

UFRRJ
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
CIÊNCIA DO SOLO

TESE

**Nutrição Mineral da Alface (*Lactuca sativa* L.)
em Cultura Hidropônica – Sistema NFT.**

NILTON NELIO COMETTI

2003



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**Nutrição Mineral da Alface (*Lactuca sativa* L.) em
Cultura Hidropônica – Sistema NFT.**

NILTON NELIO COMETTI

Sob a Orientação do Professor
Manlio Silvestre Fernandes
e Co-orientação dos Professores
Pedro Roberto Furlani e
Bruce Bugbee.

Tese submetida como requisito parcial
para obtenção do grau de **Philosophiae**
Doctor em Agronomia, Área de
Concentração em Ciência do Solo

Seropédica, RJ

Fevereiro de 2003

635.52

C732n

T

Cometti, Nilton Nélio, 1965-

Nutrição Mineral da Alface (*Lactuca sativa* L.) em Cultura Hidropônica - Sistema NFT/ Nilton Nélio Cometti. – 106f.: grafs., tabs.

Orientador: Manlio Silvestre Fernandes.

Tese (doutorado) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Agronomia.

Bibliografia: f. 93 – 102.

1. Alface – Cultivo – Teses. 2. Hidroponia – Teses. 3. Minerais na nutrição de plantas – Teses. I. Fernandes, Manlio Silvestre. II. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Instituto de Agronomia. III. Título.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA – CIÊNCIA DO SOLO.

NILTON NELIO COMETTI

Tese submetida ao Curso de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo, área de Concentração em Nutrição Mineral de Plantas, como requisito parcial para obtenção do grau de **Philosophiae Doctor**, em 18 de fevereiro de 2003.

TESE APROVADA EM 18/02/2003.

Manlio Silvestre Fernandes. Ph.D. - UFRRJ
(Orientador)

Pedro Roberto Furlani. Ph.D. - IAC

Roberto Oscar Pereyra Rossiello D.S. - UFRRJ

Carlos Pimentel D.S. - UFRRJ

José Ronaldo Magalhães. Ph.D. EMBRAPA

Era uma tarde chata,
Monótona, branca, sem graça,
O trabalho, por si só trabalhava, só.

Escrevia, produzia,
Números, palavras,
Eram os fluidos, fluíam, iam e vinham...

As primeiras gotas no telhado,
Um momento a mais de hipnose,
E o milagre da vida se faz.
É chuva viva, de verdade.
Nossa, é água, quanta, santa!
Se vier para o bem, que venha.
Durou a noite toda.

Acordo, brota a vida e todos os nossos problemas não são mais problemas...

AGRADECIMENTOS

Com todo o meu amor e todo meu coração a tudo que Ele, Deus, tem me concedido, e agora, em especial, a conclusão dessa Tese.

Aos meus pais, Seu Aloysio e Dona Maria, por tudo, muito mais do que essa tese, a vida, o amor, o carinho, o cansaço, incansáveis que foram, o suporte, o ensino, meu caráter, minha experiência de vida... ora, essa tese é pequena para esse agradecimento. Foram muitas as vezes em que eles se anularam por mim, foram os pais do meu filho, quando necessitei sair para o doutorado, ficaram sem filho quando meu filho viajou comigo por um ano para os Estados Unidos, e de braços abertos novamente me acolhem em momentos difíceis de acidentes e doenças, para que eu concluísse esse trabalho. Aos meus irmãos, também que sempre me deram força para continuar, sempre.

Ao meu herdeiro, o Thales, e à minha cara-metade, a Diene. Foram eles que, durante esses quatro anos, toleraram meus estresses e pouco tempo, correndo, comendo mal, falando pouco, dormindo quando estavam acordados, e acordado noites adentro sem fim, trabalhando vorazmente. Sua compreensão para comigo é coisa de gente muito, mas muito nobre. Só quem ama é assim tão nobre!

Aos colegas pela companhia no Laboratório de Nutrição Mineral de Plantas da UFRRJ, que suportaram meu ritmo intenso, mas que também me fizeram rir muito, e muito mais me ajudaram em análises, ou segurando os nós para eu apertar. Manga, Paula, Paulinho, Carlos Bücher, Sá, Matiello e muitos outros. Também agradeço ao meu pupilo, Gean Carlos, que me acompanhou em todos os experimentos realizados no Brasil, incessantemente, sempre ao meu lado, de madrugada, durante os finais de semana, feriados, à noite, tarde, cedo, sempre. Companheiro de muitos problemas, mas também de muitas descobertas, de muitas análises e de muitos resultados.

Aos colegas de trabalho da Escola Agrotécnica Federal de Colatina, que estiveram trabalhando enquanto eu me divertia com disciplinas e pesquisas, com leituras de “papers” e manuseio de números, com produção de alfaces hidropônicas, com ou sem nitrato, e com análises inúmeras, sem fim. Dentre eles, Marinaldo e Nilson, meus amigos particulares, Pinotti, Marlinda, Junior, Tadeu Engelhart e por aí afora, a todos, realmente.

Aos colegas de pós-graduação pela amizade, especialmente à Elisangela, o Francisco, o Adriano e todos que estiveram sempre próximos.

Em especial, um agradecimento aos amigos feitos na Rural, dois professores que me deram todo o apoio quando aqui cheguei, e se converteram em meus dois grandes amigos, o Wellington e o Zonta.

Agradeço à CAPES pela oportunidade de ter estado um ano nos Estados Unidos para um estágio que rendeu boa parte dessa tese.

Agradeço ao orientador, Manlio Silvestre Fernandes, cuja cultura é simplesmente invejável, do qual aprendi muitas coisas técnicas, mas, além, a perspicácia da interpretação científica e do conhecimento geral.

A todos os professores, da Pós-Graduação, do Departamento de Solos, aos seus funcionários técnico-administrativos, e a todos os professores de toda a minha vida, pois me ajudaram a construir um caráter e um espírito científico.

Agradeço também à força, coleguismo e orientação do Bruce Bugbee, e a todos os colegas do Crop Physiology Lab, em especial à Jiang e à Julie, Tim, e ao Jonathan pelo carinho com que me receberam numa terra tão longínqua. E se fui para lá, também agradeço ao Ted, que me ajudou na derradeira hora do Inglês.

DEDICATÓRIA

Dedico esse pequeno trabalho aos que morrem sedentos por justiça, saber, amor, carinho, família, compreensão, igualdade social, crença, paixão, emoção, condições dignas de vida, saúde, vida e por tudo que não lhes permitam acordar e ver o mundo, caminhar com suas pernas, falar o que sentem, sentir o que vêem, amar algo ou alguém, acreditar em ser alguém, poder acreditar em alguém, poder dizer bom dia sentindo que o seu também é bom, ter todas as dificuldades, mas poder chegar ao final do dia e dizer: simplesmente por mais um dia, obrigado meu Deus.

BIOGRAFIA

Nilton Nélio Cometti, nascido às margens da majestosa Cachoeira do Inferno, Ibirapu, ES, no ano de 1965. Fez os estudos fundamentais em João Neiva e Ibirapu, onde passou três anos no Seminário Missionários Combonianos com a intenção de ser padre. Concluiu o ensino médio em Colatina e aos 16 anos ingressou na Universidade Federal do Espírito Santo, com a tarefa de se tornar Engenheiro Agrônomo. Formou-se aos 20 quando também iniciou o Mestrado em Biodinâmica de Solos e Produtividade de Plantas na Universidade Federal de Santa Maria. Aí trabalhou na Universidade Federal de Bagé e na Emater do Paraná, por alguns meses. Em 1989, com 23, ganha um filho, o Thales, volta ao Espírito Santo, fica desempregado por mais uns seis meses e então inicia a longa jornada de seis anos como gerente da Fazenda Galiléia, especializada na produção de café arábica e situada no município de Baixo Guandu, ES. Com a fixa idéia de fazer doutorado, passa no concurso e torna-se professor da Escola Agrotécnica Federal de Colatina, ES, no início de 1995. Dois anos depois, também se envereda pelos caminhos da iniciativa privada, e torna-se produtor de alface cultivada em hidroponia, construindo suas próprias instalações, rústicas, econômicas e bastante funcionais. A partir dessa experiência, e buscando novos horizontes, tem a felicidade de ser aceito para participar do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Ciência do Solo da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Ali, despense dois anos e meio em disciplinas e pesquisa, a partir dos quais inicia um Programa de Doutorado com Estágio no Exterior, e vai realizar parte de suas pesquisas na Utah State University, UT, Estados Unidos, com uma bolsa de estudos cedida pela CAPES. Retorna dos Estados Unidos de carro até o Panamá, onde, por motivos maiores é obrigado a cessar a viagem e retornar via aérea ao Brasil. São 18 de fevereiro de 2003, faltam poucos dias para o carnaval, e ele agora se encontra defendendo sua tese para obter o título de Philosophiae Doctor em Agronomia, Área de Concentração em Ciência do Solo.



SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	1
1. Hidroponia	4
1.1. Prós e Contras do Uso da Técnica de Hidroponia	4
2. Técnica do Fluxo Laminar de Nutrientes (NFT)	6
3. Objetivo	7
4. Hipóteses de Trabalho	7
CAPÍTULO I	8
Nitrato, amônio, N-Amino, Açúcares Solúveis, N-Kjeldahl, P-total e K-total nos Vários tecidos das Alfaces orgânica, hidropônica e convencional	8
Resumo	9
Abstract	10
1. Introdução	11
2. Material e Métodos	12
Preparo das amostras:	12
Extração alcoólica e separação:	13
Análises de NO_3^- , NH_4^+ , N-amino e açúcares solúveis:	13
Análises de N-Kjeldahl e P-total:	13
Análise Estatística:	14
3. Resultados e Discussão	14
Distribuição da Massa Seca na Planta:	14
N-amino, açúcares solúveis, NO_3^- e NH_4^+ :	15
P-total, K-total e N-Kjeldahl:	19
Correlações:	23
4. Conclusões	25
CAPÍTULO II	26
Efeito da Concentração da Solução Nutritiva no Crescimento da Alface em Cultura Hidropônica – Sistema NFT	26
Resumo	27
Abstract	28
1. Introdução	29
2. Material e Métodos	30
2.1. Sistema Hidropônico	30
2.2. Condução do Experimento:	31
2.3. Determinações	33
3. Resultados e Discussão	34
4. Conclusões	43
CAPÍTULO III	44
Efeito da Concentração da Solução Nutritiva na absorção de nutrientes pela Alface em Cultura Hidropônica – Sistema NFT	44
Resumo	45
Abstract	46
1. Introdução	47
2. Material e Métodos	48
2.1. Sistema Hidropônico	49
2.2. Condução do Experimento:	49
2.3. Determinações	50
3. Resultados e Discussão	51

3.1. Absorção de Nutrientes pelas Plantas.....	51
3.2. Nutrientes na Solução Nutritiva:	68
4. Conclusões.....	73
CAPÍTULO IV	74
Efeito do Amônio no Acúmulo de Massa e nos Teores de N-total, N-protéico, nitrato, amônio e N-amino na Alface Cultivada em Sistema Hidropônico – NFT.	74
Resumo	75
Abstract.....	76
1. Introdução.....	77
2. Material e Métodos.....	78
2.1. Sistema Hidropônico.	78
2.2. Condução do Experimento:	79
2.1. Tratamentos.	79
2.3. Determinações.	80
3. Resultados e Discussão.....	81
4. Conclusões.....	92
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	93
APÊNDICES	103

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Potencialidade Agrícola dos Solos do Brasil. Fonte: IBGE, Atlas Nacional do Brasil, 1992.....	2
Figura 2. Partição da Fitomassa das Alfases Orgânica, Hidropônica e Convencional. Limbo e nervura pertencem às folhas. Cada barra representa a média de quatro repetições e as barras de erro indicam desvio padrão.	15
Figura 3. Teores de N-amino nos Vários Tecidos das Alfases Orgânica, Hidropônica e Convencional. LA: limbo das folhas apicais; LM: limbo das folhas medianas; LB: limbo das folhas basais; NA: nervura central das folhas apicais; NM: nervura central das folhas medianas; NB: nervura central das folhas basais; C: caule; R: raízes; PA: parte aérea. Cada barra representa a média de quatro repetições e as barras de erro indicam desvio padrão.	15
Figura 4. Teores de Açúcares Solúveis nos Vários Tecidos das Alfases Orgânica, Hidropônica e Convencional. LA: limbo das folhas apicais; LM: limbo das folhas medianas; LB: limbo das folhas basais; NA: nervura central das folhas apicais; NM: nervura central das folhas medianas; NB: nervura central das folhas basais; C: caule; R: raízes; PA: parte aérea. Cada barra representa a média de quatro repetições e as barras de erro indicam desvio padrão.	16
Figura 5. Teores de Nitrato nos Vários Tecidos das Alfases Orgânica, Hidropônica e Convencional. LA: limbo das folhas apicais; LM: limbo das folhas medianas; LB: limbo das folhas basais; NA: nervura central das folhas apicais; NM: nervura central das folhas medianas; NB: nervura central das folhas basais; C: caule; R: raízes; PA: parte aérea. Cada barra representa a média de quatro repetições e as barras de erro indicam desvio padrão.	17
Figura 6. Teores de Amônio nos Vários Tecidos das Alfases Orgânica, Hidropônica e Convencional. LA: limbo das folhas apicais; LM: limbo das folhas medianas; LB: limbo das folhas basais; NA: nervura central das folhas apicais; NM: nervura central das folhas medianas; NB: nervura central das folhas basais; C: caule; R: raízes; PA: parte aérea. Cada barra representa a média de quatro repetições e as barras de erro indicam desvio padrão.	19
Figura 7. Teores de P-total nos Vários Tecidos das Alfases Orgânica, Hidropônica e Convencional. LA: limbo das folhas apicais; LM: limbo das folhas medianas; LB: limbo das folhas basais; NA: nervura central das folhas apicais; NM: nervura central das folhas medianas; NB: nervura central das folhas basais; C: caule; R: raízes; PA: parte aérea. Cada barra representa a média de quatro repetições e as barras de erro indicam desvio padrão. $m =$ massa.	19
Figura 8. Teores de Potássio nos Vários Tecidos das Alfases Orgânica, Hidropônica e Convencional. LA: limbo das folhas apicais; LM: limbo das folhas medianas; LB: limbo das folhas basais; NA: nervura central das folhas apicais; NM: nervura central das folhas medianas; NB: nervura central das folhas basais; C: caule; R: raízes; PA: parte aérea. Cada barra representa a média de quatro repetições e as barras de erro indicam desvio padrão. $m =$ massa.	20

Figura 9. Teores de N-Kjeldahl nos Vários Tecidos das Alfaces Orgânica, Hidropônica e Convencional. LA: limbo das folhas apicais; LM: limbo das folhas medianas; LB: limbo das folhas basais; NA: nervura central das folhas apicais; NM: nervura central das folhas medianas; NB: nervura central das folhas basais; C: caule; R: raízes; PA: parte aérea. Cada barra representa a média de quatro repetições e as barras de erro indicam desvio padrão. <i>m</i> = massa.....	21
Figura 10. Teores de N-protéico nos Vários Tecidos das Alfaces Orgânica, Hidropônica e Convencional. LA: limbo das folhas apicais; LM: limbo das folhas medianas; LB: limbo das folhas basais; NA: nervura central das folhas apicais; NM: nervura central das folhas medianas; NB: nervura central das folhas basais; C: caule; R: raízes; PA: parte aérea. Cada barra representa a média de quatro repetições e as barras de erro indicam desvio padrão. <i>m</i> = massa.....	22
Figura 11. Relação entre os teores de N-nitrato e N-amino analisados nos vários tecidos das plantas da alface. (a) Orgânica; (b) Hidropônica; (c) Convencional; (d) Dados Globais.....	24
Figura 12. Correlação entre os Teores de N-Kjeldahl e P-total Analisados nos Vários Tecidos das Alfaces Orgânica, Hidropônica e Convencional - dados globais. <i>m</i> = massa.....	24
Figura 13. Esquema de Construção da Bancada de Cultivo Hidropônico do Tipo NFT. 1- Reservatório de Solução Nutritiva; 2- Motobomba; 3- Tubulação de Recalque de Solução; 4- Barrilete de Distribuição da Solução Nutritiva; 5- Canal de Cultivo; 6- Tubulação de Retorno da Solução; 7- Tubulação de Oxigenação da Solução; 8- Temporizador/Contator para Acionamento das Motobombas.	31
Figura 14. Esquema de Posicionamento dos Tratamentos e das Repetições nos Canais de Cultivo do Sistema Hidropônico.....	31
Figura 15. Temperatura e Fluxo de Fótons Fotossintéticos (FFF) Médias na Altura das Plantas de Alface Cultivadas em Casa de Vegetação num Sistema Hidropônico NFT. ▼ indica data de coleta.....	33
Figura 16. Produção de Fitomassa pela Alface Cultivada em Sistema Hidropônico – NFT com Quatro Concentrações da Solução Furlani (1997). Cada ponto representa a média de quatro repetições. As barras de erro indicam desvio padrão.	36
Figura 17. Taxa de Crescimento Absoluto (TCA) e Taxa de Crescimento Relativo (TCR) da Alface Cultivada em Sistema Hidropônico – NFT com Quatro Concentrações da Solução Furlani (1997). Cada ponto representa a média de quatro repetições. As barras de erro indicam desvio padrão.	38
Figura 18. Área Foliar Específica da Alface Cultivada em Sistema Hidropônico – NFT. Cada ponto representa a média de quatro repetições. As barras de erro indicam desvio padrão.	38
Figura 19. Índice de Colheita e Relação Raiz : Parte Aérea da Alface Cultivada em Sistema Hidropônico – NFT com Quatro Concentrações da Solução Furlani (1997). Cada ponto representa a média de quatro repetições. As barras de erro indicam desvio padrão.	39
Figura 20. Comprimento, Área, Comprimento Específico e Área Específica das Raízes da Alface Cultivada em Sistema Hidropônico – NFT com Quatro Concentrações da Solução Furlani (1997). Cada ponto representa a média de quatro repetições. As barras de erro indicam desvio padrão.	41

Figura 21. Relação entre a Condutividade Elétrica da Solução Nutritiva (Furlani, 1997) e a Concentração Total de Íons e Força Iônica Calculada. FI = Força Iônica.	42
Figura 22. Teor de N-Kjeldahl no Tecido da Alface Cultivada em Sistema Hidropônico – NFT com Quatro Concentrações da Solução Furlani (1997). Cada ponto representa a média de quatro repetições. As barras de erro indicam desvio padrão.	52
Figura 23. Teor de Fósforo no Tecido da Alface Cultivada em Sistema Hidropônico – NFT com Quatro Concentrações da Solução Furlani (1997). Cada ponto representa a média de quatro repetições. As barras de erro indicam desvio padrão.	53
Figura 24. Teor de Potássio no Tecido da Alface Cultivada em Sistema Hidropônico – NFT com Quatro Concentrações da Solução Furlani (1997). Cada ponto representa a média de quatro repetições. As barras de erro indicam desvio padrão.	54
Figura 25. Teor de Cálcio no Tecido da Alface Cultivada em Sistema Hidropônico – NFT com Quatro Concentrações da Solução Furlani (1997). Cada ponto representa a média de quatro repetições. As barras de erro indicam desvio padrão.	55
Figura 26. Teor de Magnésio no Tecido da Alface Cultivada em Sistema Hidropônico – NFT com Quatro Concentrações da Solução Furlani (1997). Cada ponto representa a média de quatro repetições. As barras de erro indicam desvio padrão.	56
Figura 27. Conteúdo de N-Kjeldahl Acumulado no Tecido da Alface Cultivada em Sistema Hidropônico – NFT com Quatro Concentrações da Solução Furlani (1997). Cada ponto representa a média de quatro repetições. As barras de erro indicam desvio padrão.	59
Figura 28. Conteúdo de Fósforo Acumulado no Tecido da Alface Cultivada em Sistema Hidropônico – NFT com Quatro Concentrações da Solução Furlani (1997). Cada ponto representa a média de quatro repetições. As barras de erro indicam desvio padrão.	60
Figura 29. Conteúdo de Potássio Acumulado no Tecido da Alface Cultivada em Sistema Hidropônico – NFT com Quatro Concentrações da Solução Furlani (1997). Cada ponto representa a média de quatro repetições. As barras de erro indicam desvio padrão.	61
Figura 30. Conteúdo de Cálcio Acumulado no Tecido da Alface Cultivada em Sistema Hidropônico – NFT com Quatro Concentrações da Solução Furlani (1997). Cada ponto representa a média de quatro repetições. As barras de erro indicam desvio padrão.	62
Figura 31. Conteúdo de Magnésio Acumulado no Tecido da Alface Cultivada em Sistema Hidropônico – NFT com Quatro Concentrações da Solução Furlani (1997). Cada ponto representa a média de quatro repetições. As barras de erro indicam desvio padrão.	63
Figura 32. Influxo de Nutrientes nas Raízes da Alface Cultivada em Sistema Hidropônico – NFT com Quatro Concentrações da Solução Furlani (1997). Cada ponto representa a média de quatro repetições. As barras de erro indicam desvio padrão.	66

Figura 33. Eficiência do Uso do Nutriente pela Alface Cultivada em Sistema Hidropônico – NFT com Quatro Concentrações da Solução Furlani (1997). Cada ponto representa a média de quatro repetições. As barras de erro indicam desvio padrão.	67
Figura 34. Teor de N, P e K na Solução Nutritiva de Cultivo da Alface em Sistema Hidropônico – NFT com Quatro Concentrações da Solução Furlani (1997). Cada ponto representa a média de quatro repetições. As barras de erro indicam desvio padrão. As linhas verticais pontilhadas indicam a coleta de plantas e a renovação da solução nutritiva.	70
Figura 35. Teor de Ca, Mg e S na Solução Nutritiva de Cultivo da Alface em Sistema Hidropônico – NFT com Quatro Concentrações da Solução Furlani (1997). Cada ponto representa a média de quatro repetições. As barras de erro indicam desvio padrão. As linhas verticais pontilhadas indicam a coleta de plantas e a renovação da solução nutritiva.	71
Figura 36. pH das Soluções Nutritivas, Quantidade de Prótons e de Hidroxilas Adicionados e Volume da Solução-Estoque e Água Adicionadas no Cultivo da Alface em Sistema Hidropônico – NFT com Quatro Concentrações da Solução Furlani (1997). Cada ponto representa a média de quatro repetições. As barras de erro indicam desvio padrão. As linhas verticais pontilhadas indicam a coleta de plantas e a renovação da solução nutritiva. Os valores cumulativos referem-se à soma das adições anteriores a do dia.	72
Figura 37. Produção de Fitomassa pela Alface Cultivada em Sistema Hidropônico – NFT com Adição de N-NH ₄ ⁺ Contínua e Intermitentemente na Solução Nutritiva. Cada ponto representa a média de quatro repetições, as barras de erro indicam desvio padrão e o símbolo “▼” indica aplicação da dose de amônio.	82
Figura 38. Taxas de Crescimento Absoluto e Relativo da Alface Cultivada em Sistema Hidropônico – NFT com Adição de N-NH ₄ ⁺ Contínua e Intermitentemente na Solução Nutritiva. Cada ponto representa a média de quatro repetições e as barras de erro indicam desvio padrão.	83
Figura 39. Área Foliar Total e Área Foliar Específica aos 54 DAS da Alface Cultivada em Sistema Hidropônico – NFT com Adição de N-NH ₄ ⁺ Contínua e Intermitentemente na Solução Nutritiva. Cada barra representa a média de quatro repetições. As barras de erro indicam desvio padrão. “n.s.” indica que não há diferenças significativas entre os tratamentos.	84
Figura 40. Teores de N-total, N-protéico e Nitrato, e Atividade da Nitrato Redutase (ANR) no Tecido da Alface Cultivada em Sistema Hidropônico – NFT com Adição de N-NH ₄ ⁺ Contínua e Intermitentemente na Solução Nutritiva. Cada ponto representa a média de quatro repetições, as barras de erro indicam desvio padrão, o símbolo “▼” indica aplicação da dose de amônio e “m” significa “massa”.	87
Figura 41. Temperatura e Fluxo de Fótons Fotossintéticos (FFF) Médios na Altura das Plantas de Alface Cultivadas em Casa de Vegetação num Sistema Hidropônico NFT. ▼ indica data de coleta.	88

- Figura 42. Teores de Açúcares Solúveis, $N-NH_4^+$ e N-amino Livres no Tecido da Alface Cultivada em Sistema Hidropônico – NFT com Adição de $N-NH_4^+$ Contínua e Intermitentemente na Solução Nutritiva. Cada ponto representa a média de quatro repetições, as barras de erro indicam desvio padrão e o símbolo “▼” indica aplicação da dose de amônio. 89
- Figura 43. Amônio, Nitrato, Potássio e pH da Solução Nutritiva do Cultivo da Alface em Sistema Hidropônico – NFT com Três Tratamentos Quanto à Adição de Amônio na Solução Nutritiva. Linhas Verticais Pontilhadas Indicam Datas das Coletas. O Símbolo ▼ Indica a Data da Dose de Amônio. 91
- Figura 44. Curvas de calibração de três pontos para análise de N-amino, com variação da temperatura e do tempo, para a reação em banho maria – método descrito por Yemm & Cocking (1955). 103

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Quantidade Produzida e Valor da Produção de Alface no Brasil, nas Regiões Geográficas e na Unidades da Federação no Ano 1996.	3
Tabela 2. Teores de Proteína Bruta nos Vários Tecidos das Alfaces Orgânica, Hidropônica e Convencional.	22
Tabela 3. Valor dos coeficientes de correlação (R) entre os componentes analisados nas alfaces orgânica, hidropônica e convencional.	23
Tabela 4. Soluções Nutritivas dos Tratamentos Utilizados no Experimento.	30
Tabela 5. Formulação das Soluções-Estoque.	32
Tabela 6. Condutividade Elétrica, Concentração e Força Iônica das Soluções Nutritivas.	32
Tabela 7. Acúmulo de Nutrientes (em Valores Percentuais) por Período de Crescimento da Alface Cultivada em Sistema Hidropônico – NFT com 50 e 100% da Concentração da Solução Furlani (1997).	57
Tabela 8. Acúmulo de Nutrientes (em Valores Absolutos) por Período de Crescimento da Alface Cultivada em Sistema Hidropônico – NFT com 50 e 100% da Concentração da Solução Furlani (1997).	58
Tabela 9. Composição das Soluções Nutritivas Usadas nos Tratamentos.	80
Tabela 10. Curvas Padrões de N-amino sob Variações de Tempo e Temperatura de Reação em Banho-Maria – método descrito por Yemm & Cocking (1955).	104

ÍNDICE DE APÊNDICES

Apêndice 1. Estudo dos métodos de análises de metabólitos e elementos importante no metabolismo da alface utilizados no experimento do Capítulo I.....	103
Apêndice 2. Correlação entre Variáveis Analisadas nas Folhas da Alface Cultivada em Sistema Hidropônico – NFT com Quatro Tratamentos de Adição de N-NH ₄ ⁺ Contínua e Intermitentemente na Solução Nutritiva.....	105
Apêndice 3. Correlação entre Variáveis Analisadas nos Caules da Alface Cultivada em Sistema Hidropônico – NFT com Quatro Tratamentos de Adição de N-NH ₄ ⁺ Contínua e Intermitentemente na Solução Nutritiva.....	106

LISTA DE SÍMBOLOS

CE	condutividade elétrica (mS cm^{-1})
ϕ	diâmetro interno (mm);
FFF	fluxo de fótons fotossintéticos ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)
AFE	área foliar específica ($\text{cm}^2 \text{g}^{-1}$)
EUN	eficiência de uso do nutriente (g mmol^{-1})
TCA	taxa de crescimento absoluto (g dia^{-1})
TCR	taxa de crescimento relativo ($\text{g g}^{-1} \text{dia}^{-1}$)
In	influxo do nutriente ($\text{mmol g}_{\text{massa seca}}^{-1} \text{dia}^{-1}$)
V_{max}	influxo máximo do nutriente ($\text{mmol g}_{\text{massa seca}}^{-1} \text{dia}^{-1}$)
K_m	constante de Michaelis-Menten que indica a concentração externa na qual a velocidade de absorção é a metade da máxima (mmol L^{-1})
m	massa
[]	concentração de íons (mol L^{-1})
FI	força iônica da solução (mol L^{-1})

LISTA DE UNIDADES

W	watt
mm	milímetro
mS	miliSiemen
cm	centímetro
m	metro
L	litro
nm	nanômetro
g	grama
km	quilômetro
ha	hectare
mol	molécula grama

LISTA DE ABREVIATURAS

NFT	nutrient film technique (Técnica do Filme de Nutrientes)
n.s.	estatisticamente não significante ao nível de 5% de significância
DAS	dias após a semeadura
P.A.	puro para análise

RESUMO

COMETTI, Nilton Nélio. **Nutrição Mineral da Alface (*Lactuca sativa* L.) em Cultura Hidropônica - Sistema NFT**. 2003. Tese (PhD. em Agronomia – Ciência do Solo) UFRRJ - Seropédica. 106 p.

