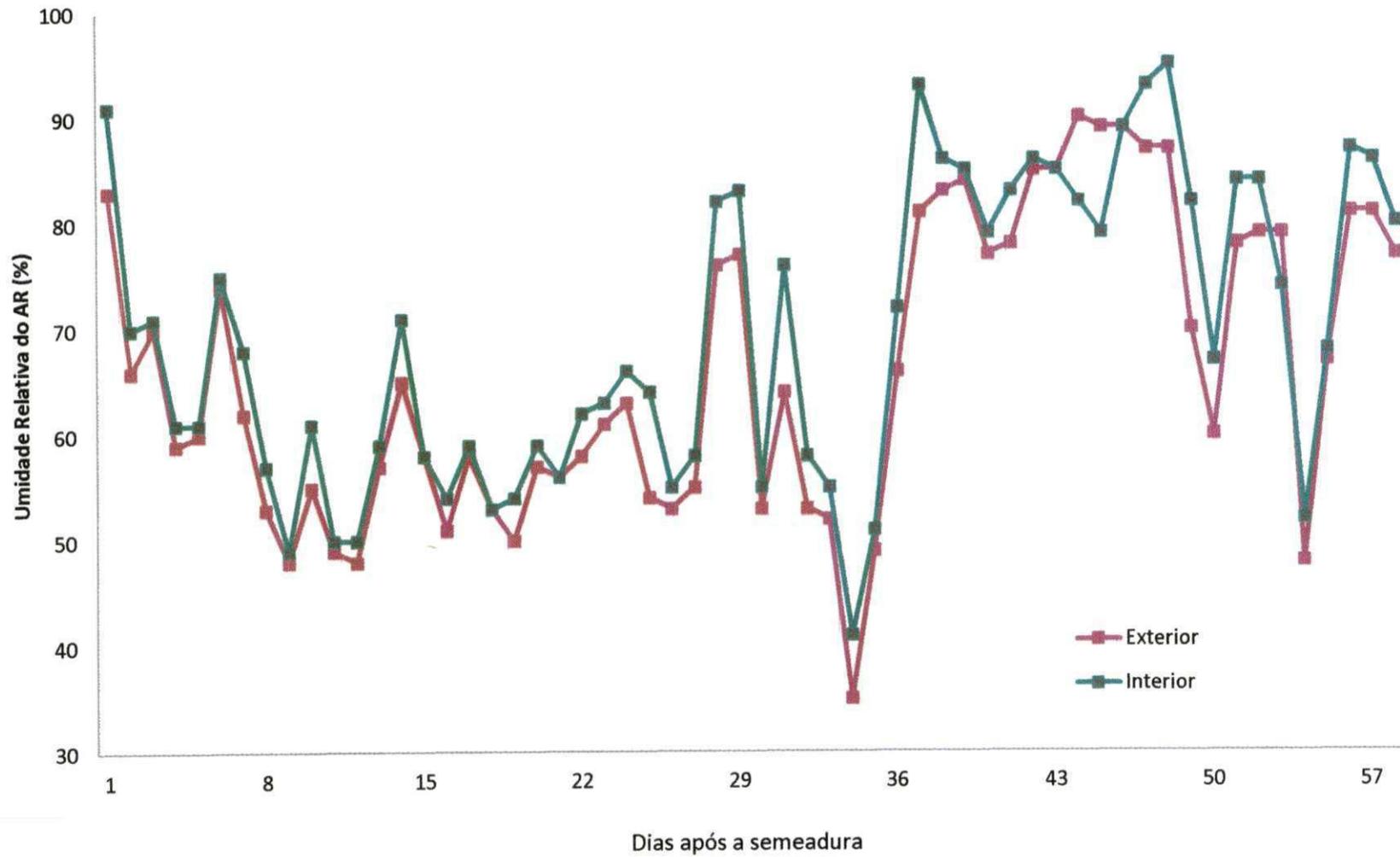
## Umidade Relativa do Ar - Médias



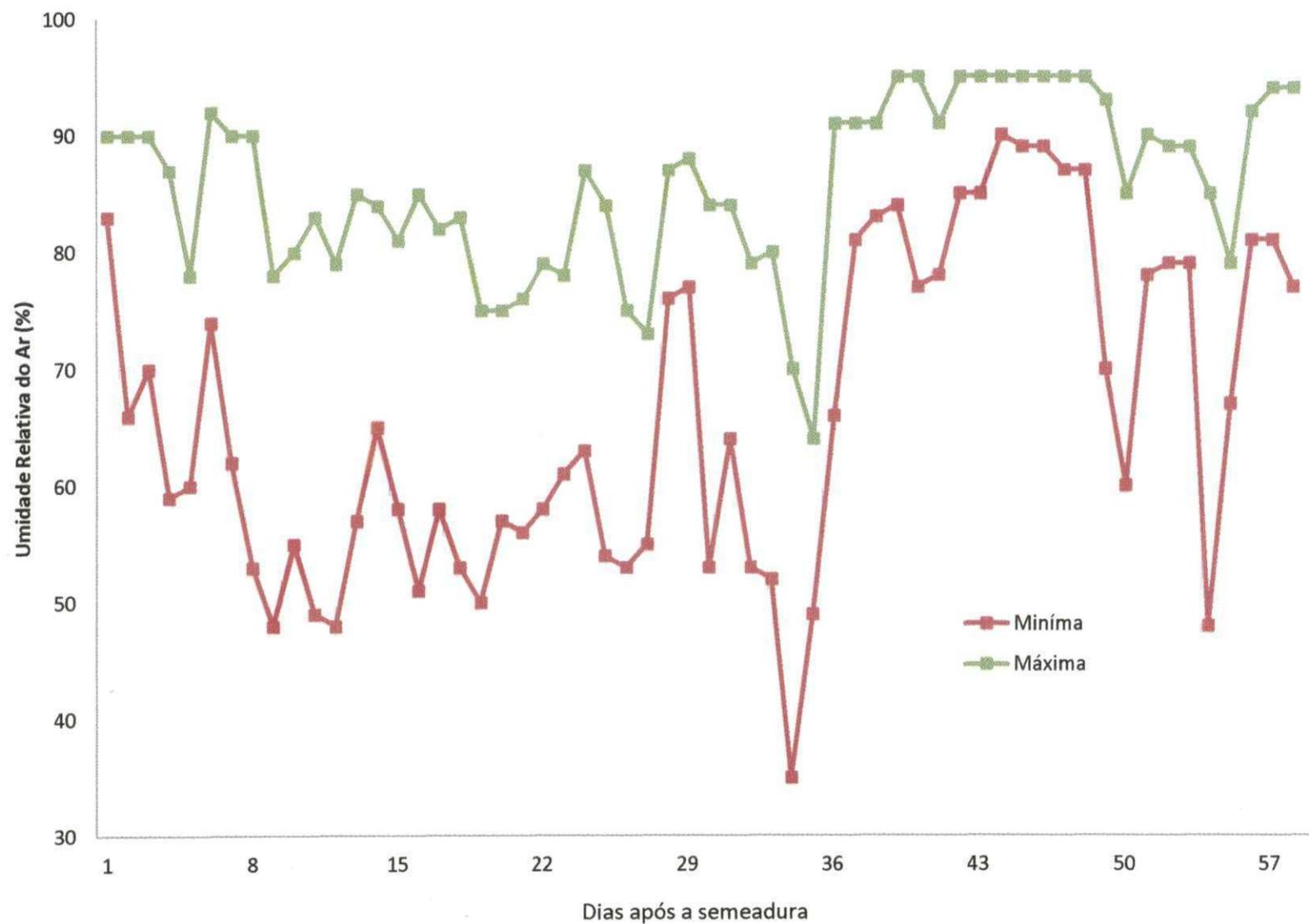
### Umidade Relativa do Ar - Máximas



## Umidade Relativa do Ar - Mínimas



## Umidade Relativo Ar no Exterior da Estufa



## Umidade Relativa do Ar no Interior da Estufa