Esta tese divide-se em três partes. Na primeira, é feita a avaliação da distribuição de nitrato, amônio, N-amino, açúcares solúveis, N-Kjeldahl, P-total e K-total nos vários tecidos da alface cultivada em três sistemas diferentes: orgânico, hidropônico e convencional. As plantas foram separadas em oito partes diferentes: limbo das folhas apicais, medianas e basais; nervura principal das folhas apicais, medianas e basais; caule e raiz. Os resultados mostraram que há grandes diferenças nas variáveis analisadas entre diferentes tecidos da planta. No estudo de metabolismo do nitrogênio, a análise de nitrato, amônio, N-amino e açúcares solúveis separando-se pelo menos as folhas do caule é imprescindível, já que o caule parece funcionar como um órgão de armazenamento temporário de compostos nitrogenados solúveis. As folhas medianas possuem teores de N-Kjeldahl, P-total e K-total semelhantes aos teores médios da parte aérea como um todo, sendo, portanto, recomendadas para a amostragem e análise de teores de nutrientes totais. Um segundo experimento foi conduzido em casa de vegetação com alface cultivada em sistema hidropônico, NFT, sob quatro diferentes concentrações da solução nutritiva de Furlani (1997): 100%, 50%, 25% e 12,5%. Os resultados mostram que não há diferença no crescimento e acúmulo de nutrientes nos tecidos da alface entre os tratamentos 100 e 50%, que foram, inclusive, os mais produtivos. Portanto, a utilização de 50% da força iônica da solução atende perfeitamente às necessidades da cultura, promovendo o crescimento ótimo com segurança e reduzindo o aparecimento de distúrbios fisiológicos na absorção e translocação de cálcio, tal como o tipburn. Ao mesmo tempo, estima-se uma economia de pelo menos 50% dos sais utilizados na solução inicial. A redução da concentração abaixo de 50% pode causar redução no crescimento da planta. Esses resultados estão condicionados às condições climáticas de alto fluxo de fótons fotossintéticos e altas temperaturas observadas na região. O terceiro experimento foi conduzido também em NFT com alface sob quatro condições de nutrição nítrico-amoniacal. A solução básica foi a de Furlani (1997) a 50% da força iônica, modificada na forma nitrogenada. Os tratamentos foram os seguintes: 1- 100 mg L⁻¹ de N-NO₃⁻ durante todo o experimento; 2- 100 mg L⁻¹ de N-NO₃⁻ com uma dose de 20 mg L⁻¹ de amônio; 3- 100 mg L⁻¹ de N-NO₃⁻ com duas doses de 20 mg L⁻¹ de amônio; e 4- 80 mg L⁻¹ de N-NO₃⁻ + 20 mg L⁻¹ de amônio durante todo o experimento. Os resultados desse experimento mostram que o uso de amônio durante todo o experimento ou na forma de pequenas doses, não promove redução significativa na produção de fitomassa, apesar do tratamento com amônio continuamente ter mostrado uma ligeira redução na colheita final. O grande efeito observado é que a aplicação de amônio na forma de pequenas doses (20 mg L⁻¹) seis dias antes da colheita é efetiva na redução do acúmulo de nitrato nas folhas da alface, levando-o para níveis tão baixos quanto os da utilização contínua de amônio na solução. A utilização de doses intermitentes de amônio parece ser uma forma mais segura de utilizar o amônio para a redução do nitrato nos tecidos sem riscos de provocar a queda na produtividade.

Palavras chave: nitrato, condutividade elétrica, compartimento.

ABSTRACT

COMETTI, Nilton Nélio. **Mineral Nutrition of Lettuce (*Lactuca sativa* L.) in NFT Hydroponic System**. 2003. Thesis (PhD. in Agronomy – Soil Science) UFRRJ - Seropédica. 106 p.

This thesis includes three individual studies. The first of them involved the evaluation of the distribution of nitrate, ammonium, N-amino, soluble sugars, N-Kjeldahl, P-total and K-total throughout the tissues of lettuce grown on three different systems: organic, hydroponics and conventional. Plants from each of systems were split in eight parts: basal, medium, and apical leaf limbos; basal, medium, and apical main leaf veins; stem and root. The results showed that there are great differences among parts of the plant in the contents of the analyzed variables. In nitrogen metabolism studies, it's indispensable to separate at least the leaves from the stems if nitrate, ammonium, amino-N and soluble sugars analysis are carried out. Lettuce stem seems to work as a temporary storage organ for soluble nitrogen compounds. Medium leaves are recommended for sampling due to they have N-Kjeldahl, P-total and K-total contents similar to the shoot average. The second experiment was carried out in greenhouse with lettuce grown on a hydroponic system (NFT), under four different concentrations of the Furlani's (Furlani, 1997) nutrient solution: 100%, 50%, 25% and 12,5%. Results showed that there was no difference in growth and plant nutrient accumulation between 100 and 50% treatments, which were the most productive. Therefore, the use of 50% of the solution ionic strength perfectly satisfy the needs of the culture, promoting growth safely and reducing physiologic disturbances in calcium uptake and translocation, such as tipburn. At the same time, it was considered an economy of 50% of fertilizers used in the start solution. Reduction of the concentration below 50% can cause plant growth reduction. Those results are valid high light and high temperature conditions. The third experiment was also carried out on an NFT system growing lettuce under four nitrate/ammonium treatments. Basic solution was Furlani's (1997) at 50% of the ionic strength, and modified to the nitrogen carrier. The treatments were as follow: 1 - 100 mg L⁻¹ of NO₃⁻N during the whole experiment; 2 - 100 mg L⁻¹ of NO₃⁻N with a 20 mg L⁻¹ ammonium spike; 3 - 100 mg L⁻¹ of NO₃⁻N with two 20 mg L⁻¹ ammonium spike; and 4- 80 mg L⁻¹ of NO₃⁻N + 20 mg L⁻¹ of N-NH₄⁺ during the whole experiment. The results show that either using ammonium during the whole experiment or using small doses six days before harvests there is no significant growth reduction, in spite of the treatment with ammonium continuously decrease a little bit the final dry mass. Ammonium addition in small doses (20 mg L⁻¹) six days before the last harvest was very effective to reduce nitrate accumulation in leaves, lowering it to levels as low as using ammonium in solution the whole time. Use of small doses of ammonium seems to be a safer form of using ammonium to reduce nitrate in the tissues without risks of productivity losses.

Words key: nitrate, electric conductivity, compartment.

INTRODUÇÃO GERAL

Pero Vaz de Caminha envia a primeira carta ao rei de Portugal imediatamente após a descoberta do Brasil. “... a terra em si é de muito bons ares, assim frios e temperados, como os de Entre-Douro-e-Minho, porque neste tempo de agora os achávamos como os de lá. Águas são muitas, infindas. E em tal maneira é graciosa que, querendo-o aproveitar, dar-se-á nela tudo, por bem das águas que tem...” além de muitas outras, era uma das frases escritas por Caminha. Elas denotavam a euforia do descobrimento de uma terra de futuro, ardente, virgem, prontinha para o desabrochar de uma nova civilização, imaginada plantando um novo e imenso continente. E sua célebre frase se perpetuou por quinhentos anos. Cá para nós, brasileiros, a verdade é mais cautelosa, e o país, Brasil, conta com poucas áreas livres de limitações para atividades agrícolas de plantio. Segundo o IBGE (1992), as áreas livres de limitações para a atividade agrícola perfazem em torno de 2,7% da área do país, como podem ser observadas na Figura 1 as áreas com a letra “A”. As áreas mais densamente povoadas, por outro lado, contam com a letra “H”, que indica áreas altamente desaconselháveis para a agricultura devido às fortes limitações de solo e de topografia. Essas áreas perfazem 27,83% da área brasileira e concentram-se na Região Sudeste. A concentração de população na região sudeste também reflete uma alta produção de alface, perfazendo 63,8% de toda a alface produzida no Brasil (Tabela 1) de acordo com o Censo Agropecuário de 1996 (IBGE, 1996). O Estado do Rio de Janeiro ocupa uma posição considerável, o segundo lugar, com 12,9% da produção brasileira. Em contrapartida, há uma correlação inversamente proporcional entre o preço do produto e o volume da produção da região, ou estado. Em outras palavras, a alface alcança os maiores preços nos estados mais distantes dos grandes centros produtores e consumidores.

Com o advento da consciência ecológica, surgiu uma preocupação também com a produção agrícola limpa, segura e ecologicamente viável. Alternativas ecologicamente corretas baseiam-se principalmente na produção em cultivos “orgânicos”. Porém, a hidroponia surge também como uma alternativa para atender tanto à demanda de produção quanto aos quesitos da produção em áreas agricolamente limitantes sem a introdução maciça de insumos, especialmente agrotóxicos. As áreas urbanas densamente povoadas, paralelamente à carência de áreas próprias para o cultivo, demandam enormes quantidades de produtos agrícolas. Se esses produtos são para consumo *in natura* e, intrinsecamente, possuem um tempo de prateleira¹ relativamente curto, como é o caso das folhosas, a proximidade da região de produção ao local de consumo passa a ser economicamente muito importante. Saltando dos argumentos econômicos e logísticos para o campo filosófico, tem-se observado que as inúmeras preferências conflitam-se permanentemente. Há espaço, porém, para todo o tipo de produção, e nesse interstício é que a produção hidropônica revela-se e viabiliza-se.

¹ Tempo de prateleira: período sustentável pelo produto em perfeitas condições de consumo que vai do momento da colheita à consumação da comercialização.

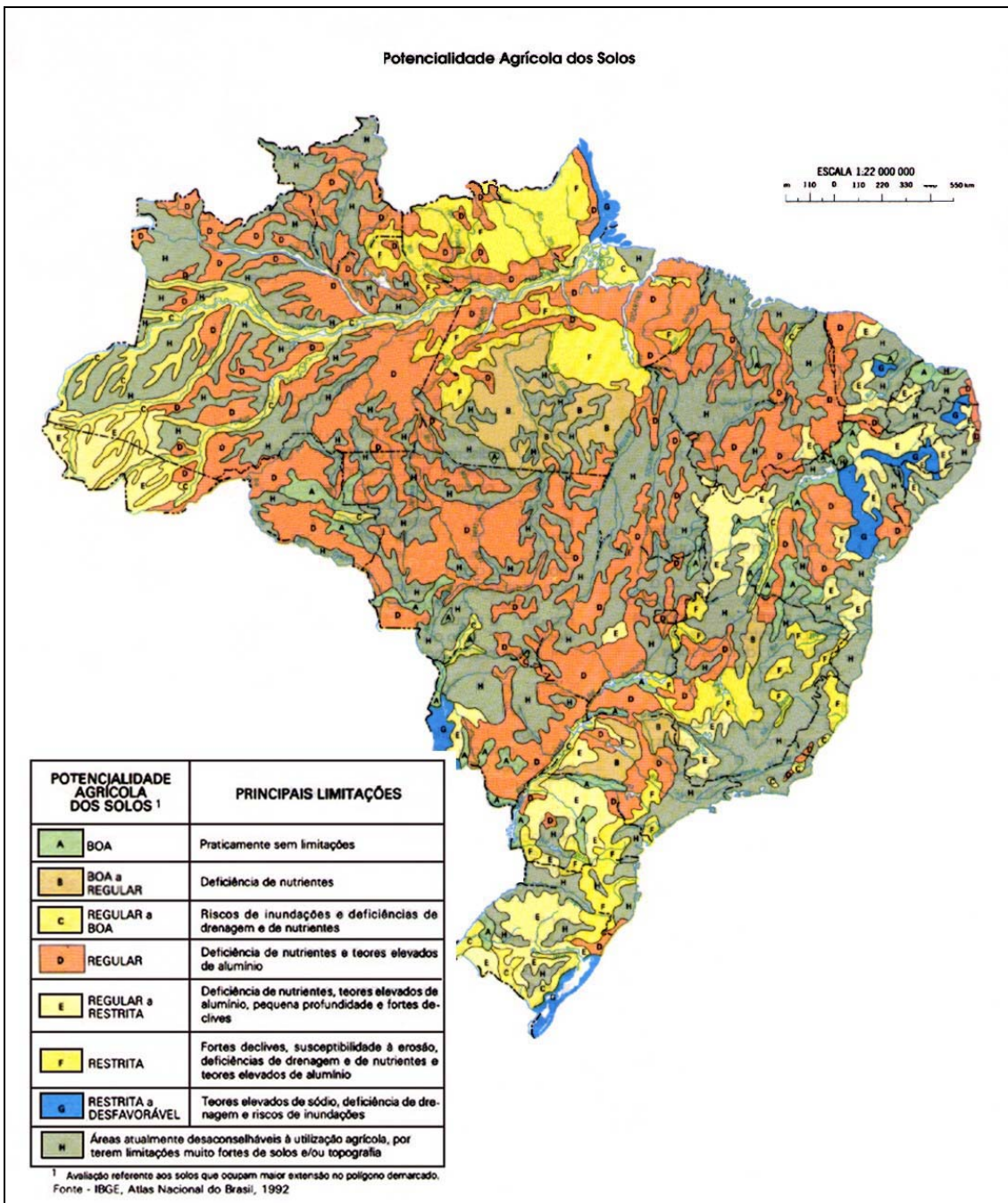


Figura 1. Potencialidade Agrícola dos Solos do Brasil. Fonte: IBGE, Atlas Nacional do Brasil, 1992.

Tabela 1. Quantidade Produzida e Valor da Produção de Alface no Brasil, nas Regiões Geográficas e na Unidades da Federação no Ano 1996.

Brasil, Região Geográfica e Unidade da Federação	Quantidade produzida (Tonelada)	%	Valor da produção (Reais)	%	Preço da Produção (Reais/Tonelada)
Brasil	311.888	100	152.347.316,96	100	488,47
Minas Gerais	22.115	7,1	13.959.175,36	9,2	631,21
Espírito Santo	4.838	1,6	2.805.237,34	1,8	579,83
Rio de Janeiro	40.346	12,9	15.773.168,70	10,4	390,95
São Paulo	131.739	42,2	42.890.436,77	28,2	325,57
Sudeste	199.038	63,8	75.428.018,17	49,5	378,96
Paraná	30.417	9,8	16.164.014,06	10,6	531,41
Santa Catarina	11.804	3,8	8.300.642,40	5,4	703,21
Rio Grande do Sul	27.525	8,8	20.400.351,87	13,4	741,16
Sul	69.746	22,4	44.865.008,33	29,4	643,26
Rondônia	1.629	0,5	1.504.346,50	1	923,48
Acre	256	0,1	391.401,20	0,3	1528,91
Amazonas	1.316	0,4	1.607.304,15	1,1	1221,36
Roraima	117	0	268.701,63	0,2	2296,60
Pará	2.535	0,8	2.774.602,18	1,8	1094,52
Amapá	220	0,1	445.107,50	0,3	2023,22
Norte	6.344	2	7.303.840,69	4,8	1151,30
Tocantins	271	0,1	312.377,53	0,2	1152,68
Maranhão	4.277	1,4	2.551.152,44	1,7	596,48
Piauí	328	0,1	325.588,49	0,2	992,65
Ceará	2.121	0,7	850.954,66	0,6	401,20
Rio Grande do Norte	693	0,2	561.661,12	0,4	810,48
Paraíba	2.238	0,7	1.162.706,36	0,8	519,53
Pernambuco	3.840	1,2	2.568.115,96	1,7	668,78
Alagoas	1.300	0,4	618.311,65	0,4	475,62
Sergipe	1.656	0,5	1.940.844,16	1,3	1172,01
Bahia	7.249	2,3	4.629.048,75	3	638,58
Nordeste	23.703	7,6	15.208.383,59	10	641,62
Mato Grosso do Sul	3.339	1,1	2.386.330,42	1,6	714,68
Mato Grosso	1.402	0,4	1.901.550,57	1,2	1356,31
Goiás	2.433	0,8	2.136.140,09	1,4	877,99
Distrito Federal	5.884	1,9	3.118.045,10	2	529,92
Centro-Oeste	13.057	4,2	9.542.066,18	6,3	730,80

Fonte: IBGE - Censo Agropecuário.

1. HIDROPONIA

A utilização de sistemas hidropônicos (do grego Hydro = água e Ponos = trabalho) na produção agrícola tem crescido exponencialmente na última década. O que se observa, na prática, é que a atividade, por si só, não é um “mar-de-rosas”, e que os problemas surgidos avolumam-se dia-a-dia, mesmo para os mais experientes na área.

O cultivo sem solo, do qual conceitualmente faz parte a hidroponia, tem precedentes longínquos tais como:

- Jardins Suspensos da Babilônia datando de 605-562 a.C.;
- Jardins Flutuantes da China descritos por Marco Polo – há 500-700 anos; e
- cultivos estabelecidos às margens do Rio Nilo no Egito – há 3000 anos.

Os primeiros trabalhos com cultivo em água datam de 1650 com Van Helmont (Resh, 2002; Santos, 1998a). Em 1804, Nicholas Théodore Sanssurre usou soluções nutritivas de concentração inicial conhecida, preparada a partir de vários sais dissolvidos em água destilada (Carmello, 1998). O grande impulso na hidroponia como atividade comercial vem com a publicação de “The Complete Guide to Soilless Gardening” por Willian F. Gericke da Universidade da Califórnia (USA) em 1936, inclusive instituindo a palavra “HIDROPONIA” (Carmello, 1998; Santos, 1998a; Faquin et alii, 1996; Teixeira, 1996; Douglas, 1987).

Depois disso, muitos trabalhos importantes foram realizados, destacando-se:

- A fórmula de solução de Dennis Robert Hoagland e Daniel I. Arnon em 1950, que tem servido como base para soluções nutritivas até os dias atuais;
- Os trabalhos de C. M. Johnson e colaboradores, que propuseram uma modificação na solução n.º 2 de Hoagland e Arnon, fazendo a relação de NH_4^+ e NO_3^- ser de 1:7, mantendo assim o pH próximo de cinco (Carmello, 1998);
- O grande marco no desenvolvimento da hidroponia econômica e comercialmente foi o conceito de NFT (Nutrient Film Technique), traduzido para o Português como Técnica de Fluxo Laminar de Nutrientes, por Allen Cooper em 1965 (Jones, 1983; Santos, 1998a).

1.1. Prós e Contras do Uso da Técnica de Hidroponia.

É muito comum encontrarem-se listas com infindáveis vantagens da utilização tanto do cultivo hidropônico como do convencional. No entanto, ao analisar essas vantagens, é necessário ser criterioso a fim de perceber o que é realmente uma vantagem na situação local de cada produtor, bem como avaliar a aplicabilidade do que está sendo proposto mediante as condições técnicas de que o produtor dispõe e às vicissitudes que a tecnologia traz ao meio agrícola.

Comumente, destacam-se as seguintes vantagens (aplicáveis ao uso dos sistemas hidropônicos em geral e resguardadas as particularidades de cada um):

- Possibilidade de produção de alimentos próxima aos centros consumidores, onde as áreas disponíveis são parcas e de alto valor imobiliário;
- Melhor eficiência no uso d’água e melhor controle de sua qualidade;
- Melhor eficiência na utilização dos fertilizantes;

- Redução no uso de agrotóxicos devido à melhor nutrição das plantas e conseqüente menor ataque de pragas e doenças;
- Maior produtividade e conseqüente redução dos custos de produção;
- Possibilidade de aproveitamento de áreas inaptas ao cultivo convencional tais como zonas áridas e solos degradados (Teixeira, 1996);
- Cultivo livre de parasitas e microrganismos patogênicos para o ser humano provenientes de água de irrigação contaminada;
- Independência do cultivo às intempéries tais como veranico, geadas, chuvas de granizo, ventos, encharcamentos, e às estações climáticas, permitindo o cultivo durante todo o ano (Faquin, 1996);
- Redução do uso de mão-de-obra nas atividades “braçais” tais como a eliminação de tratos culturais, capina e preparo de solo, além das atividades na hidroponia serem consideradas mais suaves (Castellane & Araújo, 1994);
- Possibilidade de automação quase completa;
- Redução de erosão e degradação do meio-ambiente por liberação de fertilizantes e agrotóxicos nos solos, contaminantes potenciais de lençóis freáticos;
- Produtos mais limpos e de melhor qualidade biológica, como por exemplo, folhosas com níveis de nitrato controlados nos tecidos;
- Independência dos cultivos ao uso de matéria-orgânica;
- Antecipação da colheita devido ao encurtamento do ciclo da planta (Faquin, 1996);
- Rápido retorno econômico (Faquin, 1996);
- Permite um rápido controle em caso de deficiências nutricionais visíveis;
- Dispensa rotação de culturas (Teixeira, 1996).

Em contrapartida, podemos enunciar algumas desvantagens dos sistemas hidropônicos em relação aos cultivos convencionais:

- Alto custo de instalação dos sistemas (Santos, 1998a; Teixeira, 1996; Faquin, 1996);
- Necessidade de mão-de-obra especializada, ou no mínimo que o produtor tenha um treinamento teórico-prático adequado, não podendo prescindir de uma assistência técnica especializada (Santos, 1998a; Teixeira, 1996);
- Requer um acompanhamento permanente do funcionamento do sistema, principalmente do fornecimento de energia elétrica e controle da solução nutritiva (Faquin, 1996);
- Requer novos produtos e técnicas adequadas ao controle de pragas e doenças visto que a utilização de agrotóxicos convencionais elimina um dos atrativos comerciais do produto hidropônicos que é a qualidade biológica (Teixeira, 1996);
- O sistema hidropônico torna as plantas muito susceptíveis a desbalanços nutricionais, deficiências hídricas ou de oxigenação;
- A atividade é relativamente nova e de pouca tradição no sentido de que é comum o aparecimento de situações inusitadas para as quais não há um efetivo mecanismo de controle prontamente disponível.

2. TÉCNICA DO FLUXO LAMINAR DE NUTRIENTES (NFT).

Essa técnica, desenvolvida por Allen Cooper em 1965 e originalmente denominada “Nutrient Film Technique” (NFT), consiste na passagem de uma lâmina de solução nutritiva por um leito contendo as plantas (Furlani, 1995; Jones, 1983). Os sistemas de produção hidropônica comercial sem substratos sólidos, em sua maioria, atualmente usam a técnica NFT.

Em síntese, o sistema NFT consiste num leito (bancada), em geral suspenso a uma certa altura do solo (em torno de 1,0 m), podendo ser fabricado com diversos materiais: telha de cimento amianto ou fibrocimento, tubos de PVC, etc. (Zanotelli & Molino, 1997). As bancadas têm uma inclinação em torno de 2% para permitir a circulação normal da solução (Faquin, 1996; Jones, 1983). Os canais (leitos) podem conter substratos, usualmente pedra brita ou argila expandida, para a sustentação das plantas, apesar de não estarem mais sendo utilizados devido à limpeza trabalhosa que se faz necessário após cada cultivo.

Atualmente, os canais de cultivo não utilizam substratos e a sustentação das plantas é feita através de uma cobertura com orifícios (isopor, lona plástica de dupla face e “tetrapack®”) que também previne contra a entrada de luz e aquecimento do sistema radicular das plantas (Teixeira, 1996). Algumas empresas têm colocado no mercado canais de cultivo em forma de tubos de polipropileno achatados com orifícios para a colocação das plantas.

A irrigação num sistema com NFT é feita a partir de um reservatório contendo a solução nutritiva que é recalçada através de tubulação para o início dos canais (parte mais alta), descendo pelos mesmos até o final onde é recolhida e retornada ao reservatório por um sistema de drenagem (Teixeira, 1996; Faquin, 1996). No sistema de irrigação há uma derivação de retorno da solução para o reservatório passando por um sistema baseado no princípio de Venturi para propiciar sua oxigenação. A frequência de irrigação é controlada por um temporizador, funcionando intermitentemente por 10 ou 15 minutos, parando também 10 a 15 minutos, permitindo, assim, melhor oxigenação do sistema radicular. Atualmente o sistema hidropônico NFT é o mais utilizado a nível comercial devido a várias vantagens em relação a outros sistemas:

- Menor gasto de mão-de-obra com limpezas, principalmente quando não utiliza substrato;
- Possibilita o fornecimento adequado de nutrientes sem a necessidade de substratos;
- Maior rapidez e menor custo de implantação;
- Possibilidade de inúmeras modificações para ajustar à cultura;
- Permite acompanhamento bem facilitado do sistema radicular quando não se usa substrato;
- Permite a injeção de possíveis substâncias reguladoras de crescimento e fungicidas via solução nutritiva.

Apesar das grandes vantagens que o sistema apresenta, há problemas que merecem cuidados especiais:

- Como o sistema é circulante e na maioria das vezes não usa substrato, seu funcionamento fica inteiramente dependente do suprimento de energia elétrica ou de sistemas alternativos de bombeamento da solução;
- O controle de doenças pode ser bastante dificultado pela rápida disseminação através da solução. Para a desinfecção da solução nutritiva tem aparecido no mercado vários sistemas utilizando luz ultravioleta (Carruthers, 1998), ozônio (Jones, 1983), ultrafiltração e tratamento térmico, porém com custos às vezes proibitivos para os produtores.

Um sistema modificado do sistema tradicional de leitos horizontais é a Hidroponia Vertical, onde tubulões com 15 a 30 cm de diâmetro na posição vertical, preenchidos ou não com substratos, sustentam as plantas em orifícios ao longo do tubo. Nesse sistema a solução entra pela parte superior e desce por gravidade até um leito onde é recolhida como no sistema NFT tradicional (Teixeira, 1996). Apesar da possibilidade do cultivo de grande número de plantas por área, produtores que utilizaram o sistema não obtiveram sucesso em nível comercial, devido principalmente ao sombreamento das plantas da parte inferior.

3. OBJETIVO.

Esta tese teve como objetivo avaliar os efeitos decorrentes da utilização de diferentes forças iônicas da solução nutritiva e da adição de amônio em pequenas doses ou continuamente em cultivo hidropônico com sistema NFT.

4. HIPÓTESES DE TRABALHO.

A presente tese fundamenta-se em três hipóteses principais:

1- O caule da alface é uma região de acúmulo de compostos nitrogenados e funciona como “tampão” para evitar desequilíbrio metabólico da parte aérea quando a absorção de N é muito rápida.

2- É possível reduzir a concentração da solução nutritiva usada no cultivo hidropônico da alface sem que haja perda de produtividade.

3- O uso de pequenas doses de amônio antes da colheita reduz o conteúdo de nitrato nos tecidos da alface sem risco de perda de produtividade.

CAPÍTULO I

NITRATO, AMÔNIO, N-AMINO, AÇÚCARES SOLÚVEIS, N-KJELDAHL, P-TOTAL E K-TOTAL NOS VÁRIOS TECIDOS DAS ALFACES ORGÂNICA, HIDROPÔNICA E CONVENCIONAL.

RESUMO

O objetivo do trabalho foi observar a partição de alguns nutrientes e produtos do metabolismo na planta da alface. O presente trabalho teve um caráter exploratório; foram verificadas as variações de alguns nutrientes e componentes metabólicos de ocorrência freqüente nos tecidos da alface. Plantas de alface do tipo “crespa”, da cultivar “Verônica”, provenientes de três sistemas de cultivo, orgânico, hidropônico e convencional, foram separadas em oito partes: limbo das folhas basais, medianas e apicais, nervura central das folhas basais, medianas e apicais, caule e raiz. Foram realizadas as análises dos seguintes elementos e componentes metabólicos: nitrato, amônio, N-amino e açúcares livres, N-Kjeldahl, P-total, K-total, e distribuição da massa seca nos vários tecidos analisados. Em geral, considerando a parte aérea e raízes, os teores encontrados assemelham-se aos da literatura. Porém, quando as análises são realizadas nos vários tecidos que compõem a parte aérea, há diferenças significativas em todas as variáveis analisadas. Isso permite escolher partes da planta para analisar, dependendo do que se deseja observar. Em estudos fisiológicos, principalmente em se tratando de metabolismo do nitrogênio, a segmentação das partes pode ser fundamental na interpretação dos resultados. Na análise de nitrato, amônio, N-amino e açúcares livres na alface, é recomendada a separação de folhas e caule da parte aérea por terem mostrado grandes diferenças. A alface em cultura hidropônica mostrou teores de nitrato bem superiores aos outros sistemas de cultivo, chegando ao máximo de $1000 \text{ mg kg}_{\text{massa fresca}}^{-1}$ no caule, valor esse, entretanto, bem abaixo do máximo permitido pela legislação européia para acúmulo de nitrato em alface. Na avaliação de N-Kjeldahl, P-total e K-total, a utilização das folhas medianas refletiu melhor os valores médios desses elementos na parte aérea da planta. A análise apenas das folhas apicais, ou mais novas, pode resultar na superestimativa desses valores. Pelos resultados encontrados, pode-se sugerir que o caule da alface funciona como o principal órgão de reserva temporário de compostos nitrogenados livres, principalmente nitrato, amônio e N-amino, além de açúcares solúveis. Maiores estudos são necessários para confirmar se o caule teria efeito tampão caso as plantas da alface absorvessem grandes quantidades de nitrogênio na forma nítrica e amoniacal.

Palavras-chave: compartimento, análises, nutrientes na planta.

ABSTRACT

The objective of this study was to observe the distribution of some physiologic metabolites in lettuce plants. The present study had an exploratory character. Crest leaf lettuce plants were grown on three systems: organic, hydroponic, and conventional. Plants from each of systems were split in eight parts: old, medium, and new leaf limbos, old, medium, and new main leaf veins, stem and root. The analyses of the following physiologic metabolites and elements were accomplished: nitrate, ammonium, amino-N and free sugars, Kjeldahl-N, P and K, and dry mass distribution throughout the analyzed parts. In general, considering the aerial part and roots, the contents resemble literature reports. However, when the analyses are accomplished in the several parts that compose the shoot, there are significant differences among parts in all analyzed elements and metabolites. This allows making a better choice which part of the plant to analyze, depending on what one wants to observe. During physiologic studies with nitrogen metabolism, the separation of parts may be fundamental in the interpretation of the results. Nitrate, ammonium, amino-N and free sugars showed great differences among shoot parts and stem. Stems appear to accumulate their maximum contents. The hydroponic lettuce showed nitrate contents greater than any other lettuces, reaching a maximum of $1,000 \text{ mg kg}_{\text{fresh mass}}^{-1}$ in stems. Therefore, this amount is well below the maximum allowed by the European legislation for lettuce nitrate content. Medium leaves reflected shoot medium values of Kjeldahl-N, total P, and total K. On the other hand, new leaves can result in a higher estimate than actually medium contents. According to our results, it can be suggested that lettuce stem works as the main accumulator of free nitrogen compounds, specially nitrate ammonium and amino-N, besides soluble sugars. Further studies are necessary to confirm if lettuce stems would have buffer function in case of large amounts of nitrogen uptake.

Key words: compartment, analysis, plant nutrient.

1. INTRODUÇÃO

A cultura da alface (*Latuca sativa* L.) é explorada em todo o território nacional; compõe uma parcela importante da dieta de vegetais da população, tanto pelo sabor e qualidade nutritiva, quanto pelo baixo custo. Seu consumo, normalmente é feito “in natura” (Faquin, et al., 1996).

Dentre os sistemas de produção da alface, três destacam-se como os mais difundidos: o orgânico, o convencional e, mais recentemente, o hidropônico. Como a cultura difunde-se a passos largos, também a pesquisa inicia uma escalada em busca de informações ainda não disponíveis. Muitos desses trabalhos têm avaliado variáveis de grande significância fisiológica, tais como acúmulo de NO_3^- (nitrato), NH_4^+ (amônio), N-amino, açúcares solúveis, N total e P total, fundamentais para a pesquisa em nutrição da planta, e em especial da nutrição nitrogenada.

Em algumas culturas, tem-se observado grandes variações nessas variáveis, dentro dos vários tecidos da planta, dificultando a interpretação de resultados, quando as análises são segmentadas, limitando-se a apenas algumas partes da planta, tais como folhas e raízes. Por outro lado, análises da planta como um todo ou de parte aérea e raízes separadamente, podem levar a resultados também duvidosos, já que a distribuição de algumas variáveis fisiológicas não é levada em conta. Alguns trabalhos têm mostrado que algumas plantas utilizam partes da sua estrutura para acumular nitrogênio solúvel na forma de nitrato e N-amino, como por exemplo o talo da alface (Cometti, 2000), rizoma e raízes em *Paspalum notatum* (Bendix, et al., 1982).

Dentre as variáveis acima citadas, o nitrato acumulado no tecido da alface tem recebido especial atenção nos últimos anos, visto que o nitrato ingerido pelos animais a partir dos alimentos pode ser reduzido a nitrito (NO_2^-) no trato digestivo, e ao chegar à corrente sanguínea oxida o ferro ($\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$) da hemoglobina produzindo metahemoglobina. A metahemoglobina torna-se estável e inativa, tornando-se incapaz de transportar oxigênio (O_2) para a respiração celular, o que leva à doença conhecida como metahemoglobinemia, ou doença do “sangue azul” (Wright & Davison, 1964). De outro lado, o nitrito pode combinar-se com aminas formando “nitrosaminas” que se caracterizam por ser cancerígenas e mutagênicas (Maynard et al., 1976). Os níveis de nitrato em alface considerados aceitáveis para o consumo humano variam bastante. Na Europa, vários Países têm estabelecido limites máximos tolerados de 3500 a 4500 mg de $\text{NO}_3^- \text{ Kg}^{-1}$ de massa fresca para cultivo de inverno e 2500 mg de $\text{NO}_3^- \text{ Kg}^{-1}$ de massa fresca para cultivos de verão (Van Der Boon et al., 1990).

Do ponto de vista metabólico, o acúmulo de NO_3^- nos tecidos dá-se pelo alto influxo do ânion sem que haja disponibilidade de poder redutor proveniente do NADH^+ para a redução no NO_3^- a NO_2^- pela enzima Nitrato Redutase (Solomonson & Barber, 1990; Campbell, 1999), e da Ferredoxina para a redução, pela Nitrito Redutase, do NO_2^- a NH_4^+ (Hewitt, 1975), cuja assimilação também depende da disponibilidade de esqueletos de carbono (açúcares) para a formação de aminoácidos (Mifflin & Lea, 1977; Pate, 1980). Como a Ferredoxina é reduzida em nível de cloroplastos a partir de elétrons capturados pelo Fotossistema I, a planta no escuro tende a apresentar um déficit de poder redutor, podendo acumular nitrito, que por “feedback” inibe a ação da nitrato

reduz-se, acumulando assim o NO_3^- absorvido. Para que isso ocorra, é necessário que as outras variáveis como temperatura e disponibilidade de ATP sejam favoráveis à absorção do NO_3^- (Rao & Rains, 1976; Fernandes, 1983). As variações cíclicas diurnas no influxo de NO_3^- e NH_4^+ também promovem grandes variações no acúmulo tanto de N- NO_3^- quanto N-amino livres, principalmente nas raízes das plantas (Delhon et al., 1995).

Alguns manuais de análises de nutrientes nos tecidos de plantas recomendam a coleta de partes específicas da alfafa tais como a folha madura mais jovem do topo da planta (Kalra, 1998) e folhas recém-desenvolvidas (Embrapa, 1999). A distribuição precisa dos nutrientes, bem como a compartimentalização dos elementos relacionados ao metabolismo do nitrogênio, devem ser investigadas para melhorar tanto a compreensão dos resultados de análises quanto a amostragem do material.

O objetivo do presente trabalho é avaliar a distribuição de NO_3^- , NH_4^+ , N-amino livre, açúcares solúveis, nitrogênio-total e fósforo-total nos diferentes tecidos da alfafa.

2. MATERIAL E MÉTODOS.

Plantas da alfafa da variedade crespa (Verônica) foram colhidas em três diferentes sistemas de cultivo comercial de produtores vizinhos a UFRRJ: sistemas orgânico, convencional e hidropônico. No sistema orgânico, a adubação restringiu-se apenas à utilização de adubo orgânico, principalmente esterco bovino e cama de aves, na dosagem de 20 t ha^{-1} . O sistema convencional, além de utilizar esterco bovino, utilizou-se de adubações minerais no plantio, 300 kg ha^{-1} da fórmula 4-14-8 de NPK. O sistema hidropônico utilizou a solução nutritiva preconizada por Furlani (1997), com condutividade de $1,0 \text{ mS cm}^{-1}$ (metade da força iônica). Em cada sistema de cultivo foram coletadas 4 plantas, no horário de 7:00 h, no mês de setembro de 2000, sem ocorrência de tempo encoberto nos últimos 3 dias antes da coleta, e com temperaturas amenas durante o período. As temperaturas médias foram de $20,5$ e $20,7^\circ\text{C}$, com amplitude de $11,6$ e $8,3^\circ\text{C}$, as umidades relativas médias foram 66 e 74% e as precipitações mensais acumuladas foram $56,7$ e $136,7 \text{ mm}$, nos meses de agosto e setembro, respectivamente (base de dados agroclimatológicos da Estação Experimental de Itaguaí/PESAGRO-Rio – Coord: Lat: $22^\circ45'S$ – Long: $43^\circ41'W$ – Alt: 33 m). Todas as plantas coletadas estavam em idade adulta e prontas para a comercialização. As plantas hidropônicas tinham idade de 45 DAS, e as do cultivo convencional e orgânico, em torno de 70 DAS.

Preparo das amostras:

As plantas foram imediatamente levadas ao laboratório e separadas em 8 partes. Inicialmente, as folhas foram destacadas do caule e distribuídas em três partes: folhas do terço basal, folhas do terço médio e folhas do terço apical. Delas foram separados o limbo foliar e a nervura central. Finalmente, foram separados o caule e as raízes. A seguir são dadas as convenções para as oito partes:

- LB: limbo das folhas basais;
- LM: limbo das folhas medianas;
- LA: limbo das folhas apicais;

- NB: nervura central das folhas basais;
- NM: nervura central das folhas medianas;
- NA: nervura central das folhas apicais;
- C: caule;
- R: raízes;
- PA: média ponderada de todos os tecidos da parte aérea, incluindo caule.

Após a separação das partes, as mesmas foram pesadas, cortadas em pedaços (“picadas”) e homogeneizadas para retirada de uma alíquota de um grama de tecido fresco. Este foi acondicionado em vidro âmbar, com 20 mL de álcool etílico a 80% para extração de NO_3^- , NH_4^+ , N-amino e açúcares solúveis (Fernandes, 1974). O restante do material foi seco em estufa a 70° C até peso constante, moído a 40 mesh e pesada uma alíquota de 0,2 g para análise de N e P totais.

Extração alcoólica e separação:

As amostras de 1g em etanol 80 % foram trituradas em almofariz por 3 minutos, filtradas em quadro camadas de gaze clínica e papel de filtro de filtragem rápida. O filtrado foi transferido para funil de separação onde foi adicionado igual volume de clorofórmio, agitado suavemente e deixado em repouso por 40 minutos para a completa separação. A fração apolar foi descartada e a polar foi recolhida, completada a 25 mL com etanol a 80% e guardada em geladeira para as determinações (Fernandes, 1974).

Análises de NO_3^- , NH_4^+ , N-amino e açúcares solúveis:

Nitrato foi determinado colorimetricamente por uma técnica descrita por Cataldo et al. (1975), a partir da nitração do ácido salicílico e leitura em espectrofotômetro a 410 nm. A determinação de amônio foi feita pelo método colorimétrico descrito por Weatherburn (1967) e a leitura em espectrofotômetro a 630 nm. A determinação de N-amino com ninidrina foi feita segundo método descrito por Yemm & Cocking (1955), e a leitura feita em espectrofotômetro a 570 nm. Finalmente, os açúcares solúveis foram determinados pelo método da antrona descrito por Yemm & Willis (1954) e a leitura feita em espectrofotômetro a 620 nm. Para as análises, foi utilizado um espectrofotômetro Shimadzu UV1200.

Análises de N-Kjeldahl e P-total:

Após a secagem do tecido vegetal e moagem, uma alíquota de aproximadamente 0,2g foi digerida com água oxigenada e ácido sulfúrico a 330° C. O nitrogênio foi determinado por titulometria, após a destilação da amônia por arraste de vapor em aparelho semimicro-Kjeldahl e recolhimento da amônia em indicador com ácido bórico. A titulação foi feita com ácido sulfúrico a 0,05 N. O P total foi determinado por colorimetria, após complexação e redução com vanadato-molibdato de amônio, de acordo com o método descrito por Tedesco et al. (1995). O cálculo o N-protéico foi feito multiplicando o N-Kjeldahl por 1,1628 conforme proposto por Simonne et al. (1994), após descontarem-se os valores de N-nitrato, N-amino e N-amônio. No cálculo do teor de proteína bruta foi utilizado o fator 6,25, assumindo-se que as proteínas contém, em média, 16% de nitrogênio (Yeoh & Truong, 1996).

Análise Estatística:

Toda a análise estatística foi feita através do programa SAEG, da Universidade Federal de Viçosa. Os dados foram submetidos ao teste de LILLIEFORS para normalidade e COCHRAN E BARTELLET para homogeneidade de variância. Dado a não normalidade dos dados, todas as variáveis sofreram transformação " $\text{Log}_{10} x$ " para a análise de variância, exceto a estimativa do teor protéico que foi transformada por " \sqrt{x} ". O teste de médias utilizado foi Tukey a 5% (Gomes, 1984). Na confecção dos gráficos foram utilizados os programas de computação Microsoft Excel®, e SigmaPlot® (SPSS Science, Chicago, IL).

3.RESULTADOS E DISCUSSÃO

Distribuição da Massa Seca na Planta:

A Figura 2 mostra a distribuição percentual de massa seca nos vários tecidos das plantas da alface, ou seja, a partição de carbono nos vários tecidos. A maior parte da massa seca encontra-se nos limbos foliares, variando de 59% na alface convencional a 76,4% na hidropônica. Por outro lado, a menor fração de massa seca encontra-se nas raízes, variando de 2% na orgânica a 4,9% na convencional. A fração de massa seca contida nas nervuras das folhas varia de 12 a 22% na alface hidropônica e na convencional, respectivamente, enquanto no caule a hidropônica chega a 7% e a orgânica a 18% da massa seca total da planta. Dados apresentados por Faquin et al. (1996) para alface hidropônica da cultivar Verônica, em ponto comercial, mostram valores partição da massa seca de 81,1% para as folhas, 5,8% para o caule e 13,04% para as raízes; ou seja, um percentual maior de massa alocada às raízes. Em termos gerais, a alface hidropônica investe menor quantidade de massa seca na formação do caule e das nervuras centrais das folhas, melhorando a distribuição no limbo foliar. Essa maior relação limbo foliar : nervuras+caule é interessante do ponto de vista comercial e nutricional, como será discutido posteriormente. Em relação ao sistema radicular, esperar-se-ia um maior investimento de carbono em sistema radicular pelas plantas cultivadas em solo, alfaces orgânica e convencional, do que nas plantas cultivadas em solução nutritiva. Isso não foi observado possivelmente pela dificuldade de ser recuperar todas as raízes das plantas cultivadas no solo e, adicionalmente, pela recuperação de todo o sistema radicular das plantas cultivadas hidroponicamente. Apesar da alocação de massa nos tecidos da planta estar ligada à espécie e cultivar, o rápido crescimento da planta em hidroponia aliado à farta disponibilidade de nutrientes na solução nutritiva e relativamente menor estresse hídrico permitem a produção de plantas menos fibrosas, com folhas mais suculentas, e portanto com menor consumo de carbono na produção de paredes mais rígidas, com mais celulose, lignina, etc.

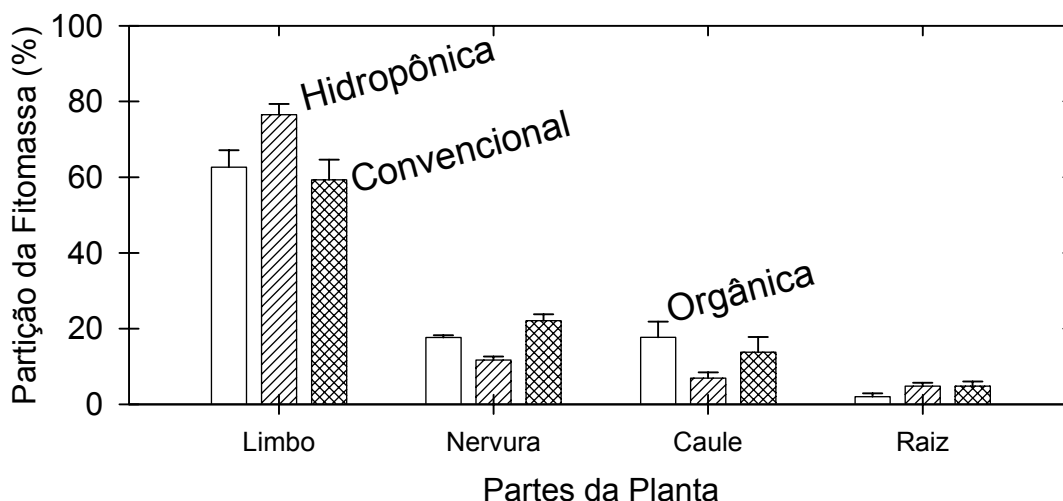


Figura 2. Partição da Fitomassa das Alfaces Orgânica, Hidropônica e Convencional. Limbo e nervura pertencem às folhas. Cada barra representa a média de quatro repetições e as barras de erro indicam desvio padrão.

N-amino, açúcares solúveis, NO_3^- e NH_4^+ :

Os teores de N-amino são mostrados na Figura 3. O acúmulo de N-amino na alface sob os três tipos de cultivo mostra a mesma tendência. Os valores mais elevados foram os dos caules, variando de 10 $\mu\text{mol/g}$ de massa fresca na alface orgânica a 19,5 $\mu\text{mol/g}$ de massa fresca na hidropônica. Os menores teores foram detectados nas nervuras das folhas basais e medianas, variando de 1,6 a 4,3 $\mu\text{mol/g}$ de massa fresca no orgânico e no convencional, respectivamente. Enquanto as alfaces orgânicas e convencionais tendem a acumular mais N-amino no limbo foliar e no caule, a hidropônica tende a acumular mais N-amino nas nervuras das folhas apicais e no caule.

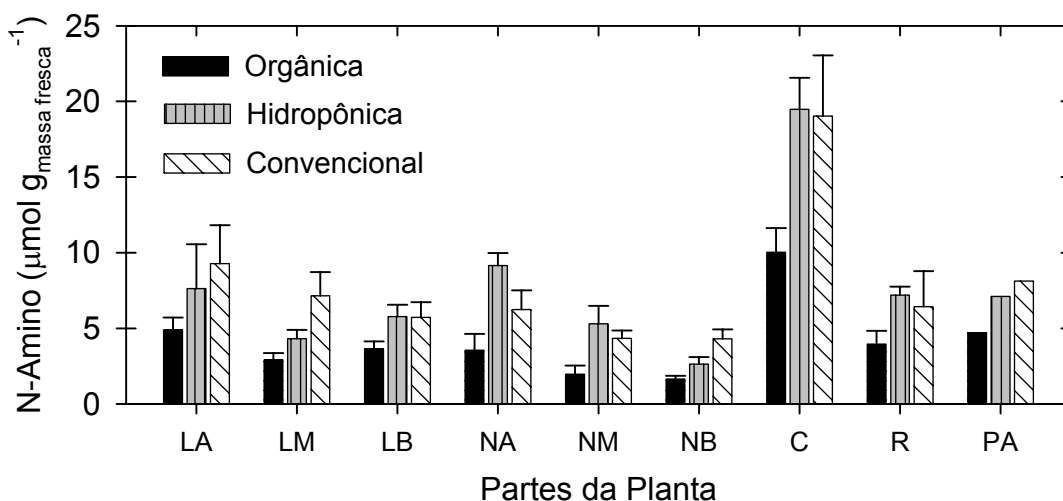


Figura 3. Teores de N-amino nos Vários Tecidos das Alfaces Orgânica, Hidropônica e Convencional. LA: limbo das folhas apicais; LM: limbo das folhas medianas; LB: limbo das folhas basais; NA: nervura central das folhas apicais; NM: nervura central das folhas medianas; NB: nervura central das folhas basais; C: caule; R: raízes; PA: parte aérea. Cada barra representa a média de quatro repetições e as barras de erro indicam desvio padrão.

Embora não indicada na Figura 3, a análise estatística mostrou que os valores de N-amino na alface orgânica foram menores do que na convencional e na hidropônica em todos os tecidos da planta. Estatisticamente, as diferenças marcantes que se observam estão entre o caule e todos os outros tecidos, indicando haver um acúmulo de 2 a 4 vezes maior no caule do que nos outros tecidos da alface. Teores de N-amino elevados, normalmente indicam situação de estresse nutricional ou ambiental para as plantas (Fernandes & Rossiello, 1995; Fernandes, 1983). Em alface, Pereira et al. (1989) encontraram valores de N-amino variando de 9 a 16 $\mu\text{mol g}^{-1}$ de massa fresca, não mostrando correlação com excesso de NH_4^+ no solo. Dos resultados encontrados aqui, apenas os teores de N-amino do caule ultrapassam 10 $\mu\text{mol g}^{-1}$ de massa fresca. As colunas referentes a PA (parte aérea), no entanto, mostram valores médios da parte aérea que se situam numa faixa bem abaixo dos encontrados no caule. Isso pode indicar que algumas análises realizadas com a parte aérea como um todo podem “mascarar” a presença de N-amino acumulado em compartimentos dentro da planta, como é o caso do caule.

A Figura 4 mostra os teores de açúcares solúveis nos vários tecidos da alface nos três tipos de cultura, com base na equivalência em glicose. No geral, esses teores de açúcares solúveis nas alfaces orgânicas e convencionais seguem a mesma tendência, acumulando em maior quantidade nos caules (13,7 mg kg⁻¹ massa fresca no caule da alface convencional), decrescendo das nervuras e das folhas apicais para as basais. Os menores teores foram encontrados nos limbos e nervuras das folhas basais. Já a alface hidropônica apresenta altos teores de açúcares nas folhas basais (15,4 mg kg⁻¹ de massa fresca), e baixos teores nas raízes (2,33 mg kg⁻¹ de massa fresca). É possível que as folhas basais ainda estejam funcionando como principal fonte de fotossintatos, visto que as plantas apresentavam-se fisiologicamente jovens no momento da colheita.

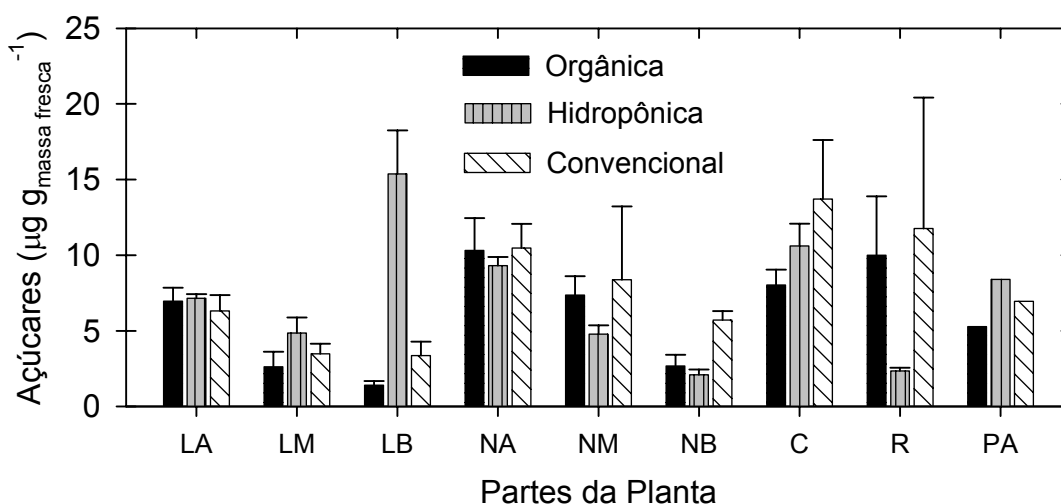


Figura 4. Teores de Açúcares Solúveis nos Vários Tecidos das Alfaces Orgânica, Hidropônica e Convencional. LA: limbo das folhas apicais; LM: limbo das folhas medianas; LB: limbo das folhas basais; NA: nervura central das folhas apicais; NM: nervura central das folhas medianas; NB: nervura central das folhas basais; C: caule; R: raízes; PA: parte aérea. Cada barra representa a média de quatro repetições e as barras de erro indicam desvio padrão.

O baixo valor de açúcares solúveis nas raízes da alface hidropônica pode ser resultado da nutrição parcialmente amoniacal da composição da solução nutritiva (Furlani, 1997). O amônio absorvido deve ser imediatamente incorporado ainda nas raízes, aumentando a demanda por fotossintatos. Além disso, o alto teor de nitrato em toda a planta (Figura 5), além de poder redutor, demanda esqueletos de carbono oriundos da fotossíntese para sua redução e assimilação. Resultados de Fernandes (1990) indicam uma tendência à redução nos teores de açúcares solúveis da parte aérea em plantas de arroz em situação de alta disponibilidade de NO_3^- . Muitas plantas cultivadas, tais como folhosas, possuem a tendência a reduzir uma grande parte do nitrato na parte aérea (Marschner, 1995).

Os teores de N-NO_3^- encontram-se na Figura 5. Em geral, os maiores acúmulos de nitrato foram observados nos caules para os três tipos de cultura, enquanto que os menores acúmulos foram observados nos limbos das folhas basais. O teor médio de N-NO_3^- na parte aérea (PA) das alfaces sob cultivo orgânico e convencional foram $61,8$ e 146 mg kg^{-1} massa fresca, respectivamente. Esses valores encontram-se dentro do normal, e abaixo do encontrado por Pereira et al. (1989), cujos resultados mostram que os teores de nitrato em alface da variedade Aurélia, cultivada com adubação mineral, estiveram na faixa de 108 a 168 mg kg^{-1} de massa fresca, enquanto a alface cultivada com cama de galinha chegou a 303 mg kg^{-1} . Nesse mesmo experimento, as plantas de alface testemunha acumularam apenas $68,7 \text{ mg kg}^{-1}$, o que indica a alta variabilidade no acúmulo de nitrato no tecido vegetal frente à disponibilidade do nutriente.

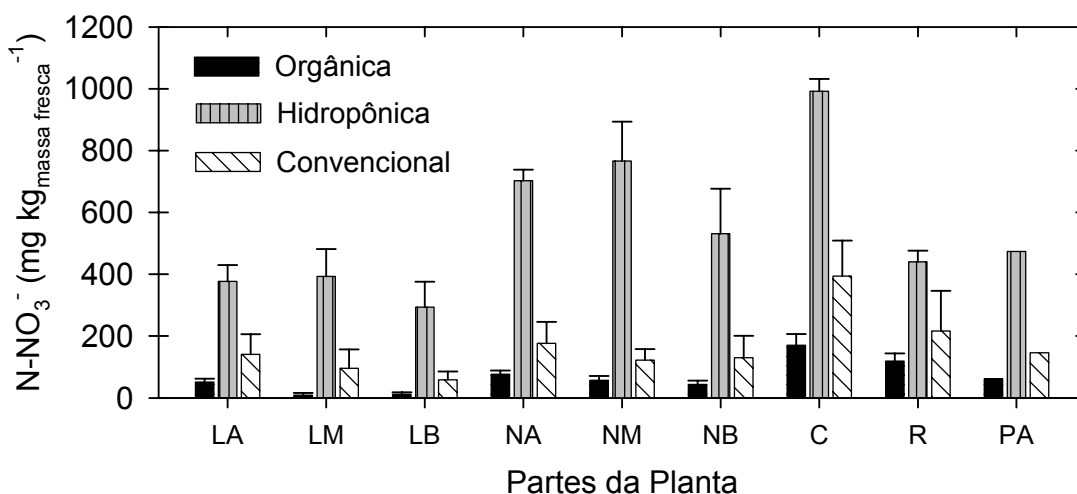


Figura 5. Teores de Nitrato nos Vários Tecidos das Alfaces Orgânica, Hidropônica e Convencional. LA: limbo das folhas apicais; LM: limbo das folhas medianas; LB: limbo das folhas basais; NA: nervura central das folhas apicais; NM: nervura central das folhas medianas; NB: nervura central das folhas basais; C: caule; R: raízes; PA: parte aérea. Cada barra representa a média de quatro repetições e as barras de erro indicam desvio padrão.

Entre os tipos de cultivo, a análise estatística indica a superioridade dos teores de nitrato em todos os tecidos da alface hidropônica em relação às outras duas (letras não mostradas). O teor de nitrato mais elevado, no caule, chegou a 992 mg kg^{-1} massa fresca. Os teores médios de nitrato da parte aérea (PA), no entanto, não passaram de 473 mg kg^{-1} . Nos limbos foliares, os teores estiveram sempre abaixo desse valor, chegando a 393 mg kg^{-1} no limbo das folhas medianas (LM). Valores semelhantes foram obtidos

por Faquin et al. (1996), onde plantas da alface da cultivar Verônica cultivadas hidroponicamente e colhidas às 6:00 h apresentaram 406,2 mg N-NO₃⁻ kg⁻¹ de folhas frescas. Outro trabalho, realizado por Ruschel et al. (1999) mostrou que mesmo com altas doses de NO₃⁻ na solução nutritiva, a alface hidropônica tanto da cultivar Marisa quanto Vera, ambas crespas, não apresentaram mais do que 340mg N-NO₃⁻ kg⁻¹ massa fresca da parte aérea. O acúmulo de nitrato em órgãos específicos das plantas foi observado por Bendix et al. (1982) e Fernandes et al. (1985), onde raízes e rizomas de *Paspalum notatum* têm efeito tampão, acumulando o excesso de nitrato para evitar que a absorção de N em excesso possa afetar o crescimento da parte aérea. Da mesma forma, o caule da alface poderia amenizar grandes acúmulos de NO₃⁻ nas folhas, o que necessita maiores estudos para que seja confirmado. Mesmo um teor mais alto de nitrato no tecido, como o encontrado no caule (C) está aquém dos limites máximos permitidos na Europa, 2500 mg kg⁻¹ de massa fresca para cultivos de verão (Van Der Boon et al., 1990). A maioria dos trabalhos tem tomado a parte aérea inteira da planta para fins de análise de nitrato no tecido. A Figura 5 mostra que o valor médio (PA) situa-se acima dos valores encontrados nos limbos foliares devido ao maior acúmulo nas nervuras centrais das folhas, e no caule (C). Portanto, seria mais razoável destacar as folhas para determinar o teor de nitrato na parte aérea da alface para fins comerciais, visto que o valor mais alto do teor de nitrato nas nervuras das folhas é compensado pelas menores massas frescas das mesmas (Figura 2). Além de o caule apresentar um alto teor de nitrato, sua massa fresca representa quase o mesmo que a soma das nervuras foliares. Adicionalmente, para fins de nutrição humana, utilizam-se apenas as folhas. Em termos nutricionais, considerando que um ser humano de 70 kg em geral não consome mais do que 50 g de massa fresca da alface por dia, e que o limite para ingestão diária aceitável é de 3,6 mg N-NO₃⁻ por kg de peso vivo (Ruschel et al., 1999), a alface deveria conter mais do que 5000 mg N-NO₃⁻ por kg de massa fresca para ultrapassar esse limite. Face às condições de elevada disponibilidade de luz e temperatura, seria muito improvável encontrar tais níveis nas condições de clima tropical.

Em geral, os valores de N-NH₄⁺ foram muito baixos (Figura 6), com exceção da alface convencional que apresentou amônio no tecido do caule (2,46 μmol/g massa fresca), raiz (1,6 μmol/g) e nervuras das folhas apicais (1, 4 μmol/g). Raramente encontram-se valores altos de amônio nos tecidos devido a sua rápida assimilação. Os valores aqui encontrados podem estar relacionados com um momento fisiológico de grande disponibilidade de NH₄⁺ no solo devido a alguma adubação extemporânea realizado pelo produtor, ou uma adubação orgânica mais pesada, acompanhada de condições climáticas estressantes tais como baixo fluxo de fótons fotossintéticos e altas temperaturas (Fernandes, 1991). Pereira et al. (1989), trabalhando com adubação nitrogenada amoniacal e orgânica encontrou valores variando de 0,35 a 3,75 μmol N-NH₄⁺ g⁻¹ massa fresca em plantas adultas de alface, mostrando que a cultura não acumula N-NH₄⁺.

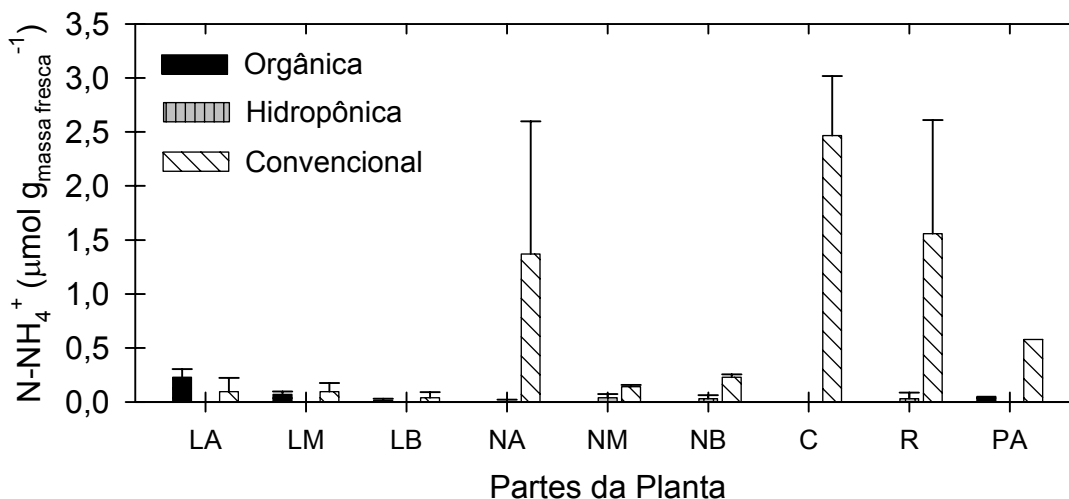


Figura 6. Teores de Amônio nos Vários Tecidos das Alfaves Orgânica, Hidropônica e Convencional. LA: limbo das folhas apicais; LM: limbo das folhas medianas; LB: limbo das folhas basais; NA: nervura central das folhas apicais; NM: nervura central das folhas medianas; NB: nervura central das folhas basais; C: caule; R: raízes; PA: parte aérea. Cada barra representa a média de quatro repetições e as barras de erro indicam desvio padrão.

P-total, K-total e N-Kjeldahl:

Nas Figura 7, Figura 8 e Figura 9 são apresentados os resultados de P-total, K-total e N-Kjeldahl, respectivamente.

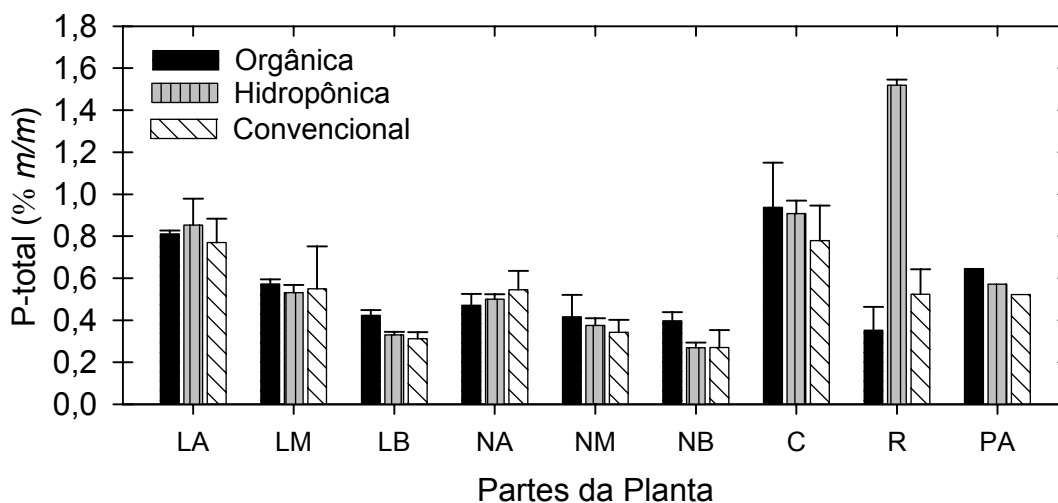


Figura 7. Teores de P-total nos Vários Tecidos das Alfaves Orgânica, Hidropônica e Convencional. LA: limbo das folhas apicais; LM: limbo das folhas medianas; LB: limbo das folhas basais; NA: nervura central das folhas apicais; NM: nervura central das folhas medianas; NB: nervura central das folhas basais; C: caule; R: raízes; PA: parte aérea. Cada barra representa a média de quatro repetições e as barras de erro indicam desvio padrão. *m*= massa.

Os teores de P nos limbos foliares variaram de 0,85% nas folhas apicais da alfave hidropônica a 0,31% no limbo das folhas basais da alfave convencional. As

nervuras das folhas apresentaram valores próximos aos do limbo foliar. Nas raízes, os teores foram de 0,52% na alface convencional e de 0,35% na orgânica. Já a hidropônica chegou a 1,52%. Esse alto valor deve-se provavelmente ao efeito de concentração, já que a alta disponibilidade de P na solução nutritiva leva ao baixo desenvolvimento radicular, indicado também pelo baixo teor de açúcares solúveis (Figura 4). Na parte aérea (PA – Figura 7), os teores de P-total variaram de 0,52% na alface convencional, 0,57% na hidropônica e 0,64% na orgânica. Fernandes et al. (1971) encontraram o teor de 0,46% de P-total na alface em ponto comercial. Há relatos de grandes diferenças nos teores de fósforo entre folhas apicais e folhas basais variando de 0,70 a 0,12%, respectivamente, em plantas bem nutridas com fósforo (Garcia et al., 1988a). Como os níveis críticos de fósforo para indicar deficiência geralmente são menores do que 0,4% (Jones et al., 1991), é importante que se utilizem folhas medianas por representarem o valor médio de P-total na parte aérea da alface.

Os resultados de potássio (Figura 8) mostram um fato curioso. Os maiores teores foram observados nas nervuras das folhas. Na alface orgânica foi encontrado acima de 8% de K nas nervuras das folhas medianas e basais. Na alface hidropônica o acúmulo maior se deu na nervura da folha mediana, e na alface convencional, na nervura folha velha. Esses valores, em torno de 8%, são pelo menos 50% maiores do que os encontrados nos limbos foliares, que apresentaram em torno de 6% de K. Isso revela a importância fisiológica das nervuras no transporte e translocação do potássio, que devem ser melhores estudados para o caso específico da alface. Garcia et al. (1988a) não encontraram grandes diferenças entre os níveis de potássio das folhas apicais e basais. Porém, quando comparadas plantas bem nutridas em potássio com as deficientes, eles encontraram valores variando de 7,77 a 1,32 %, respectivamente.

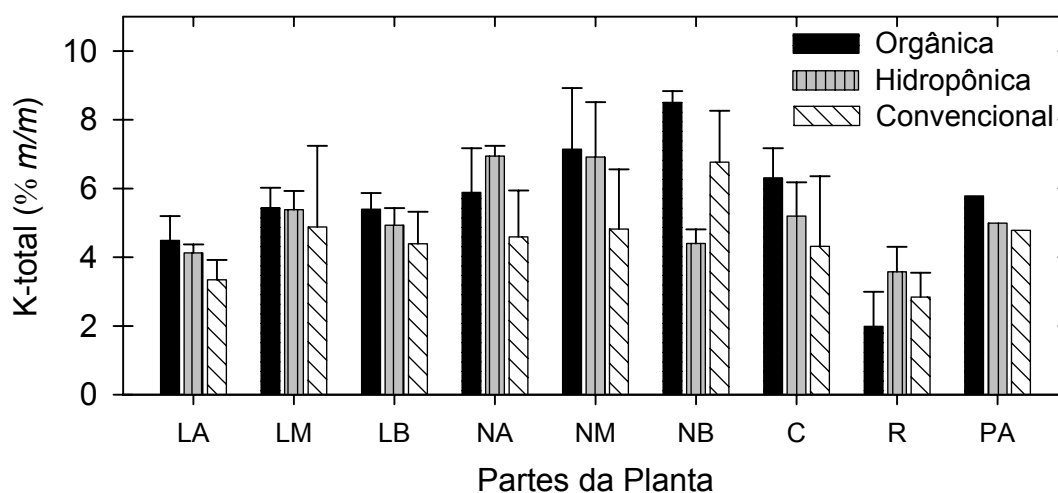


Figura 8. Teores de Potássio nos Vários Tecidos das Alfaces Orgânica, Hidropônica e Convencional. LA: limbo das folhas apicais; LM: limbo das folhas medianas; LB: limbo das folhas basais; NA: nervura central das folhas apicais; NM: nervura central das folhas medianas; NB: nervura central das folhas basais; C: caule; R: raízes; PA: parte aérea. Cada barra representa a média de quatro repetições e as barras de erro indicam desvio padrão. *m*= massa.

Os teores de N-Kjeldahl mais elevados foram encontrados nos limbos das folhas mais apicais (5,85% na alface hidropônica), decrescendo para as folhas basais (Figura 8). Na alface hidropônica, as raízes também apresentaram altos teores de N-Kjeldahl

(5,16%). As alfaces orgânicas e convencionais apresentaram os menores teores de N-Kjeldahl, com baixos valores nas nervuras das folhas basais e medianas e nas raízes, chegando a 0,95% nas nervuras das folhas medianas da alface convencional, o que mostra alta redistribuição de N para os tecidos mais novos. Estatisticamente, os valores de N-Kjeldahl da alface hidropônica foram mais elevados em todos os tecidos. Na parte aérea total (PA - Figura 9) os teores variaram de 2,75% nas alfaces orgânica e convencional a 4,2% na hidropônica. Pereira et al. (1989) encontraram o máximo rendimento em massa fresca quando os teores de N-Kjeldahl estiveram em torno de 2,8%, enquanto Fernandes et al. (1971) encontraram um teor médio de N-Kjeldahl de 2,2%. Roorda van Eysinga & Smilde (1981) consideram valores de N adequados para a alface na faixa de 2,1 a 5,6%, enquanto Jones et al. (1991) pressupõem 4 a 5% como a faixa ideal de N no tecido da alface. Essas discordâncias estão normalmente relacionadas com os órgãos analisados das plantas, especialmente em elementos com alta mobilidade dentro da planta. A recomendação da retirada de uma folha muito nova para a amostragem pode comprometer a interpretação do resultado da análise, especialmente para N, cujos níveis podem dobrar ou quintuplicar, dependendo do tecido amostrado.

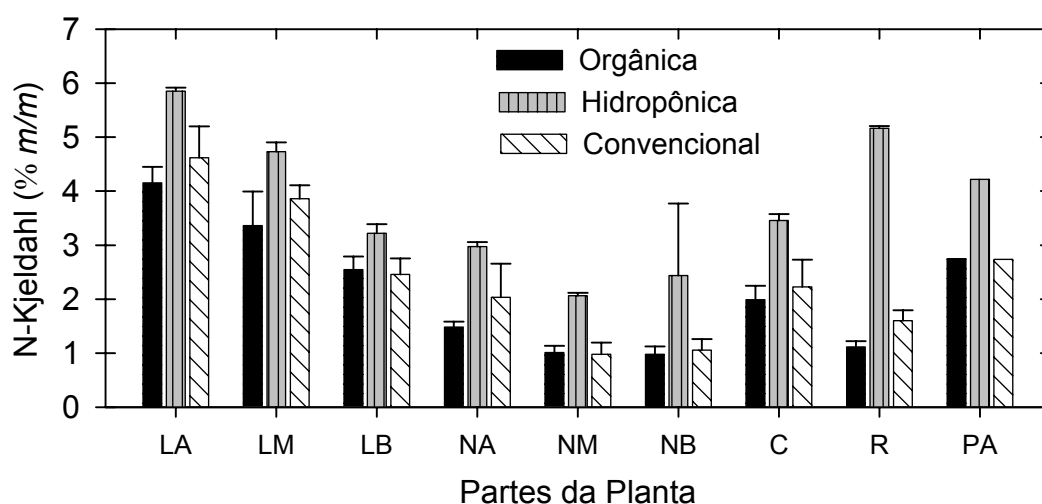


Figura 9. Teores de N-Kjeldahl nos Vários Tecidos das Alfaces Orgânica, Hidropônica e Convencional. LA: limbo das folhas apicais; LM: limbo das folhas medianas; LB: limbo das folhas basais; NA: nervura central das folhas apicais; NM: nervura central das folhas medianas; NB: nervura central das folhas basais; C: caule; R: raízes; PA: parte aérea. Cada barra representa a média de quatro repetições e as barras de erro indicam desvio padrão. *m*= massa.

As diferenças observadas nos teores de N-Kjeldahl entre os tipos da alface, parecem estar relacionadas diretamente com o acúmulo de nitrato, principalmente nos tecidos das nervuras foliares e no caule, visto que os teores de N-protético estimados praticamente não diferem entre os sistemas de cultivo da alface (Figura 10).

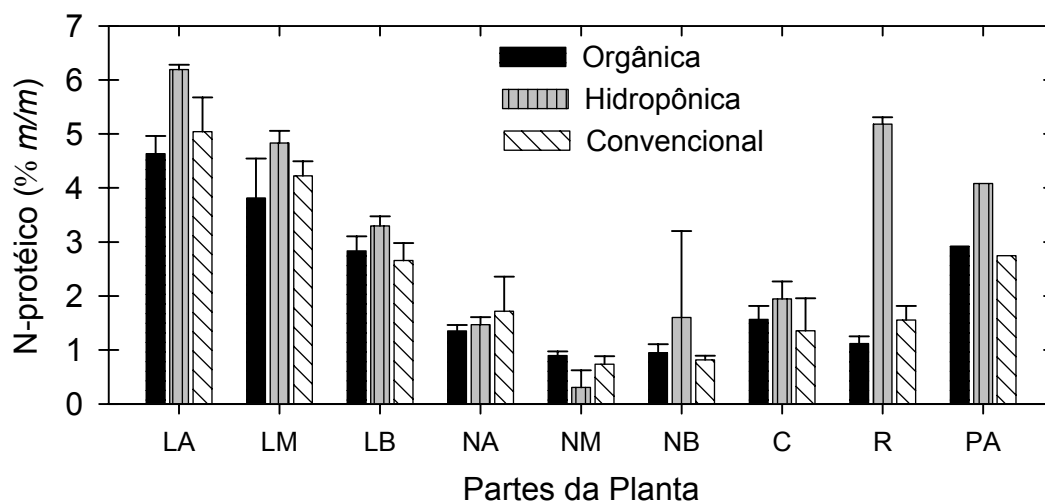


Figura 10. Teores de N-protéico nos Vários Tecidos das Alfaces Orgânica, Hidropônica e Convencional. LA: limbo das folhas apicais; LM: limbo das folhas medianas; LB: limbo das folhas basais; NA: nervura central das folhas apicais; NM: nervura central das folhas medianas; NB: nervura central das folhas basais; C: caule; R: raízes; PA: parte aérea. Cada barra representa a média de quatro repetições e as barras de erro indicam desvio padrão. *m*= massa.

Tanto nas folhas como nas raízes, porém, as plantas da alface hidropônica apresentam valores de N-protéico mais elevados, indicando melhor valor nutritivo em relação aos outros dois tipos da alface. Em termos percentuais, a alface hidropônica apresentou 40% mais N-protéico na parte aérea do que na alface orgânica (4,08% na hidropônica contra 2,92% na orgânica).

Pode-se considerar a alface como uma planta de baixo valor protéico. Assumindo-se o fator 6,25 para correção do N-protéico para proteína bruta, a parte aérea das alfaces apresentaram apenas 0,9%, 1,3% e 1,9% de proteína bruta nas alfaces orgânica, convencional e hidropônica, respectivamente (Tabela 2).

Tabela 2. Teores de Proteína Bruta nos Vários Tecidos das Alfaces Orgânica, Hidropônica e Convencional.

Tecido da Planta	ORGÂNICA	HIDROPÔNICA	CONVENCIONAL
	-----% proteína-----		
LB [£]	0,9bcB	1,7aA	1,1bB
LM	1,2abB	2,1bA	2,0aA
LA	1,8aB	3,1aA	2,6aA
NB	0,2eA	0,5cA	0,2cA
NM	0,2eA	0,1dA	0,2cA
NA	0,3deA	0,4cA	0,5cA
C	0,4cdeA	0,8cA	0,5cA
R	0,7bcdB	2,2dA	1,1bB
PA	0,9C	1,9 A	1,3B

[£] - LB: limbo das folhas basais; LM: limbo das folhas medianas; LA: limbo das folhas apicais; NB: nervura central das folhas basais; NM: nervura central das folhas medianas; NA: nervura central das folhas apicais; C: caule; R: raízes; PA: parte aérea. Letras minúsculas comparam partes das plantas e maiúsculas comparam tipos de plantas pelo teste de Tukey ao nível de 5%.

Essas diferenças entre as partes aéreas das alfaces são estatisticamente significativas, mostrando que a alface hidropônica apresenta maior teor de proteína bruta, ou seja, melhor qualidade do ponto de vista nutricional. Como era esperado, os tecidos das nervuras foliares e do caule apresentaram teores de proteína bruta muito baixos, menores do que 0,5%, exceto o caule da alface hidropônica (0,8%). Em contrapartida, os limbos das folhas apicais da alface hidropônica alcançaram 3,1%. Os valores encontrados nas estimativas para os teores de proteína bruta estão em consonância com a literatura, que cita um teor médio de proteína bruta de 1,3% na alface “in natura” (Sgarbieri, 1987; Ohse & Durante, 1998; Ohse et al., 2001).

Correlações:

A Tabela 3 mostra os valores dos coeficientes de correlação (R) entre as variáveis analisadas.

Tabela 3. Valor dos coeficientes de correlação (R) entre os componentes analisados nas alfaces orgânica, hidropônica e convencional.

	N-amino	Açúcares Solúveis	N-NO ₃ ⁻	N-NH ₄ ⁺	N-Kjeldahl
Açúcares Solúveis	0,373891				
N-nitrato	0,543838	0,160501			
N-amônio	0,436177	0,385865	0,045722		
N-Kjeldahl	0,258272	-0,18227	0,263188	-0,14129	
P-total	0,470251	-0,05209	0,236195	0,108704	0,593512

Dentre as correlações, apenas N-nitrato X N-amino e N-Kjeldahl X P-total apresentaram R acima de 0,5 e significativos ao nível de 1% de significância, mostradas nas Figura 11 e Figura 12. Na Figura 12 pode-se observar que a maioria dos pontos situam-se abaixo de 10 µmol/g de N-amino, apesar, desses pontos possuírem valores de N-nitrato numa faixa bastante larga, variando de 0 a 1000 mg kg⁻¹ de massa fresca. Isso faz com que o baixo coeficiente de correlação melhore bastante quando as correlações são feitas separadamente para cada tipo de planta, possuindo inclinações semelhantes para as alfaces orgânica e convencional (Figura 11 – a e c). Porém, quando os valores de N-nitrato são altos, acima de 200 mg kg⁻¹, no caso da alface hidropônica, a inclinação da reta cai, iniciando-se num patamar mais elevado (Figura 11 – b). Os pontos que indicam maiores teores de N-amino e N-NO₃⁻ (Figura 11 – a e c) são provenientes dos altos acúmulos nos caules observados nas Figura 5 e Figura 3. Esses resultados indicam a estreita relação entre o acúmulo de nitrato nos tecidos e sua assimilação, cujo resultado são os aminoácidos.

A correlação entre os teores de P-total e N-Kjeldahl possui um coeficiente de R=0,593 e significativo ao nível de 1% (Figura 12). Nesse caso, o agrupamento dos pontos em torno da reta é maior do que na correlação anterior.

Observa-se que a faixa de variação dos teores de P-total é bem estreita, estando a maioria dos pontos entre 0,2 e 1,0%, enquanto a faixa do N-Kjeldahl é bem mais ampla, de 1 a 6%. Devido ao efeito de concentração, alguns pontos com altos teores de P-total, acima de 1%, possuem teores de N-Kjeldahl baixo, ou ainda, em outros casos, baixos teores de P-total são correlacionados, em alguns pontos, com altos teores de N-Kjeldahl.

Em linhas gerais, a Figura 12 mostra que a relação N:P é de 10:1, e ocorre em todos os tecidos da alface.

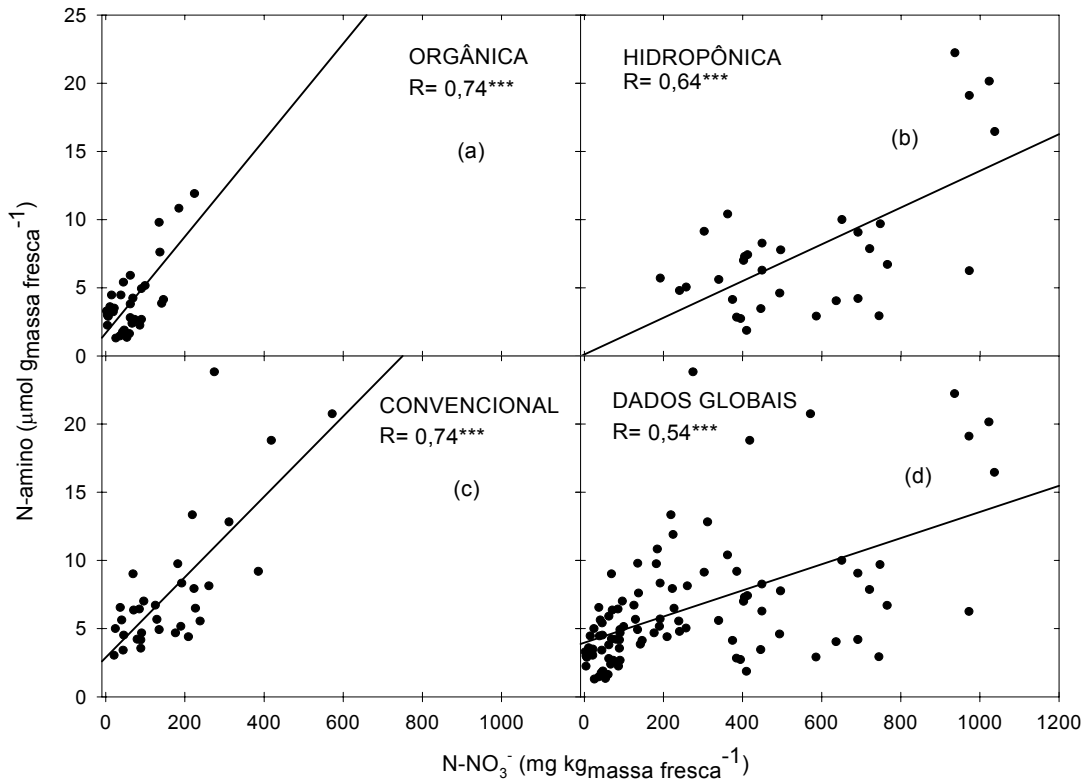


Figura 11. Relação entre os teores de N-nitrato e N-amino analisados nos vários tecidos das plantas da alface. (a) Orgânica; (b) Hidropônica; (c) Convencional; (d) Dados Globais.

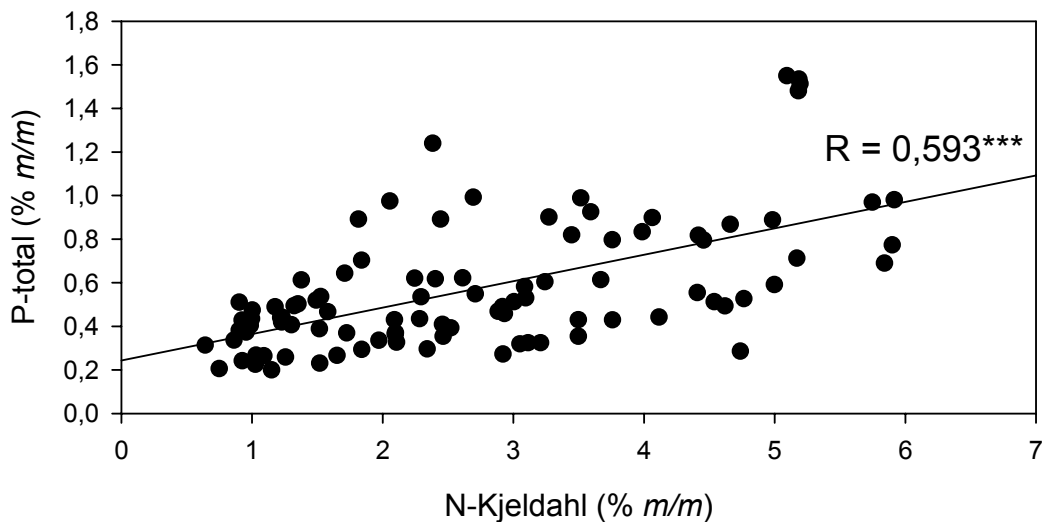


Figura 12. Correlação entre os Teores de N-Kjeldahl e P-total Analisados nos Vários Tecidos das Alfaces Orgânica, Hidropônica e Convencional - dados globais. *m*= massa.

4. CONCLUSÕES

O presente trabalho teve um caráter exploratório. Foram verificadas as variações de alguns nutrientes e componentes metabólicos que ocorrem no tecido vegetal da alface. Em geral, os teores observados assemelham-se aos encontrados na literatura, quando analisadas a parte aérea total e raízes. Porém, quando analisadas as várias partes componentes da parte aérea, há diferenças significativas em todas as variáveis analisadas. Isso permite escolher partes da planta para analisar, dependendo do que se deseja observar. Em estudos fisiológicos, principalmente em se tratando de nutrição nitrogenada, a segmentação das partes pode ser fundamental na interpretação de fenômenos fisiológicos, especialmente a separação de folhas e caule para estudos de variáveis relacionadas ao metabolismo de N.

Na avaliação de N-Kjeldahl, P-total e K-total, a utilização de folhas medianas refletiu melhor o valor médio desses elementos na parte aérea da planta. Folhas apicais podem dar resultados superestimados desses valores.

Pelos resultados encontrados, pode-se sugerir que o caule da alface funciona como o principal órgão de reserva temporário de compostos nitrogenados livres, principalmente N-NO_3^- , N-NH_4^+ e N-amino, além de açúcares solúveis. Maiores estudos são necessários para confirmar se o caule teria efeito tampão caso as plantas da alface absorvessem grandes quantidades de nitrogênio nítrico e amoniacal. Em geral, a alface hidropônica apresentou maior teor protéico do que as alfaces de cultivo orgânico e convencional, ou seja, melhor qualidade do ponto de vista nutricional humano.

CAPÍTULO II

EFEITO DA CONCENTRAÇÃO DA SOLUÇÃO NUTRITIVA NO CRESCIMENTO DA ALFACE EM CULTURA HIDROPÔNICA – SISTEMA NFT.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o crescimento da alface cultivada num sistema hidropônico com diferentes concentrações da solução nutritiva. Foi realizado um experimento em casa de vegetação nos meses de abril e maio de 2000. Alface (*Lactuca sativa* L.), da cultivar 'Vera', foi cultivada em um sistema hidropônico do tipo NFT. Os tratamentos constaram de quatro soluções nutritivas diferentes quanto à concentração de macronutrientes: (100, 50, 25 e 12,5 % da concentração original de Furlani (1997)). A utilização da solução nutritiva a 50% da concentração original, com condutividade elétrica em torno de $0,98 \text{ mS cm}^{-1}$, resultou na produção de massa seca da parte aérea (parte comercial) semelhante à solução a 100% da força iônica. O uso de concentrações menores do que 50% da solução nutritiva pode causar redução no crescimento, nas condições de luz e temperatura em que o presente experimento foi conduzido. Aparentemente a colheita mostra maior viabilidade econômica em torno de 45 dias após a semeadura (DAS); a partir daí a eficiência de produção, ou a taxa de crescimento relativo, tende a decrescer. A redução da concentração da solução nutritiva reduz potencialmente os efeitos de danos fisiológicos, especialmente "tipburn", e permite a economia de pelo menos 50% do custo da solução nutritiva básica. Hoje, este custo está em torno de R\$ 10,00 por 1000 L. Numa produção hidropônica de 1,0 ha (10000 m²), considerando-se a produção mensal de 10000 plantas, pode-se alcançar uma economia de até R\$ 100,00 mensais em nutrientes apenas reduzindo-se a solução inicial para $1,00 \text{ mS cm}^{-1}$, sem comprometer a produtividade. Essa conclusão vale apenas para regiões com clima semelhante ao deste experimento com alta temperatura e alta luminosidade. A redução na concentração da solução nutritiva até 25% da concentração original parece não ter muita influência na espessura das folhas e na partição de carbono entre parte aérea e sistema radicular. Das variáveis medidas no sistema radicular, o comprimento radicular específico e a área radicular específica mostraram-se bons indicadores das diferenças nas raízes em função dos tratamentos de concentrações da solução nutritiva.

Palavras-chave: condutividade elétrica, taxa de crescimento, raiz.

ABSTRACT

The objective of this research was to evaluate lettuce growth and productivity on a hydroponic system with different nutrient solution concentrations. An experiment was carried out in greenhouse during April and May 2000. Lettuce (*Lactuca sativa* L.) was grown on a NFT hydroponic system with four treatments differing in macro nutrient concentration: 100, 50, 25 and 12,5% of the original concentration of Furlani's solution (1997). Using 50% of the original concentration with electric conductivity around 0,98 mS cm⁻¹ showed to produce the same mass of shoot as 100% of the ionic strength. Under light and temperature conditions in that the present experiment was carried out, nutrient solution concentrations smaller than 50% can cause growth reduction. The crop became apparently more economically viable around the 45 after seeding, starting from which relative growth rate tends to decrease. The reduction of the concentration of the nutrient solution reduces the effects of physiologic damages, especially tipburn, and allows the economy of at least 50% of the basic nutrient solution costs. Today, its cost is around R\$ 10.00 for 1,000 L. In an 1.0 ha hydroponic production area, or 10000 m², considering a monthly production of 10,000 plants, it can be achieved an economy of R\$ 6,000.00 per year if nutrients are reduced and electric conductivity is close to 1.00 mS cm⁻¹, without loss of productivity. This conclusion works for areas with similar environment to this experiment with high temperature and high light intensity. The reduction in nutrient solution concentration up to 25% of the original concentration seems neither change leaves thickness nor carbon partition between shoot and root. Among measured variables in roots, the root specific length and the root specific area are good indicators of the treatment differences observed in roots.

Key words: electric conductivity, growth rate, root.

1. INTRODUÇÃO.

O cultivo hidropônico da alface tem se difundido rapidamente em todo o país. Na região Sudeste, especialmente, tem alcançado seu máximo crescimento, que pode ser atribuído a uma série de fatores, destacando-se: melhor preço final do produto, maior demanda por produtos de qualidade superior e maior difusão de tecnologia. O crescimento do setor, no entanto, não tem sido acompanhado pelo crescimento do volume de pesquisas na área, provocando uma grande lacuna entre a demanda por soluções para os problemas que têm surgido e a pesquisa gerada pelas Universidades e pelos órgãos de Pesquisa. Desse modo, os produtores hidropônicos têm enveredado pelo caminho da produção sem embasamento científico e sem suporte para solucionar problemas únicos que ocorrem em ambientes de clima tropical. O sistema hidropônico chamado NFT (técnica do filme de nutrientes) tem ganhado destaque na produção de hortaliças, sendo o preferido dentre os vários sistemas disponíveis pelas suas vantagens de praticidade e eficácia na produção.

Muitas fórmulas de soluções nutritivas têm sido usadas e até mesmo avaliadas quanto à produtividade. Trabalhos de Santos (1998b) mostram que não há grandes diferenças na produtividade entre as soluções nutritivas utilizadas comumente. Atualmente, há inúmeras fórmulas de soluções sendo utilizadas em cultivos hidropônicos no Brasil proveniente de publicações nacionais e estrangeiras (Castellane & Araújo, 1994; Carrasco & Izquierdo, 1996; Furlani, 1997; Resh, 2002; Sasaki, 1992). Em geral, as soluções nutritivas em voga têm um ancestral comum, a solução proposta por Hoagland & Arnon em 1938 (Hoagland & Arnon, 1950), cujos níveis de macro e micronutrientes muito se assemelham aos atualmente preconizados. A elevada concentração de sais observada nas soluções de Hoagland & Arnon se perpetuou e pode ser observada na maioria das soluções em uso atualmente, alcançando níveis de condutividades elétricas maiores do que $2,0 \text{ mS cm}^{-1}$. O uso de concentrações salinas elevadas nas soluções nutritivas, concomitante às condições ambientais de alta temperatura, alta umidade e elevada luminosidade, que ocorrem nos Estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo, têm provocado situações inusitadas que não ocorrem normalmente em clima temperado. Dentre elas, os distúrbios fisiológicos das plantas podem ser considerados como os mais preocupantes, expressando-se na forma de murcha excessiva nas horas mais quentes do dia, queima das bordas das folhas (“tipburn”) e perda na produtividade (Huett, 1994).

O aumento da concentração salina reduz o potencial d'água no meio fazendo com que, mesmo num meio aquoso como é a solução nutritiva, a planta tenha dificuldade em absorver água suficiente para repor a perda por transpiração nas horas mais quentes do dia (Marschner, 1995; Taiz & Zeiger, 2002). Em solução nutritiva, o potencial de água pode ser resumido a apenas um componente - o potencial osmótico, ditado pela temperatura e, principalmente, pela concentração de íons (Steudle, 2000). Por outro lado, o aumento da força iônica da solução reduz a disponibilidade biológica de alguns íons, em diferentes intensidades, conforme a carga e o raio de hidratação do mesmo (Davies, 1962).

Tem havido uma preocupação crescente com a concentração das soluções nutritivas, visando sua redução por vários motivos: redução da concentração de nitrato nos tecidos vegetais, redução do potencial de eutroficação das soluções remanescentes dos cultivos hidropônicos (Siddiqi et al., 1998) e redução dos custos de produção com nutrientes através do aumento da eficiência do uso do nutriente. Trabalhos de Siddiqi et al. (1998) e Chen (1997) mostram ser possível reduzir a concentração da solução nutritiva a níveis tão baixos quanto 10% da força iônica original das soluções comumente usadas em cultivos hidropônicos de alface e tomate, sem que se incorra em riscos de perda da produtividade, em sistema hidropônico recirculante. Bugbee (1995) afirma que sob condições normais de CO₂ em nível ambiental, apenas ¼ da concentração original da solução nutritiva de Hoagland seria suficiente para o crescimento ótimo das plantas.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o crescimento e a produtividade da alface cultivada em sistema hidropônico com diferentes concentrações da solução nutritiva.

2. MATERIAL E MÉTODOS.

O experimento foi realizado em casa de vegetação no Departamento de Solos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro no período de abril e maio de 2000. A casa de vegetação utilizada é do tipo ‘casa de vidro’, adaptada com cobertura de filme plástico transparente de 150 µm de espessura e telado de arame com malha de 10 mm nas laterais. Alface (*Lactuca sativa* L.), da cultivar ‘Vera’, foi cultivada em um sistema hidropônico do tipo NFT.

Os tratamentos foram compostos de quatro soluções nutritivas diferentes quanto à concentração de macronutrientes, variando de 100 a 12,5 % da concentração original da solução proposta por Furlani (1997), conforme o Tabela 4.

Tabela 4 . Soluções Nutritivas dos Tratamentos Utilizados no Experimento.

Tratamento	N-NO ₃ ⁻	N-NH ₄ ⁺	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
mg L ⁻¹													
100%♦	174,0	24,0	39,0	183,0	142,0	38,0	52,0	0,3	0,02	2	0,4	0,06	0,06
50%	87,0	12,0	19,5	91,5	71,0	19,0	26,0	0,3	0,02	2	0,4	0,06	0,06
25%	43,5	6,0	9,8	45,8	35,5	9,5	13,0	0,3	0,02	2	0,4	0,06	0,06
12,5%	21,8	3,0	4,9	22,9	17,8	4,8	6,5	0,3	0,02	2	0,4	0,06	0,06
mmol L ⁻¹													
µmol L ⁻¹													
100%	12,43	1,71	1,26	4,68	3,54	1,56	1,62	28	0,3	36	7,3	0,6	0,9
50%	6,21	0,86	0,63	2,34	1,77	0,78	0,81	28	0,3	36	7,3	0,6	0,9
25%	3,11	0,43	0,31	1,17	0,89	0,39	0,41	28	0,3	36	7,3	0,6	0,9
12,5%	1,55	0,21	0,16	0,59	0,44	0,20	0,20	28	0,3	36	7,3	0,6	0,9

♦ Percentagem da Concentração de Macronutrientes da Solução Furlani 1997.

2.1. Sistema Hidropônico.

O sistema completo contou com quatro subsistemas independentes, com quatro canais de cultivo cada. O subsistema foi composto de:

1- Um reservatório de solução nutritiva, construído em PVC, com capacidade para 100 L (Figura 13 - 1);

- 2- Uma moto-bomba de 32 W de potência (do tipo ‘máquina de lavar roupas’);
- 3- Tubulação de recalque de solução nutritiva em PVC com $\phi=25$ mm;
- 4- Barrilete de distribuição da solução nutritiva nos canais de cultivo composto de tubo de PVC de $\phi=25$ mm e tubos do tipo ‘espaguete’ com $\phi=6$ mm;
- 5- Canais de cultivo em polipropileno do tipo ‘hidrogood®’ com secção em formato meia-lua com 100 mm de diâmetro maior;
- 6- Tubulação em PVC com $\phi=40$ mm para retorno de solução nutritiva ao reservatório;
- 7- Sistema de oxigenação da solução nutritiva tipo ‘venturi’, construído em tubo de PVC $\phi=25$ mm estreitado após aquecimento e com perfuração lateral para a entrada de ar por sucção;
- 8- Temporizador acoplado a um contator para permitir o funcionamento das motobombas em ciclo de 10 minutos ligadas e 10 minutos desligadas.

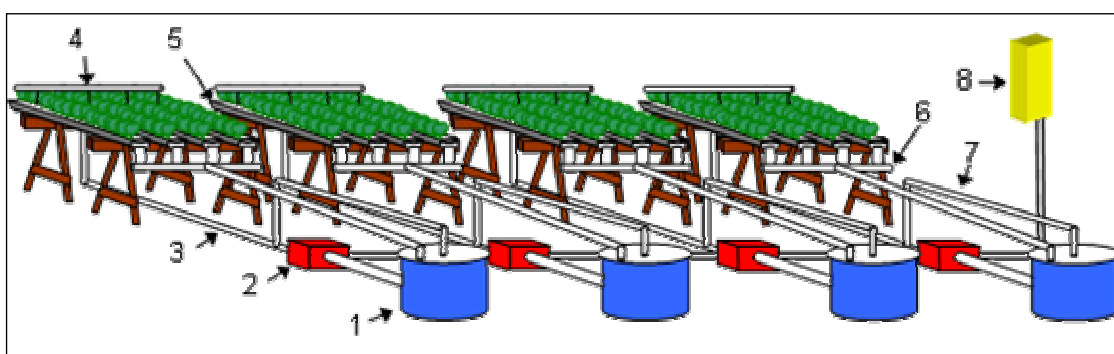


Figura 13. Esquema de Construção da Bancada de Cultivo Hidropônico do Tipo NFT. 1- Reservatório de Solução Nutritiva; 2- Motobomba; 3- Tubulação de Recalque de Solução; 4- Barrilete de Distribuição da Solução Nutritiva; 5- Canal de Cultivo; 6- Tubulação de Retorno da Solução; 7- Tubulação de Oxigenação da Solução; 8- Temporizador/Contator para Acionamento das Motobombas.

Cada subsistema contou com quatro canais de cultivo, contendo 22 plantas. Cada canal de cultivo foi considerado como uma repetição, sendo que cada solução foi distribuída em um canal em cada bancada, de forma aleatória, conforme a Figura 14.

Trat →	1	2	3	4	3	4	1	2	4	1	2	3	2	3	4	1
Rep →	1	1	1	1	2	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4

Figura 14. Esquema de Posicionamento dos Tratamentos e das Repetições nos Canais de Cultivo do Sistema Hidropônico.

2.2. Condução do Experimento:

A semeadura foi realizada em substrato de espuma fenólica mantida úmida com água destilada por três dias, a partir dos quais as células de espuma fenólica com as mudas foram destacadas e colocadas nos canais de cultivo. A partir dessa data receberam solução de Furlani (1997) diluída a 25% da concentração original até os 17 dias da semeadura. Aos 17 dias após a semeadura (DAS) as plantas receberam as soluções nas concentrações definitivas dos tratamentos (Tabela 4). A vazão da solução

nos canais foi de 90 L h⁻¹, fluindo durante 10 minutos com intervalos de 10 minutos até o final do experimento.

As soluções nutritivas foram preparadas com sais comerciais para os macronutrientes e PA para os micronutrientes. Foram preparadas duas soluções, A e B, contendo os macronutrientes e M, contendo os micronutrientes, de acordo com a Tabela 5. Essas soluções-estoque foram utilizadas para preparar as soluções nutritivas finais, variando o volume das soluções A e B de 1000, 500, 250 e 125 mL para 100 L de solução nutritiva nos tratamentos 100%, 50%, 25% e 12,5%, respectivamente. Em todos os tratamentos foram adicionados 50 mL de solução M. Todas as soluções foram preparadas com água destilada. A condutividade elétrica (CE) final nos tratamentos é mostrada na Tabela 6.

Tabela 5. Formulação das Soluções-Estoque.

	Quantidade do Sal
SOLUÇÃO A	----- g L ⁻¹ -----
NITRATO DE POTÁSSIO	50
MAP (Fosfato Mono Amônio)	15
SULFATO de MAGNÉSIO	40
SOLUÇÃO B	
NITRATO DE CÁLCIO	75
SOLUÇÃO M	(mL L ⁻¹)
Solução M Concentrada†	50

† Furlani (1997).

Tabela 6 . Condutividade Elétrica, Concentração e Força Iônica das Soluções Nutritivas.

Tratamento	Condutividade Elétrica [‡]	Concentração Total de Íons†	Força Iônica Calculada†
	mS cm ⁻¹	----- mmol L ⁻¹ -----	
100%	1,84	26,92	21,94
50%	0,98	13,52	11,22
25%	0,54	6,81	5,73
12,5%	0,29	3,46	2,92

[‡] Medida com Condutímetro de bolso da marca ‘Hanna®’.

† Calculada com o auxílio do programa Geochem-PC (Sposito & Mattigod, 1980).

Diariamente, após a retirada de uma amostra de 80 mL para as análises de nutrientes, os níveis das soluções nos reservatórios foram reajustados com água destilada. As condutividades elétricas das soluções foram medidas com um condutímetro de bolso da marca ‘Hanna®’, sendo reajustadas com 5,0 mL de solução A + 5,0 mL de solução B + 0,05 mL da solução M para repor cada 0,01 mS cm⁻¹ de queda da CE inicial do tratamento. As trocas das soluções nutritivas foram feitas semanalmente para evitar grandes desequilíbrios entre os nutrientes. O pH foi medido com pH-metro portátil da marca WTW modelo PH320. Utilizou-se KOH a 0,05 mol L⁻¹ e H₂SO₄ a 0,025 mol L⁻¹ para corrigir o pH para 5,5.

A temperatura e o fluxo de fótons fotossintéticos (FFF) foram monitorados três vezes ao dia. A temperatura foi medida por meio de termopares e o FFF foi medido utilizando-se um radiômetro portátil da marca Li-Cor. As médias são mostradas na Figura 15.

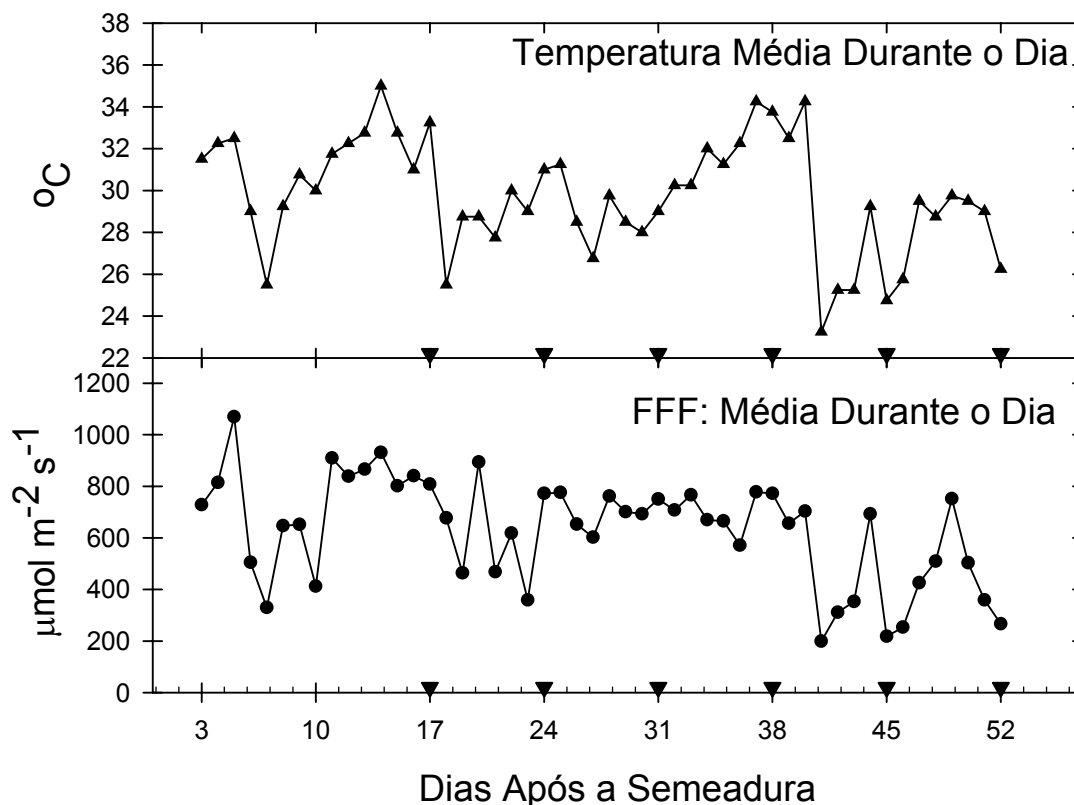


Figura 15. Temperatura e Fluxo de Fótons Fotossintéticos (FFF) Médias na Altura das Plantas de Alface Cultivadas em Casa de Vegetação num Sistema Hidropônico NFT. ▼ indica data de coleta.

As coletas de plantas foram realizadas em intervalos de sete dias, iniciando-se aos 17 dias após a semeadura (DAS) e finalizando aos 52 DAS. Cada parcela experimental foi composta de quatro plantas coletadas em cada canal de cultivo, com exceção da primeira, aos 17 DAS, onde foram coletadas apenas duas plantas para formar uma amostra composta, pois todos os sistemas possuíam a mesma solução nutritiva até então. As raízes das plantas coletadas foram lavadas em água destilada e secadas com papel toalha para a pesagem. Uma fração das raízes foi guardada em solução fisiológica (NaCl 0,9%) sob refrigeração para determinação de área e comprimento radicular. A parte aérea foi separada em folhas e caules para pesagem. Uma porção em torno de 20% das folhas foi utilizada para a determinação da área. O restante da biomassa foi seca em estufa a 80°C até peso constante.

2.3. Determinações.

Área Radicular: Pequenas quantidades de raízes foram espalhadas suavemente numa superfície de acetato transparente com o auxílio de um estilete e uma pisseta com solução fisiológica. Após o perfeito espalhamento, a solução fisiológica foi sugada com uma mangueira de silicone sob vácuo, contendo uma espuma na ponta para evitar a

aderência das raízes à mangueira. Feita a secagem, o acetato foi colocado num ‘scanner’ de mesa para a aquisição da imagem das raízes. As imagens foram tratadas com o programa Adobe Photoshop® para a equalização da luz e contraste, e desenho de uma barra de referência de 1,0 cm de comprimento. A leitura da área e do comprimento das raízes foi realizada com o do programa ‘SIARCS 3.0’ da Embrapa.

Área Foliar: As folhas da amostra foram divididas em pequenos pedaços, colocados espalhados entre uma folha de acetato dobrado e passado através do integrador de área da marca ‘Li-Cor’. A área medida na amostra, em cm², foi extrapolada por peso para toda a parte aérea.

Taxa de Crescimento Absoluto (TCA) e Taxa de Crescimento Relativo (TCR): a TCA e TCR foram calculadas pelas equações (Radford, 1967; Hunt, 1990):

$$TCA = \frac{m_2 - m_1}{t_2 - t_1} \quad (\text{g dia}^{-1})$$

Equação 1

$$TCR = \frac{(\log_e m_2 - \log_e m_1)}{t_2 - t_1} \quad (\text{g g}^{-1} \text{ dia}^{-1})$$

Equação 2

- Onde, m = massa seca (g) e t = tempo em dias.

Para a análise estatística e elaboração de gráficos utilizaram-se os programas Microsoft Excel®, SigmaStat® e SigmaPlot® (SPSS Science, Chicago, IL).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.

As maiores produções de massa seca de folha e de caule foram obtidas com os tratamentos 100 e 50%, especialmente nas duas últimas coletas (Figura 16). Aos 45 DAS esses tratamentos alcançaram em torno de 11 g de folhas (massa seca) por planta. Esses valores de massa seca alcançada em sistema hidropônico são elevados e precoces, quando comparados à produção de alface em solo. Garcia et al. (1988b), trabalhando com alfaces das cultivares Brasil 48 e Clause’s Aurélia cultivadas em solo, obtiveram 12,5 g de massa seca por planta apenas aos 72 dias da cultura. Faquin et al. (1996) obtiveram plantas com 14,8 g de folhas (em base de massa seca) por planta aos 30 dias após o transplante, ou seja, ponto de colheita. Entre os tratamentos 100 e 50%, no entanto, não houve qualquer diferença estatística ao nível de 5% de significância. Os dados da quarta e da quinta coleta mostram que a diferença na produção de massa seca foliar foi significativa entre os tratamentos 100 e 50% e os tratamentos 25 e 12,5%. Esses resultados mostram que é perfeitamente possível utilizar a solução nutritiva à metade de sua força iônica sem qualquer prejuízo para a produção final. Apesar da colheita aos 52 DAS não ser comum em sistemas de produção hidropônica comercial devido ao porte muito grande das plantas, pode-se afirmar que mesmo nessa situação a redução na concentração da solução é viável. O fato das plantas cultivadas com 50% da solução nutritiva de Furlani (1997) produzirem 65% mais massa seca foliar do que o tratamento com 25%, e de produzirem o mesmo que o tratamento 100%, mostra que

50% da concentração da solução é o limite e que qualquer redução maior na concentração pode implicar em perda de produtividade pela cultura. Apesar de Chen et al. (1997) terem observado que a redução na concentração da solução nutritiva até 10% da original não causa redução na produtividade da alface, os dados apresentados aqui não corroboram com eles. Esse fato pode estar ligado às condições experimentais, especialmente ao tipo de canal de cultivo utilizado. Para alcançar tal efeito, Chen et al. (1997) se valeram da construção de pequenos diques internamente nos canais, promovendo o acúmulo de alguma solução no sistema radicular, tal qual num sistema de fluxo profundo. De qualquer forma, têm surgido propostas de baixar a concentração das soluções através do abaixamento da CE de 1,0 a 1,5 mS cm⁻¹ para regiões mais quentes como a Norte e a Nordeste (Furlani et al., 1999). Claussen (2002), trabalhando com tomate, observou que variando de 1 a 5 vezes a concentração da solução nutritiva original, sob nutrição com nitrato ou utilizando até 25% do nitrogênio na forma amoniacal, não há alteração tanto no crescimento vegetativo quanto reprodutivo. O estresse do aumento da concentração pode ser observado apenas em condições ambientais estressantes, tais como luminosidade e temperatura. Além do efeito da temperatura, o efeito “salinidade” da solução quando do aumento da concentração de sais pode produzir reduções consideráveis na assimilação de carbono, e com isso depressão no crescimento da cultura. Schwarz (1988) mostra que a respiração de manutenção de algumas plantas tais como feijão, *Xanthium strumarium* e outras do grupo C3 podem aumentar muito com o aumento da concentração salina. Em alguns casos, o uso de NaCl a 130 mM (correspondente a aproximadamente 0,75 mS cm⁻¹) provocou a redução em até 85% no crescimento do feijoeiro sob concentração de CO₂ de 320 μL L⁻¹. No presente trabalho não foi avaliada a fixação de CO₂, porém a condutividade elétrica da solução no tratamento com 100% da força iônica chegou a 1,84 mS cm⁻¹ (Tabela 6), nível que não parece provocar estresse salino na cultura da alface em cultura hidropônica (Feijin et al., 1991). A presença de amônio na solução nutritiva pode ser preponderante na redução do acúmulo de fitomassa. Soluções com concentrações mais elevadas que mantém a relação NO₃⁻ : NH₄⁺ também alta podem provocar fitotoxidez, especialmente se ocorre redução mais drástica e prolongada do pH.

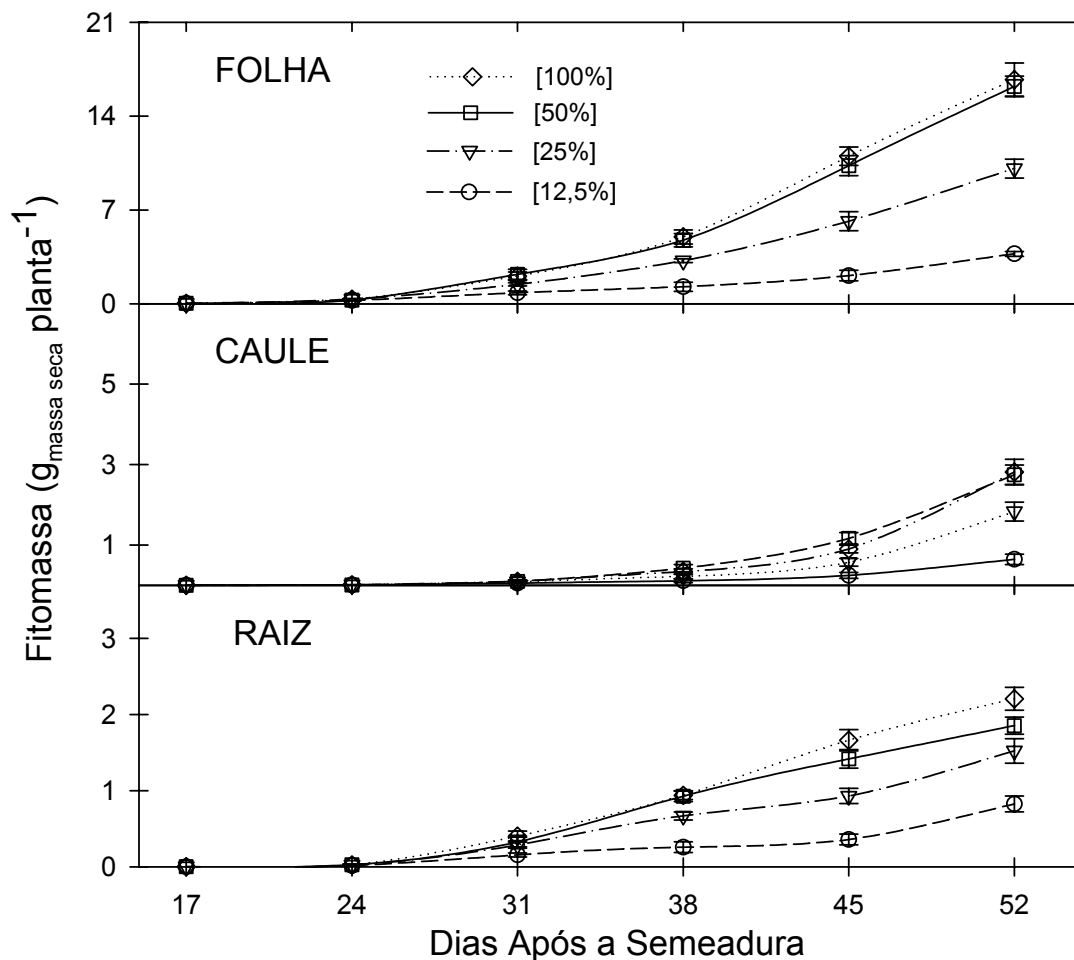


Figura 16. Produção de Fitomassa pela Alface Cultivada em Sistema Hidropônico – NFT com Quatro Concentrações da Solução Furlani (1997). Cada ponto representa a média de quatro repetições. As barras de erro indicam desvio padrão.

A taxa de crescimento absoluto (TCA) da alface cultivada tanto com 100% quanto com 50% da concentração da solução nutritiva apresentaram os maiores valores, chegando a $1,1 \text{ g dia}^{-1}$ no período compreendido entre 45 e 52 DAS (Figura 17). No período anterior, ambos os tratamentos chegaram a valores em torno de $0,9 \text{ g dia}^{-1}$, mostrando que mesmo após o momento ótimo de colheita, aos 45 DAS o crescimento absoluto por dia das plantas foi maior. Já os tratamentos com 25% e 12,5% da concentração da solução mostraram TCA muito aquém do máximo observado no experimento, chegando a $0,47$ e $0,13 \text{ g dia}^{-1}$ no período de 38 a 45 DAS e $0,74$ e $0,29 \text{ g dia}^{-1}$ no período de 45 a 52 DAS, respectivamente. Pela tendência do crescimento no tratamento 25%, as plantas só alcançariam uma TCA satisfatória em torno dos 60 DAS, o que não foi observado devido ao término do experimento antes desse período. Em cultivos de solos, taxas de crescimento em torno de $0,484 \text{ g dia}^{-1}$ foram observadas por Garcia et al. (1982a) e Garcia et al. (1982b) entre os 62 e 72 dias da cultura para a cultivar Brasil 48. Valores semelhantes foram encontrados por Fernandes et al. (1971). Nesses trabalhos, não houve diferenças nas TCA entre as cultivares utilizadas, Brasil 48 e Clause's Aurélia. Segundo Garcia et al. (1988b), a cultivar Clause's Aurélia apresentou máxima TCA no período entre os 51 e 62 dias da cultura, $0,40 \text{ g dia}^{-1}$, apresentando ligeiro declínio após esse período. Faquin et al. (1996) cultivando alface

Verônica, do tipo crespa, em sistema hidropônico NFT, encontrou um pico de TCA no período compreendido entre 15 e 20 dias após o transplante, em torno de $1,4 \text{ g dia}^{-1}$ por planta, mas a maioria dos períodos entre as colheitas apresentou TCA em torno de $0,5 \text{ g dia}^{-1}$. Como o experimento contou o tempo a partir do transplante de plântulas com cinco folhas, pode-se inferir que as plantas possuíam em torno de 20 dias ao transplante, e com isso, a colheita no ponto comercial foi realizada aos 50 DAS, onde as plantas alcançaram TCA em torno de $0,52 \text{ g dia}^{-1}$. Pelo exposto, observa-se que no presente trabalho a alface cultivada em hidroponia apresentou precocidade em alcançar uma TCA de $0,9 \text{ g dia}^{-1}$, e paradoxalmente mostrou longevidade suficiente para apresentar TCA crescente até os 52 DAS. Do ponto de vista de aproveitamento econômico da estrutura de produção hidropônica para a produção de massa de folhas, e não da “cabeça de alface”, o alongamento do período de cultivo seria conveniente. Esse fato é importante no panorama atual de comércio de alface hidropônica, visto que muitos produtores vêm oferecendo o produto semiprocessado, na forma de folhas destacadas, lavadas e embaladas em bandejas. Com isso, o que importa não é mais a produção da “cabeça” de alface, mas de número e volume de folhas, pois as embalagens são padronizadas por peso. Em contrapartida, após os 45 DAS, há risco de pendoamento da planta, depreciando o produto para a venda *in natura*.

Enquanto a TCA dá uma simples idéia do desenvolvimento pontual individual da planta (Hunt, 1990), a Taxa de Crescimento Relativo (TCR) nos fornece uma visão instantânea da eficiência de produção de uma planta a partir de uma derivada do crescimento em determinado período. A TCR mostra uma vantagem na interpretação de mudanças no crescimento por não sofrer grandes variações com diferentes períodos analisados (Hunt, 1978). Conseqüentemente, não se observaram diferenças entre as TCR entre nenhum dos tratamentos, tanto para os períodos compreendidos entre 38 a 45 DAS quanto 45 a 52 DAS (Figura 17), visto que a TCR está muito mais relacionada às características genéticas intrínsecas à planta do que às modificações ambientais. Não houve diferença estatística entre as coletas a partir de 31 DAS, com valores em torno de $0,1 \text{ g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, mas nota-se que há uma tendência de declínio na TCR dos tratamentos 100, 50 e 25% no período de 45 a 62 DAS, o que indica a aproximação da senescência, momento em que a assimilação líquida passa a ser negativa. Garcia et al. (1982a) também encontraram valores de TCR em torno de $0,1 \text{ g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ aos 41 dias da cultura de alface cultivada em solo. Vale ressaltar que o espaçamento e a disposição das parcelas experimentais foram projetados para evitar competição entre elas. Portanto, o fato dos tratamentos apresentarem TCR semelhantes a partir dos 38 DAS parece não refletir efeito de sombreamento do dossel.

A Figura 18 mostra que praticamente não há interferência da concentração da solução nutritiva na espessura das folhas, cuja medida é a área foliar específica (AFE). Aos 24 DAS a AFE estabilizou-se em torno de $30 \text{ cm}^2 \text{ g}^{-1}$. Apenas na última colheita observa-se um pequeno declínio na AFE no tratamento 12,5%, cujo efeito pode ser observado visualmente. Quando as plantas se tornaram raquíticas, houve um aparente engrossamento do limbo foliar. Em geral a AFE entra em declínio até os 35 DAS, quando as plantas tornam-se adultas. A partir desse momento a expansão foliar ocorre de forma harmônica, onde o ganho de massa é acompanhado pelo ganho de área.

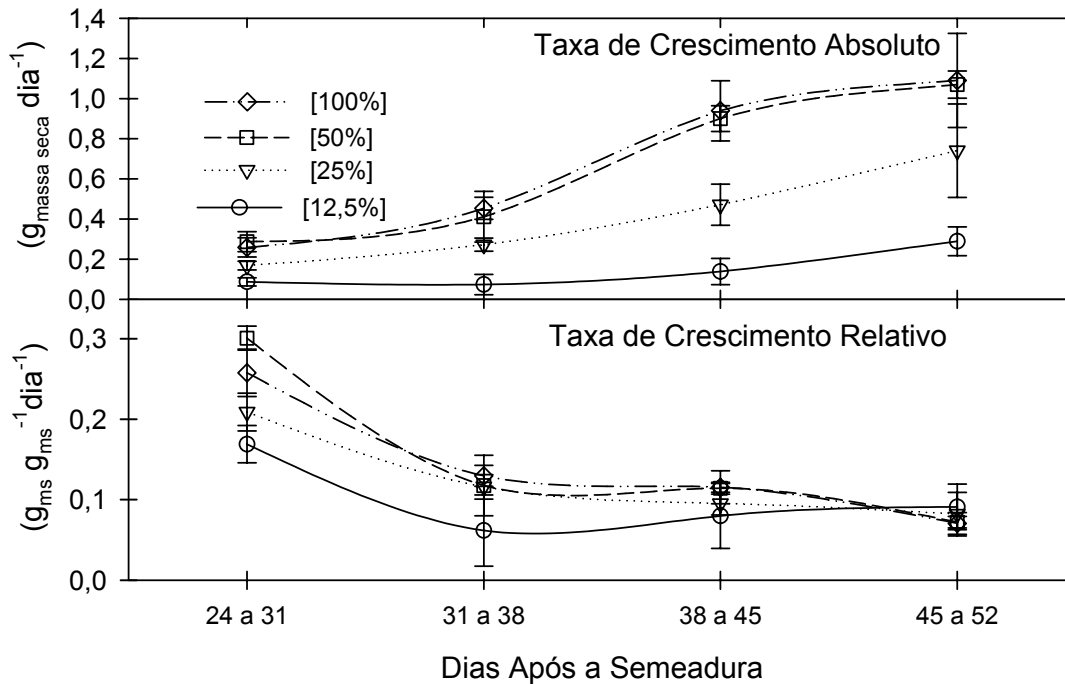


Figura 17. Taxa de Crescimento Absoluto (TCA) e Taxa de Crescimento Relativo (TCR) da Alface Cultivada em Sistema Hidropônico – NFT com Quatro Concentrações da Solução Furlani (1997). Cada ponto representa a média de quatro repetições. As barras de erro indicam desvio padrão.

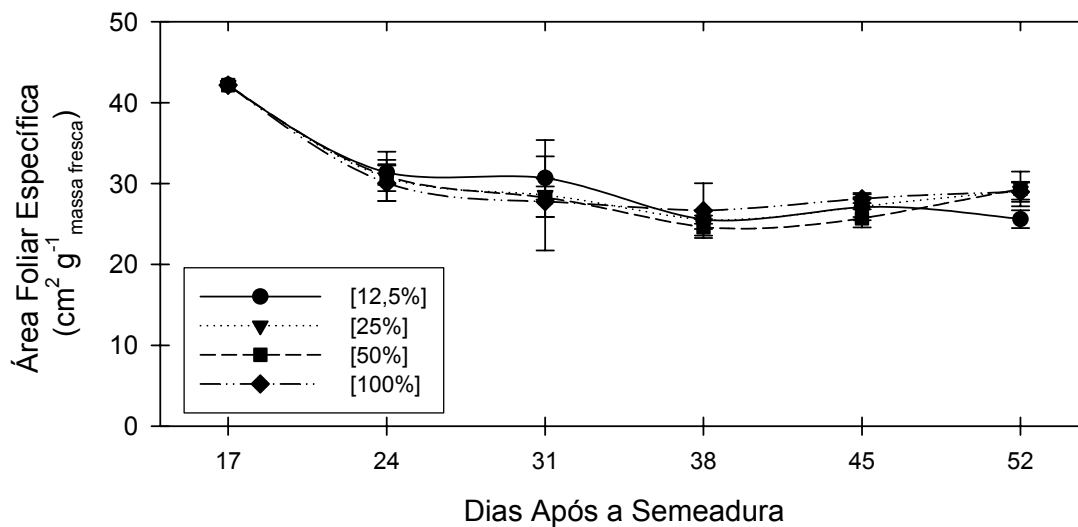


Figura 18. Área Foliar Específica da Alface Cultivada em Sistema Hidropônico – NFT. Cada ponto representa a média de quatro repetições. As barras de erro indicam desvio padrão.

A redução na concentração da solução nutritiva parece não ter efeito na partição de carbono dentro da planta. O índice de colheita mostra que a massa seca da parte aérea varia bastante ao longo do tempo, passando de aproximadamente 95%, no início da ontogênese da alface, para 84% (os menores valores) dos 30 aos 35 DAS, chegando a 90% aos 52 DAS. A análise estatística mostra que o tratamento 50% tem o índice de colheita superior aos outros tratamentos aos 45 DAS (Figura 19 -A). Apesar dessa diferença ser pequena, em termos práticos é uma indicação de que a redução da

concentração da solução nutritiva pode ser feita com segurança. Além disso, ela reflete a partição de carbono ideal num sistema de cultivo hidropônico, onde o investimento de carbono na parte aérea é mais importante do que no sistema radicular, visto que a disponibilidade de nutrientes é bem maior do que na solução do solo (Marschner, 1995; Martinez, 1997).

A AFE é uma variável importante quando se trata de estudar diferenças interespecíficas, pois é uma das componentes mais importantes da TCR (Taub, 2002). No presente estudo, a AFE e a TCR mostraram um comportamento semelhante ao longo da ontogenia da planta em todos os tratamentos, com exceção do tratamento 12,5%, cujas TCR nos três primeiros períodos de avaliações, 24 a 45 DAS, foram menores do que as dos outros tratamentos. Essas diferenças não foram observadas na AFE. Em termos práticos, seria economicamente mais viável a colheita a partir dos 45 DAS para a produção de massa da parte aérea, mesmo porque nessa idade as plantas já apresentavam tamanho suficiente para o comércio.

Resultados de Faquin et al (1996), mostram que o índice de colheita para a alface da cultivar “Verônica” cultivada em sistema NFT não variou ao longo do tempo, com a parte aérea representando em torno de 86 a 87% da massa seca total da planta.

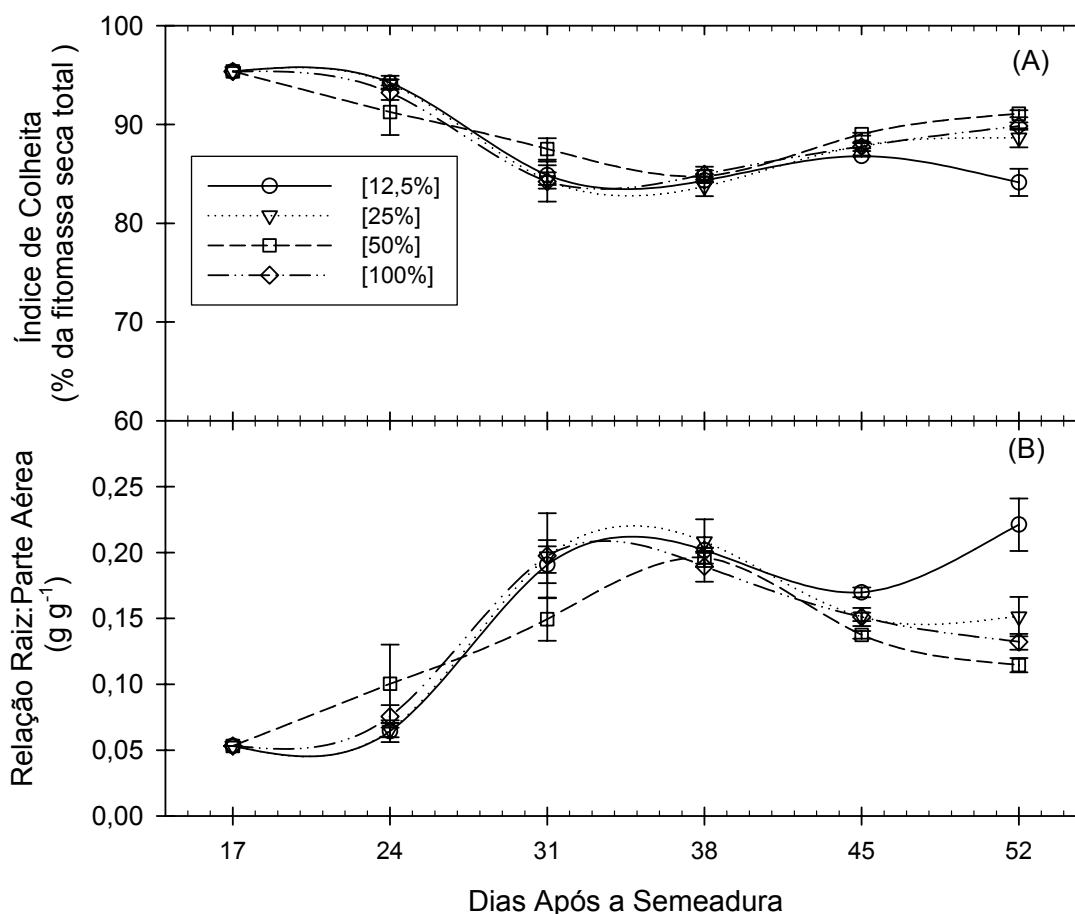


Figura 19. Índice de Colheita e Relação Raiz : Parte Aérea da Alface Cultivada em Sistema Hidropônico – NFT com Quatro Concentrações da Solução Furlani (1997). Cada ponto representa a média de quatro repetições. As barras de erro indicam desvio padrão.

A relação raiz:parte aérea comporta-se inversamente ao índice de colheita (Figura 19 (B)), observando-se um pico na partição de carbono para as raízes no período

de 30 a 35 DAS. A relação raiz : parte aérea após os 45 DAS mostra que a massa seca radicular compõe menos de 15% do total da planta, chegando a menos de 10%, no tratamento 50%. Curiosamente o tratamento 12,5% mostra um aumento muito grande na relação raiz:parte aérea, fruto da baixa disponibilidade de nutrientes, promovendo muito mais a redução da parte aérea do que o crescimento radicular, como pode ser constatado na Figura 16. Esse efeito tem sido observado em várias plantas nas mais diversas condições de cultivo sob situação de deficiência de fósforo, mostrando maior alocação de carbono para as raízes às expensas do crescimento da parte aérea. Conseqüentemente, isso leva ao aumento da relação raiz : parte aérea (Lynch , 1995). Em tomate cultivado hidroponicamente, Claussen (2002) observou que a partição de carbono entre os órgãos da planta, folhas, frutos, caule e raízes, sofre influência da concentração de nutrientes, e em maior escala, da fonte de nitrogênio (nitrato ou amônio).

Tanto o comprimento quanto a área radicular mostram uma grande diferença entre os tratamentos 100 e 50% em contraste aos tratamentos 25 e 12,5% (Figura 20). Apenas na última coleta é possível observar-se uma real diferença no comprimento radicular entre os tratamentos 100 e 50%, apesar de haver uma tendência nessa diferenciação desde os 45 DAS. Essa diferença, no entanto, não foi observada na produção de massa seca da parte aérea, mostrando que a essas diferenças não podem ser atribuídas às pequenas diferenças na produção vegetativa da parte aérea, visto que muitas outras variáveis estão envolvidas. Tanto o comprimento radicular específico quanto a área radicular específica não sofrem variações ao longo do tempo nos tratamentos 100 e 50% (Figura 20). Nos tratamentos 25 e 12,5%, entretanto, essas variáveis sofrem redução após os 24 DAS. O comprimento radicular específico parece mostrar melhor as diferenças no volume radicular que está diretamente relacionado com a massa radicular, como podem ser observadas na Figura 16. Como comprimento e área são duas variáveis importantes na composição da arquitetura radicular, e a absorção de água e nutrientes por sua vez está relacionada com a arquitetura radicular, (Lynch, 1995), é importante que sejam mais bem estudadas para uma melhor compreensão da absorção de íons da solução. Em sistemas hidropônicos do tipo NFT, onde o confinamento de raízes é muito maior do que em sistemas do tipo “fluxo profundo”, a absorção de nutrientes tais como fósforo, é limitada pela difusão e provoca grande depleção na região do rizocilindro. Nesse caso o modelo de arquitetura radicular pode ser determinante quando se utilizam soluções nutritivas mais diluídas. Com o advento do uso da geometria fractal na quantificação da arquitetura radicular é possível que se possa ter uma nova percepção da correlação entre arquitetura radicular e a absorção de nutrientes nesses sistemas hidropônicos. A modelagem bidimensional passaria então a contar com uma nova dimensão, integrando mais informações num modelo tridimensional.

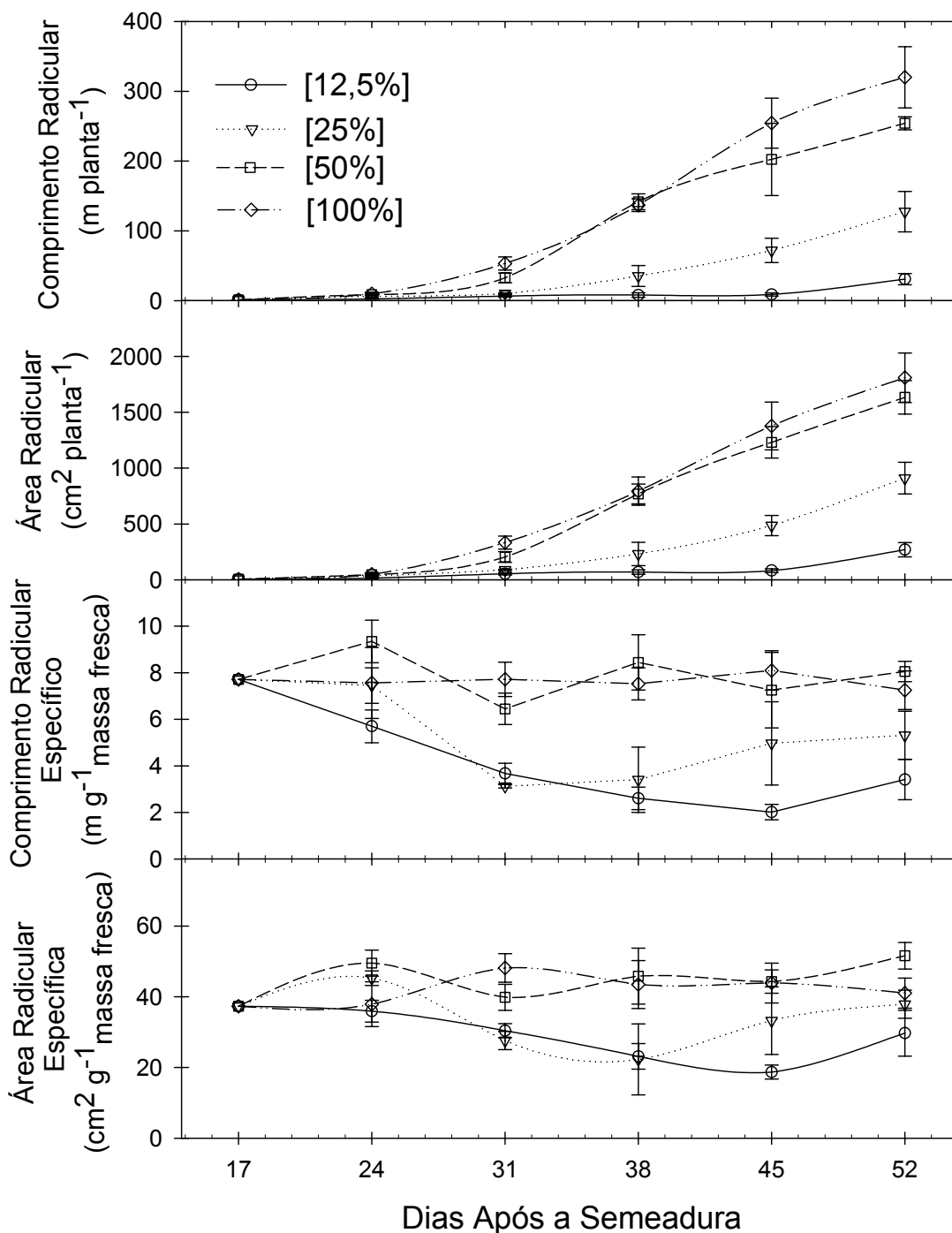


Figura 20. Comprimento, Área, Comprimento Específico e Área Específica das Raízes da Alfaca Cultivada em Sistema Hidropônico – NFT com Quatro Concentrações da Solução Furlani (1997). Cada ponto representa a média de quatro repetições. As barras de erro indicam desvio padrão.

A Figura 21 mostra as relações obtidas em concentração de nutrientes e força iônica da solução com a condutividade elétrica medida. Em termos práticos, a condutividade elétrica da solução poderia ser baixada a 50% da inicial, já que existe uma relação linear com alto coeficiente de determinação entre a concentração da solução e a CE (Figura 21). Como essa medida vem sendo amplamente utilizada entre

os produtores rurais em hidroponia, a CE presta-se muito bem à medida da concentração.

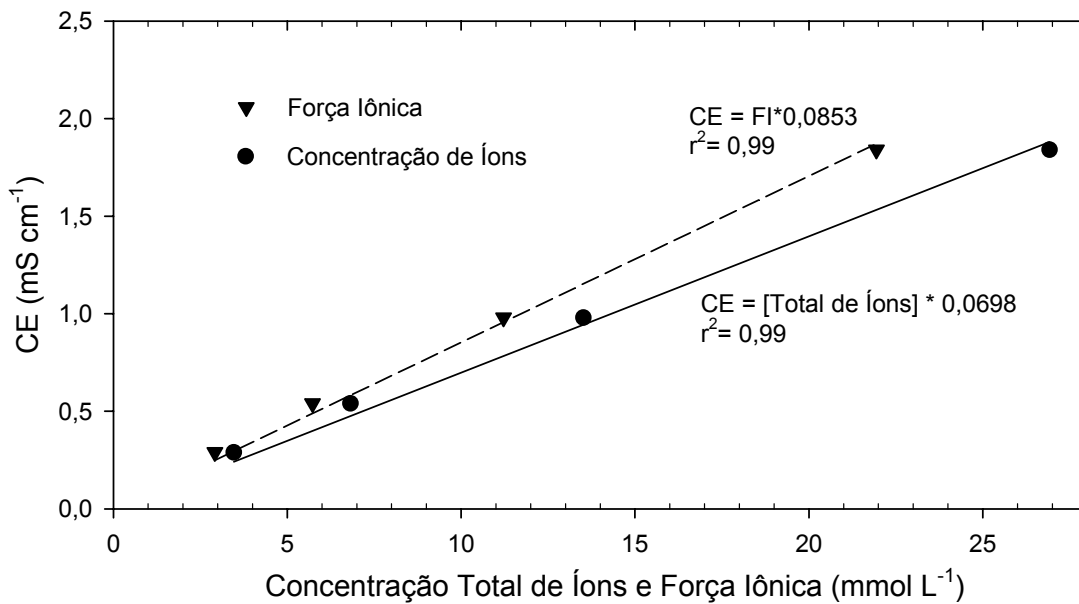


Figura 21. Relação entre a Condutividade Elétrica da Solução Nutritiva (Furlani, 1997) e a Concentração Total de Íons e Força Iônica Calculada. FI = Força Iônica.

Da relação observada na Figura 21, onde $CE = [\text{Total de Íons}] * 0,0698$, tira-se:
 $[\text{Total de Íons}] = CE * 14,33$;

cujo valor prático permite que se conheça apenas a molaridade da solução, sem que se tenham os níveis individuais dos elementos da solução nutritiva. Segundo Resh (2002), a relação entre CE e a concentração de íons dissolvidos deve ser determinada para cada solução, visto que há uma grande variação entre a capacidade de condução de eletricidade de cada espécie iônica.

4. CONCLUSÕES.

A utilização da solução nutritiva Furlani (1997) a 50% da concentração original, com condutividade elétrica em torno de $0,98 \text{ mS cm}^{-1}$, mostrou produzir a mesma massa de parte aérea (parte comercial) do que a solução a 100% da força iônica. De acordo com esses resultados, uma redução maior do que 50% pode causar redução no crescimento, nas condições de luz e temperatura em que foi conduzido o presente experimento. A colheita torna-se aparentemente mais viável economicamente em torno do 45 DAS, a partir daí a eficiência de produtividade, ou taxa de crescimento relativo, tende a reduzir-se. A redução da concentração da solução nutritiva reduz potencialmente os efeitos de danos fisiológicos, especialmente tipburn, e permite a economia de pelo menos 50% do custo da solução nutritiva básica, que está hoje em torno de R\$ 10,00 por 1000 L. Numa produção hidropônica de 1 ha, ou seja, 10.000 m^2 , se considerada a produção mensal de 50.000 plantas e a utilização de 100.000 L de solução nutritiva básica inicial (2 L planta^{-1}), pode-se alcançar uma economia anual de até R\$ 6.000,00 (US\$ 1670.00) em nutrientes. Essa economia seria obtida apenas com a redução da condutividade elétrica da solução inicial para $1,00 \text{ mS cm}^{-1}$, sem comprometer a produtividade. Essa conclusão vale apenas para regiões com clima semelhante ao do experimento, com alta temperatura e alta luminosidade (Figura 15).

A redução na concentração da solução nutritiva até 25% da concentração original parece não ter muita influência na espessura das folhas e na partição de carbono entre parte aérea e sistema radicular.

Das variáveis medidas no sistema radicular, o comprimento radicular específico e a área radicular específica mostraram-se bons indicadores das diferenças nas raízes em função dos tratamentos de concentração da solução nutritiva.

CAPÍTULO III

EFEITO DA CONCENTRAÇÃO DA SOLUÇÃO NUTRITIVA NA ABSORÇÃO DE NUTRIENTES PELA ALFACE EM CULTURA HIDROPÔNICA – SISTEMA NFT.

RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi analisar a marcha de absorção e eficiência do uso dos nutrientes pela alface cultivada num sistema hidropônico com diferentes concentrações da solução nutritiva. Foi realizado um experimento em casa de vegetação nos meses de abril e maio de 2000. Alface (*Lactuca sativa* L.), da cultivar 'Vera', foi cultivada em um sistema hidropônico do tipo NFT. Os tratamentos constaram de quatro soluções nutritivas diferentes quanto à concentração de macronutrientes: 100, 50, 25 e 12,5 % da concentração original de Furlani (1997). Foram realizadas análises de N, P, K, Ca e Mg no tecido das folhas, caules e raízes, e NO_3^- , NH_4^+ , P, K, S, Ca, Mg, Mn, Zn, Cu e Fe na solução nutritiva. Foram monitorados pH e condutividade elétrica na solução nutritiva. Tanto os teores quanto os conteúdos acumulados de N, P, K, Ca e Mg nos tecidos da alface praticamente não mostraram diferenças entre os tratamentos com 50 e 100% da concentração da solução Furlani (1997). Em geral eles foram semelhantes aos valores encontrados em outros experimentos com alface cultivada em sistemas NFT, porém bem mais elevados do que os encontrados em alface cultivada em solo. No caso do nitrogênio, chegou ao dobro. Apenas o tratamento 12,5% mostrou teores de nutrientes menores do que os outros tratamentos. A eficiência de uso do nutriente não sofreu qualquer redução ou aumento com a redução da concentração da solução nutritiva até 25%. Os influxos de todos os macronutrientes foram maiores no período de 24 a 31 DAS nos tratamentos com maior concentração de nutrientes na solução (tratamento 100 e 50%), e igualaram-se ao tratamento 25% a partir desse período, mostrando a importância da utilização de concentrações da solução nutritiva maiores nos primeiros períodos de crescimento da alface. A absorção de amônio da solução, por ser muito mais rápida do que a do nitrato, provocou uma maior redução do pH e com maior duração no tratamento 100%, que pode estar relacionado com o menor crescimento da parte aérea e conseqüente produção similar àquela do tratamento 50%. Por não haver diferenças no volume de solução-estoque gasto para repor nutrientes e ajustar a condutividade elétrica entre os tratamentos 100 e 50%, conclui-se que a redução na concentração da solução nutritiva levaria a economia de pelo menos 50% do custo da solução nutritiva básica, que está hoje em torno de R\$ 10,00 por 1000 L. Numa produção hidropônica de 1 ha, ou seja, 10.000 m², se considerada a produção mensal de 10.000 plantas, pode-se alcançar uma economia de até R\$ 6.000,00 (US\$ 1670,00) anuais em nutrientes apenas reduzindo-se a condutividade elétrica da solução inicial para 1,00 mS cm⁻¹, sem comprometer a produtividade.

Palavras-chave: condutividade elétrica, eficiência de uso do nutriente, pH.

ABSTRACT

The objective of the present study was to analyze the uptake and nutrient use efficiency of lettuce grown in a hydroponic system with different concentrations of the nutrient solution. An experiment was carried out in greenhouse during April and May 2000. Lettuce (*Lactuca sativa* L.), was grown in a NFT hydroponic system with four treatments differing in macro nutrient concentration: 100, 50, 25 and 12.5% of the original concentration of Furlani's solution (1997). N, P, K, Ca and Mg were analyzed in leaf, stem and root tissues, and NO_3^- , NH_4^+ , P, K, S, Ca, Mg, Mn, Zn, Cu and Fe were determined, and pH and electric conductivity were monitored in nutrient solution. N, P, K, Ca and Mg contents in lettuce tissues practically didn't show differences between treatments with 50 and 100% of Furlani's solution concentration. In general they were similar to the values found in other experiments with lettuce grown in NFT systems, but much higher than found in soil cultivated lettuce. In the case of the nitrogen, it reached to the double. Only the 12.5% treatment showed plant nutrient contents smaller than the other treatments. The nutrient use efficiency didn't change with the reduction of the nutrient solution concentration up to 25%. Nutrient use efficiency in 12.5% treatment was much higher than the other treatments, likely due to extremely reduced growth of plants. The ammonium uptake from the solution was much faster than nitrate, and caused reduction of the pH which last longer in 100% treatment. This may have been responsible for shoot lower growth and to become its mass production similar to 50% treatment. As no difference was observed between treatments 100 and 50% refill solution consumption, a reduction of the nutrient solution concentration would cause an economy of at least 50% in the basic nutrient solution cost, that it is today around R\$ 10.00 for 1000 L. If considered a 10.000 plants month production within a 1.00 ha (10,000 m²) hydroponic system, it can achieve an annual economy of R\$ 6,000.00 (US\$ 1,670.00) in nutrients. In this case, the electric conductivity would stay around 1.00 mS cm⁻¹, without any productivity loss.

Key words: electric conductivity, nutrient use efficiency, pH

1. INTRODUÇÃO.

A alface (*Lactuca sativa* L.) tem sido considerada a cultura “carro-chefe” nos cultivos hidropônicos que têm se difundido rapidamente no país, na última década. O sistema atualmente utilizado nas produções comerciais, NFT – Técnica do Filme de Nutrientes, tem um histórico bem recente quando comparado com os primeiros cultivos de plantas em água relatados com sucesso. Enquanto o conceito de NFT é atribuído a Allen Cooper, 1965 (Santos, 1998a), os primeiros experimentos de cultivos em água foram cientificamente conduzidos em 1600 pelo belga Jan Van Helmont (Resh, 2002). A história das soluções nutritivas, acompanhando os estudos de fisiologia e de nutrição de plantas, tem seu grande impulso no início do século XX, com a publicação de várias fórmulas de soluções nutritivas por Tollens (1882), Tottingham (1914), Shive (1915), Hoagland (1919) Trelease (1933), Arnon (1938) e Robbins (1946), cujas fórmulas ainda são utilizadas até hoje em muitos laboratórios, conforme citação de Resh (2002). Publicações clássicas como as de Jones (1983) e Resh (2002), nas suas várias edições, contêm centenas de fórmulas de soluções nutritivas, porém a solução considerada “mãe de todas” parece mesmo ser a proposta por Hoagland & Arnon em 1938 (Hoagland & Arnon, 1950), cujos níveis de macro e micronutrientes muito se assemelham aos que têm sido atualmente preconizados. O fato é que essa solução, inicialmente proposta para uso geral, ganhou várias nuances ao longo do tempo, e frequentemente ganham a denominação de “Solução Nutritiva de Hoagland Modificada” quando utilizadas nos experimentos de nutrição de plantas (Furlani et al., 1999; Jones, 1983). No Brasil, tem havido muitas propostas de fórmulas de soluções específicas para certas culturas (Furlani, 1999; Castellane & Araújo, 1994; Moraes, 1997). Embora haja algumas diferenças nas formulações de soluções nutritivas sugeridas, alguns experimentos têm mostrado que elas se comportam muito proximamente em termos de produção final (Furlani et al., 1999; Santos, 1998b; Santos et al., 1998). As soluções propostas para as várias culturas têm herdado uma característica intrínseca à fórmula de Hoagland & Arnon, que é a alta concentração de nutrientes. Convertendo-se a fórmula para condutividade elétrica, chega-se ao valor de 2,2 mS cm⁻¹. O uso de concentrações salinas das soluções nutritivas elevadas, nas condições ambientais de alta temperatura, alta umidade e elevada luminosidade dos Estados do Rio de Janeiro e Espírito Santo, podem provocar distúrbios fisiológicos nas plantas, que se manifestam na forma de murcha excessiva nas horas mais quentes do dia, queima das bordas das folhas, chamada de “tipburn” (Collier & Tibbitts, 1984) e perda na produtividade da cultura (Huett, 1994).

O aumento da concentração salina reduz o potencial d’água no meio fazendo com que, mesmo num meio aquoso como é a solução nutritiva, a planta tenha dificuldade absorver água suficiente para repor a perda por transpiração nas horas mais quentes do dia (Marschner, 1995; Taiz & Zeiger, 2002). O abaixamento do potencial da água pode levar à modificação da relação raiz:parte aérea em termos de acúmulo de massa seca em tomateiro (Ieperen, 1996; Claussen, 2002). Bugbee (1995) apresenta uma série de exemplos de cálculos para a composição da solução nutritiva, bem como para a solução de reposição. Para a reposição, ele sugere a utilização das quantidades de

nutrientes necessárias às plantas diluídas no volume de água gasta para a produção da unidade de massa. Essa técnica resolveria o problema de cultivos em climas tropicais, onde a transpiração elevada leva à absorção de um grande volume de solução nutritiva. Com isso, a diluição da solução é perfeitamente viável, mas ainda com uma limitação: o desconhecimento da transpiração da alface em sistemas NFT, bem como a relação e a quantidade dos nutrientes absorvidos em condições de alta temperatura e alta luminosidade. Um estudo de Claussen (2002) mostra que o aumento da concentração da solução nutritiva em até cinco vezes em relação à concentração original produz pouca ou quase nenhuma mudança na produção tanto de fitomassa total quanto de frutos pelo tomateiro. Por outro lado, a redução na concentração de nutrientes na solução foi testada por Siddiqi et al. (1998) e Chen (1997), mostrando que era possível reduzi-la a até 10% da concentração original sem prejuízos na produção de alface e de tomate. Matias et al. (2002) também mostraram que não havia redução na produção da alface cultivada em sistema NFT utilizando-se até 50% da concentração inicial da solução nutritiva, ou seja, uma condutividade elétrica de 0,98 mS cm⁻¹. Em contrapartida, Knight & Mitchell (1983) verificaram que mudanças nas produtividades da alface podem ocorrer com o uso da força iônica supra-ótima da solução de Hoagland. Em seus estudos, apenas dobrando a quantidade de N tanto na forma nítrica quanto nítrico-amoniaco combinada, favorece o aumento da produtividade.

A redução da concentração da solução nutritiva, nos seus vários aspectos fisiológicos e do ponto de vista de nutrição da planta traz muitas vantagens, desde que a depleção de nutrientes seja repostada eficientemente. O que resta saber é se a eficiência de uso dos nutrientes pela planta é melhorada com a redução na concentração da solução nutritiva, e se isso agregaria vantagens econômicas em um cultivo comercial. Embora vários trabalhos tratem muito bem da marcha de absorção de nutrientes pela alface em cultivos de solo, sob vários níveis de fertilidade (Garcia et al., 1988b), em cultivos hidropônicos com o sistema NFT esses dados são ainda bem escassos, principalmente quando se trata de condições de clima tropical (Matias, 2000; Schippers, 1991).

O objetivo do presente trabalho é analisar a marcha de absorção e eficiência do uso dos nutrientes pela alface cultivada num sistema hidropônico com diferentes concentrações da solução nutritiva.

2. MATERIAL E MÉTODOS.

O experimento foi realizado em casa de vegetação no Departamento de Solos da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, no período de abril e maio de 2000. A casa de vegetação utilizada é do tipo 'casa de vidro', adaptada com cobertura de filme plástico transparente de 150 µm de espessura e telado de arame com malha de 10 mm nas laterais. Alface (*Lactuca sativa* L.), cultivar 'Vera', foi cultivada em um sistema hidropônico do tipo NFT.

Os tratamentos foram compostos de quatro soluções nutritivas, diferentes quanto à concentração de macronutrientes, variando de 100 a 12,5 % da concentração original da solução proposta por Furlani (1997), conforme o Capítulo II, Tabela 4, página 30.

2.1. Sistema Hidropônico.

O sistema completo contou com quatro subsistemas independentes, com quatro canais de cultivo cada, conforme descrito no Capítulo II, Figura 13, página 31. O subsistema foi composto de:

- 1- Um reservatório de solução nutritiva, construído em PVC, com capacidade para 100 L;
- 2- Uma moto-bomba de 32 W de potência (do tipo ‘máquina de lavar roupas’);
- 3- Tubulação de recalque de solução nutritiva em PVC com $\phi=25$ mm;
- 4- Barrilete de distribuição da solução nutritiva nos canais de cultivo composto de tubo de PVC de $\phi=25$ mm e tubos do tipo ‘espaguete’ com $\phi=6$ mm;
- 5- Canais de cultivo em polipropileno do tipo ‘hidrogood®’ em formato meia-lua com 100 mm de diâmetro maior;
- 6- Tubulação em PVC com $\phi=40$ mm para retorno de solução nutritiva ao reservatório;
- 7- Sistema de oxigenação da solução nutritiva tipo ‘venturi’, construído em tubo de PVC $\phi=25$ mm estreitado após aquecimento e com perfuração lateral para a entrada de ar por sucção;
- 8- Temporizador acoplado a um contator para permitir o funcionamento das motobombas em ciclo de 10 minutos ligadas e 10 minutos desligadas.

Cada subsistema contou com quatro canais de cultivo, contendo 22 plantas. Cada canal de cultivo foi considerado como uma repetição, sendo que cada solução foi distribuída em um canal em cada bancada, de forma aleatória, conforme a Figura 14, página 31.

2.2. Condução do Experimento:

A semeadura foi realizada como descrito no Capítulo II, em substrato de espuma fenólica mantida úmida com água destilada por três dias, a partir dos quais as células de espuma fenólica com as mudas foram destacadas e colocadas nos canais de cultivo. A partir dessa data receberam solução Furlani (1997) diluída a 25% da concentração original até os 17 dias da semeadura. Aos 17 dias após a semeadura (DAS) as plantas receberam as soluções nas concentrações definitivas dos tratamentos (Tabela 4, página 30). A vazão da solução nos canais foi de 90 L h^{-1} , fluindo durante 10 minutos com intervalos de 10 minutos até o final do experimento. As trocas de soluções nutritivas, posições de nutrientes e de água estão descritas no Capítulo II, página 32.

As coletas foram realizadas em intervalos de sete dias, iniciando-se aos 17 DAS e finalizando aos 52 DAS. Cada parcela experimental foi composta de quatro plantas coletadas em cada canal de cultivo, com exceção da primeira, aos 17 DAS, onde foram coletadas apenas duas plantas para formar uma amostra composta, pois todos os sistemas possuíam a mesma solução nutritiva até então. As plantas coletadas foram separadas em folhas, caules e raízes, levadas à secagem em estufa a 80°C até que a massa fosse constante.

2.3. Determinações.

Nutrientes na Solução Nutritiva: nitrato foi determinado colorimetricamente de acordo com o método descrito por Cataldo et al. (1975), a partir da nitração do ácido salicílico e leitura em espectrofotômetro a 410 nm. A determinação de amônio foi feita pelo método colorimétrico descrito por Weatherburn (1967), com a complexação do amônio por fenol e formação do cromóforo a partir da adição de dicloisocianurato, e a leitura em espectrofotômetro a 630 nm. Fósforo foi determinado colorimetricamente por complexação e redução com vanadato-molibdato de amônio e leitura a 420 nm. Potássio foi determinado por colorimetria de chama. Enxofre foi determinado por turbidimetria e Ca, Mg, Mn, Zn, Cu e Fe foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica, de acordo com o método descrito por Tedesco et al. (1995). Para as análises, foi utilizado um espectrofotômetro Shimadzu UV1200.

Nutrientes no Tecido: O tecido vegetal seco foi moído manualmente a 30 mesh. Os nutrientes foram determinados em extrato proveniente da digestão sulfúrica adaptada para a recuperação do nitrato com adição de ácido salicílico. A técnica foi adaptada de du Preez & Bate (1989), Jones (1991) e Tedesco et al. (1995), conforme descrição a seguir:

- foram introduzidos 0,2 g de tecido seco em tubo de digestão;
- adicionaram-se 2,0 mL de ácido salicílico a 5% em H₂SO₄ concentrado (d = 1,84);
- agitou-se o tubo manualmente por 5 segundos, repetindo-se a agitação após 10 minutos;
- o material foi deixado descansando por uma noite;
- no dia seguinte adicionou-se 1,0 mL de H₂O₂ a 30 volumes, 1,0 mL de H₂SO₄ concentrado e 0,7 g da mistura de digestão (conforme descrito por Tedesco et al., 1995);
- aqueceu-se lentamente até alcançar a temperatura de 330°C, na base de 25°C a cada 10 minutos, permanecendo 30 minutos na temperatura de 175°C;
- após o esverdeamento do material, contou-se o tempo de uma hora na temperatura máxima (330° C).

A determinação de P, K, Ca e Mg no extrato foi feita utilizando-se os mesmos métodos citados para as análises da solução nutritiva. O nitrogênio foi analisado por arraste de vapor e determinado por titulometria após coleta em indicador de ácido bórico, conforme método descrito por Tedesco et al. (1995). Devido à dificuldade em recuperar todo o nitrogênio na forma nítrica contido no tecido durante a digestão pelo método Kjeldahl, mesmo com o uso de ácido salicílico (Simonne et al., 1994), optou-se por tratar o N-total por N-Kjeldahl neste trabalho. O cálculo da Eficiência de Uso do Nutriente (EUN) foi feito segundo a equação (Hunt, 1990):

$$\text{Equação 3.} \quad \text{EUN} = \frac{\text{Massa Seca da Parte Aérea}}{\text{Nutriente Total Acumulado na Planta}} \quad (\text{g mmol}^{-1})$$

Para fins de notação, o nutriente em questão é apresentado como índice. Por exemplo: EUN_P = Eficiência de Uso do Fósforo.

O Influxo líquido de nutrientes nas raízes no período (In) foi calculado segundo a equação (Radford, 1967; Wickens & Cheeseman, 1988):

$$\text{Equação 4.} \quad In = \frac{U_2 - U_1}{T_2 - T_1} \cdot \frac{\ln W_{R_2} - \ln W_{R_1}}{W_{R_2} - W_{R_1}} \quad (\text{mmol g}^{-1} \text{ dia}^{-1})$$

onde, U = acúmulo total de nutrientes na planta (mmol), T = tempo (dias), e W_R = massa seca radicular. Os índices “1 e 2” indicam início e fim do período, respectivamente.

Para a análise estatística e elaboração de gráficos utilizaram-se os programas Microsoft Excel®, SigmaStat® e SigmaPlot® (SPSS Science, Chicago, IL).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.

3.1. *Absorção de Nutrientes pelas Plantas.*

O teor de nitrogênio total, aqui tratado como N-Kjeldahl, não mostrou variação ao longo do tempo em nenhuma das partes analisadas: folhas, caules e raízes (Figura 22). Os teores oscilaram em torno de $5\% \pm 0,3$ nas folhas e $4\% \pm 0,5$ nos caules e raízes nas coletas a partir dos 30 DAS nos tratamentos com 100, 50 e 25% da concentração da solução. O teor de N-Kjeldahl no tratamento com 12,5% da concentração da solução nutritiva, no entanto, foi estatisticamente (ao nível de 5% de significância) menor em todas as partes, quando analisadas as duas últimas coletas, tendo havido redução para $3,4\% \pm 0,4\%$ nas folhas, $2,7\% \pm 0,1$ nas raízes e menos de 2% nos caules. É interessante notar que as maiores produções de massa seca foram obtidas nos tratamentos 100 e 50%, sem diferenças entre eles (Tabela 7), seguidos do tratamento 25% e finalmente o 12,5%. Isso mostra que mesmo apresentando a produtividade menor, no caso do tratamento 25%, os teores de N permanecem ótimos. Segundo Barta (1992), valores de 2,1 a 5,6% de N total no tecido indicam plantas de alface saudáveis, enquanto Jones et al. (1991) consideram como nível suficiente entre 4 e 5%. O teor de nitrogênio no tratamento 12,5% sofreu a maior redução no caule, e a menor nas folhas, indicando uma redistribuição de N do caule priorizando o fornecimento do nutriente para as folhas.

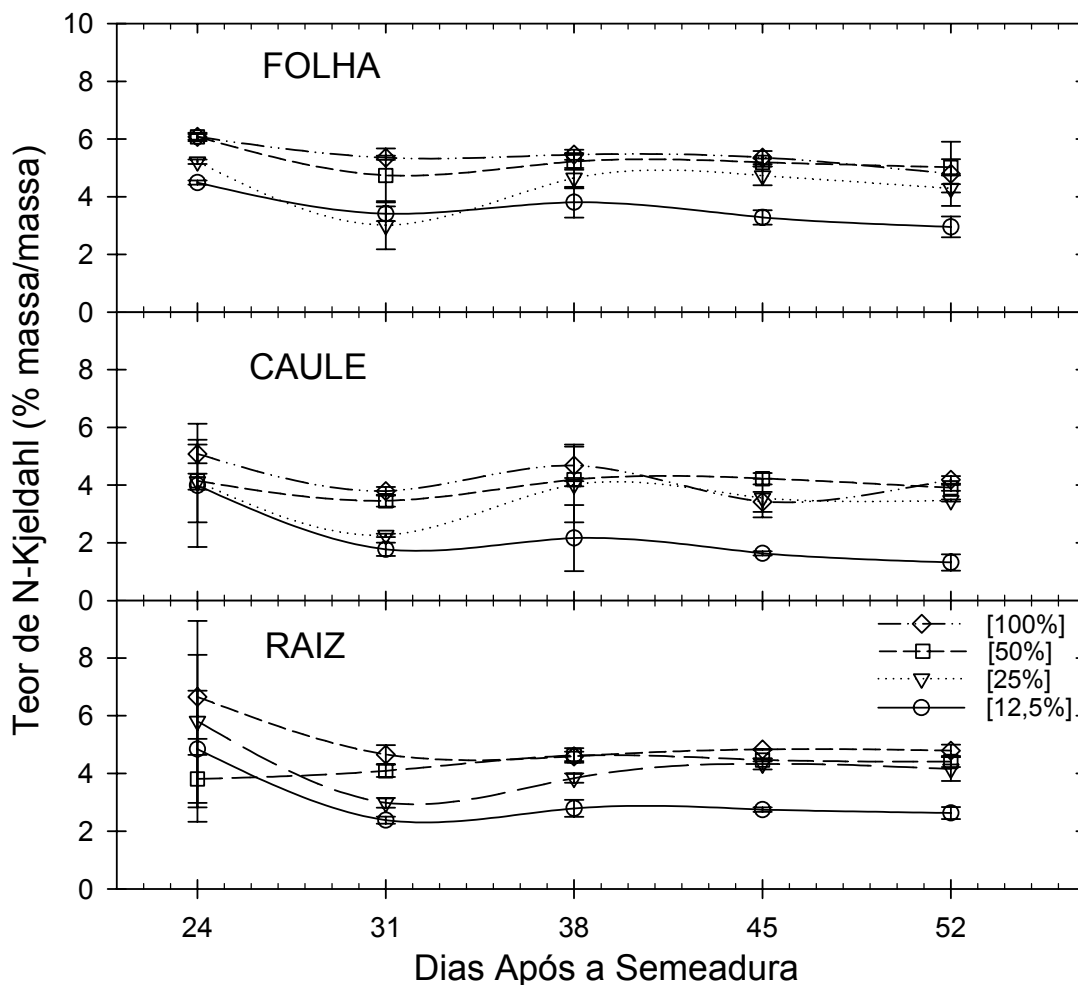


Figura 22. Teor de N-Kjeldahl no Tecido da Alfaca Cultivada em Sistema Hidropônico – NFT com Quatro Concentrações da Solução Furlani (1997). Cada ponto representa a média de quatro repetições. As barras de erro indicam desvio padrão.

Os teores de P, mostrados na Figura 23, também não variam nas folhas ao longo da ontogenia da planta. Nas raízes, no entanto, sua concentração é crescente ao longo da coletas nos tratamentos 25, 50 e 100%. Os níveis de P nas folhas, para os tratamentos 50 e 100% são semelhantes e situam-se em torno de $0,8\% \pm 0,1$. O trat 12,5% esteve sempre abaixo de 0,5%. Nos caules e raízes, os teores de P são crescentes com os quatro tratamentos, mostrando que a concentração nessas partes está muito mais dependente da concentração do P na solução do que do acúmulo de massa, já que os tratamentos 50 e 100% alcançaram as mesmas produções de fitomassa. Com exceção do tratamento 12,5%, todos os outros apresentaram teores de P considerados altos, chegando a valores acima de 1% nos caules e raízes. Jones et al. (1991) citam o nível acima de 0,6% de P para a alfaca da cultivar Boston como alto, e abaixo de 0,2 – 0,3 como baixos. Em alfaca dos cultivares Brasil 48 e Clause's Aurélia submetidos à deficiência de P, Garcia et al. (1988a) encontraram teores de P menores do que 0,2% nas folhas e nos caules, o que consideram como nível crítico. Portanto, apesar da depressão no crescimento da plantas provocado pelo abaixamento da força iônica da solução no tratamento 12,5%, os níveis de P encontram-se muito acima do nível crítico de 0,2%.

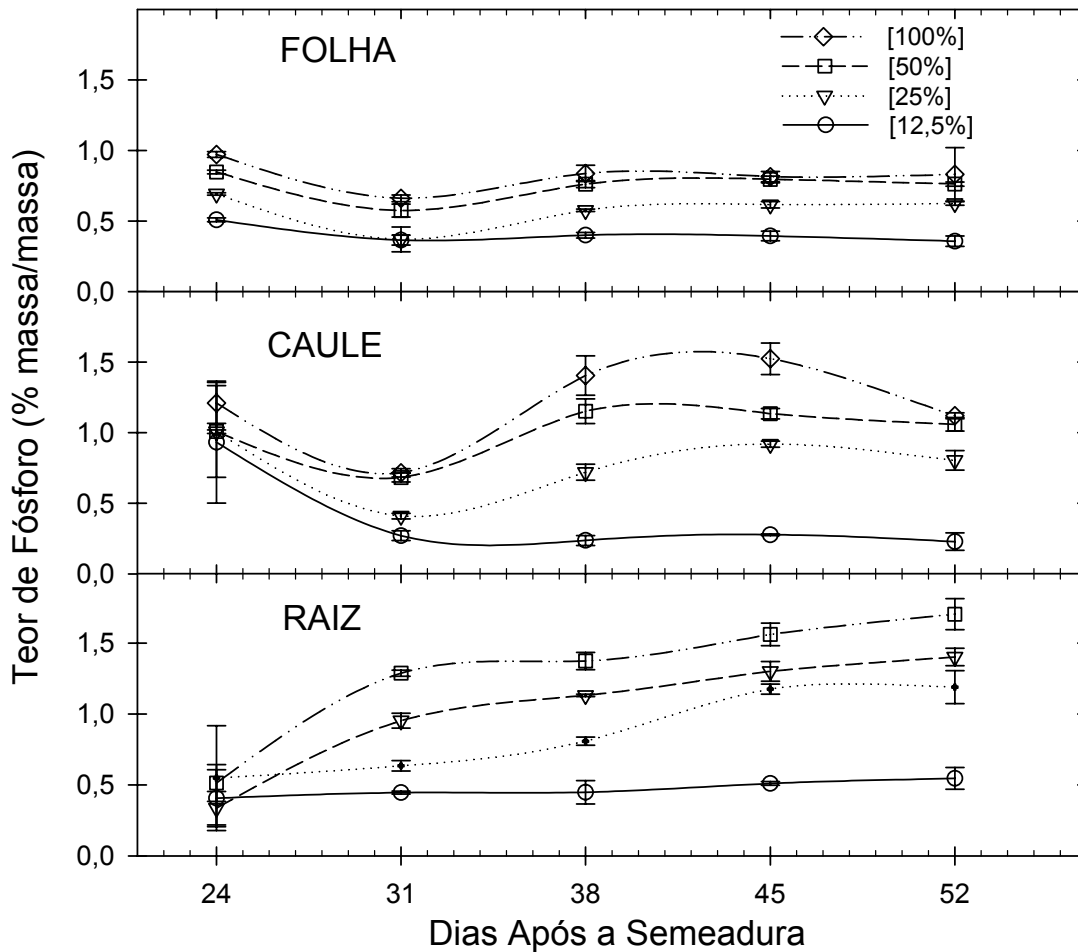


Figura 23. Teor de Fósforo no Tecido da Alfaca Cultivada em Sistema Hidropônico – NFT com Quatro Concentrações da Solução Furlani (1997). Cada ponto representa a média de quatro repetições. As barras de erro indicam desvio padrão.

A Figura 24 mostra que os teores de potássio, tais quais os de nitrogênio, variaram pouco ao longo do tempo e tiveram valores semelhantes nas folhas nos tratamentos 100, 50 e 25%, não refletindo, portanto, a queda no rendimento de massa seca observado no tratamento 25%. De fato, na três partes analisadas, apenas o tratamento 12,5% se distancia do grupo, mostrando uma redução acentuada no teor de K ao longo do tempo. Enquanto os três tratamentos apresentaram teores em torno de $7,5\% \pm 0,5\%$ nas folhas e caules e 6% nas raízes, o tratamento 12,5% mostrou teores em torno de 4 e caindo para $2,7\%$ nas folhas, $1,3\% \pm 0,1$ no caule e $3,1\% \pm 0,2$ nas raízes. Potássio é reconhecidamente um nutriente que se caracteriza por ser absorvido em quantidade superior ao ótimo para a produção de massa seca, chamada absorção de “luxo”. Segundo Roorda van Eysinga & Smilde (1981), o nível considerado ótimo de potássio nas folhas da alfaca está entre 3,9 e 9,8%, ou seja, uma larga faixa. Garcia et al. (1988a) obtiveram valores de K de 1,3 a 3,2% nas folhas e 0,67 a 1,1% nos caules de plantas de alfaca deficientes em potássio. As plantas saudas, em condições de boa disponibilidade de K, alcançaram valores próximos a 8%. Em função disso, pode-se inferir que o caule pode expressar muito melhor o estado nutricional da planta em potássio do que as outras partes da planta.

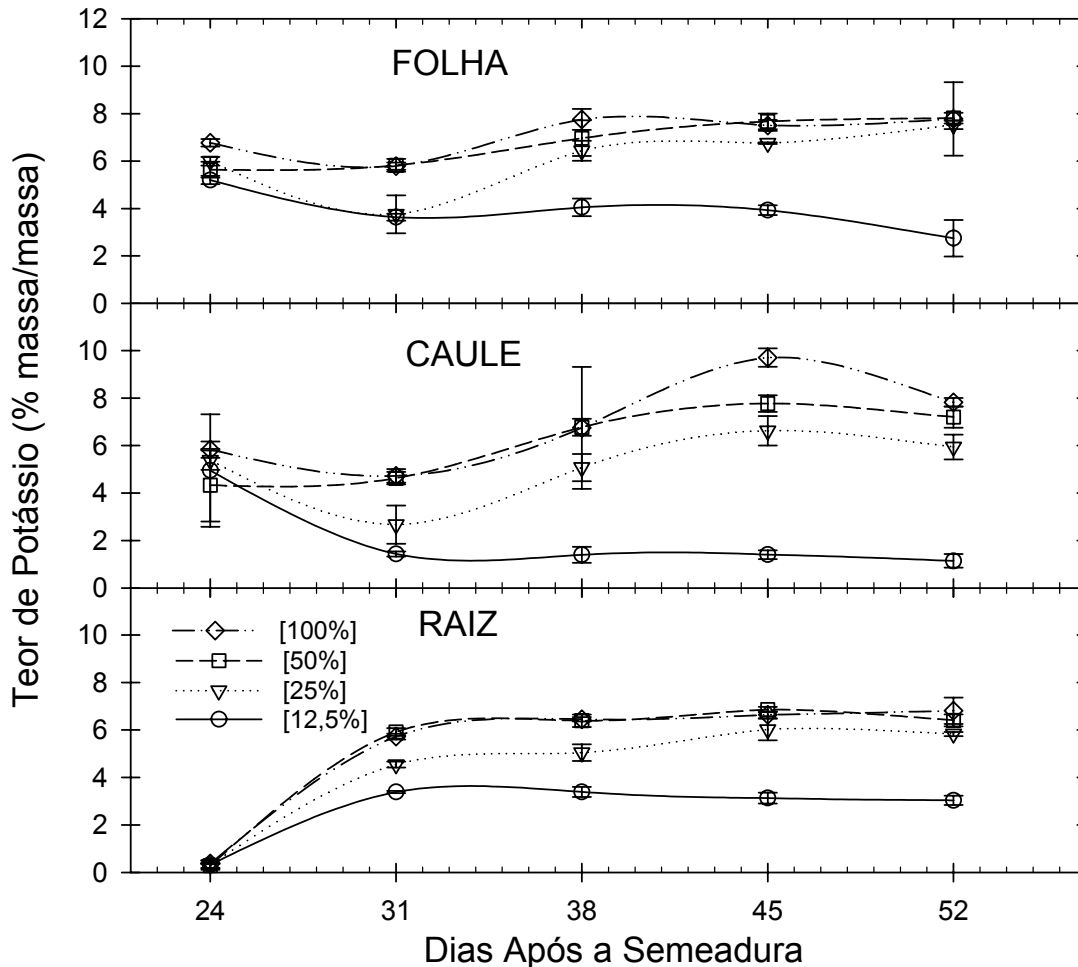


Figura 24. Teor de Potássio no Tecido da Alface Cultivada em Sistema Hidropônico – NFT com Quatro Concentrações da Solução Furlani (1997). Cada ponto representa a média de quatro repetições. As barras de erro indicam desvio padrão.

Os teores de cálcio encontrados não mostraram qualquer diferença consistente entre os tratamentos em quaisquer das partes da alface (Figura 25). Ao longo do tempo, o cálcio sofre uma acentuada diluição no caule e na raiz até os 30 DAS, a partir dos quais não varia até à colheita final. No caule mantém-se em torno de $1,5\% \pm 0,3$ e na raiz $1,3\% \pm 0,1$. Nas folhas, há um aumento dos teores de cálcio nos quatro tratamentos a partir dos 30 DAS alcançando até $1,8\% \pm 0,2$. Na última coleta, entretanto, caem até $1,4\% \pm 0,1$. Roorda van Eysinga & Smilde (1981) consideram plantas de alface como deficientes quando os teores de Ca estão abaixo de 0,8% nas folhas. Garcia et al. (1988a) observaram níveis abaixo de 0,3 % de Ca nas folhas apicais, e teores tão altos quanto 1,37% nas folhas basais de plantas deficientes em cálcio. No caule, observaram valores de 0,36 a 0,59%. Portanto, devido à quase total imobilidade do Ca no floema (Marschner, 1995), é natural que haja grandes diferenças entre partes da planta originadas em momentos ontogenéticos diferentes. Isso faz com que deficiências na disponibilidade de cálcio sejam mais facilmente observadas nas folhas apicais da planta. Apesar do nível de cálcio utilizado na solução nutritiva ser de 12,5% da concentração original da solução Furlani (1997), $0,44 \text{ mmol L}^{-1}$ não é considerado adequado para a produção de alface apenas pelo fato de potencialmente poder provocar tipburn

(Wheeler, 1995). Aparentemente, a redução de crescimento das plantas nos tratamentos 25 e 12,5% não pode ser creditada à redução no teor de cálcio.

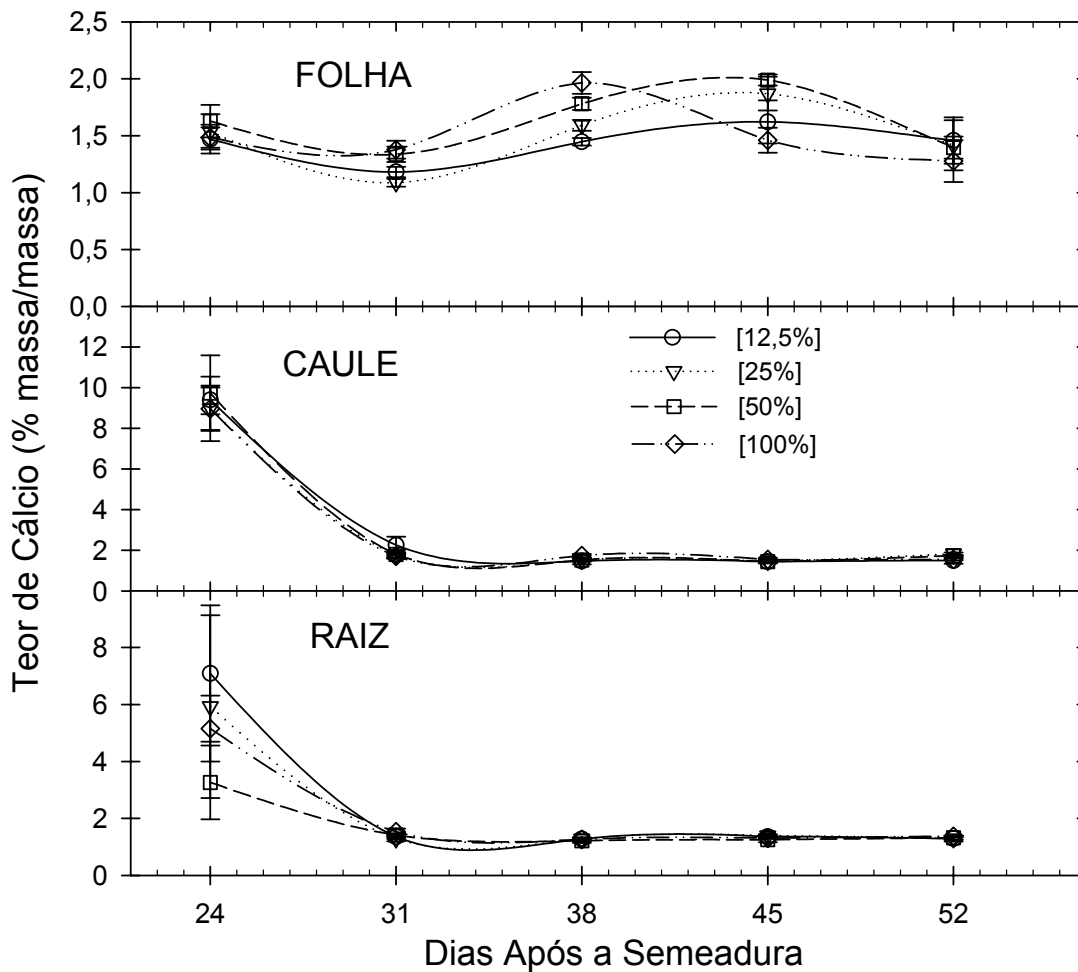


Figura 25. Teor de Cálcio no Tecido da Alface Cultivada em Sistema Hidropônico – NFT com Quatro Concentrações da Solução Furlani (1997). Cada ponto representa a média de quatro repetições. As barras de erro indicam desvio padrão.

O Magnésio nas folhas manteve-se relativamente constante ao longo do tempo, ficando em torno de $0,3\% \pm 0,05$, com exceção do tratamento 12,5%, onde o teor esteve mais baixo ($0,2\%$) durante as coletas dos 30 aos 45 DAS, voltando a crescer na última colheita. Nas raízes, os teores de Mg em todos os tratamentos foram muito semelhantes, além de não variarem na ontogenia da planta, ficando em torno de $0,18\% \pm 0,02$. Nos caules, em contrapartida, os teores de magnésio subiram a partir dos 30 DAS de $0,2$ para $0,35\%$ nos tratamentos 100, 50 e 25%, enquanto o tratamento 12,5% permaneceu constante em torno de $0,15\%$. Roorda van Eysinga & Smilde (1981) apresentam o nível $<0,3\%$ como o limite para considerar plantas de alface deficientes. Jones et al. (1991) consideram $0,3$ a $0,4\%$ de Mg como baixo em folhas de alface cv Boston. Garcia et al. (1988a), por outro lado, encontraram de $0,35$ a $0,5\%$ de Mg nas folhas e $0,11$ a $0,32\%$ nos caules de alface com boa disponibilidade de Mg no meio de cultivo. Em plantas deficientes eles encontraram valores de $0,05$ a $0,26\%$ em folhas e $0,04$ a $0,08\%$ em caules. Aparentemente, os níveis de magnésio considerados críticos se encontram em uma faixa bastante estreita, e parecem estar mais dependentes da relação com K e Ca do

que com seus níveis isoladamente na solução nutritiva. De qualquer forma, apenas o teor de Mg nos caules parece indicar a redução na disponibilidade de magnésio.

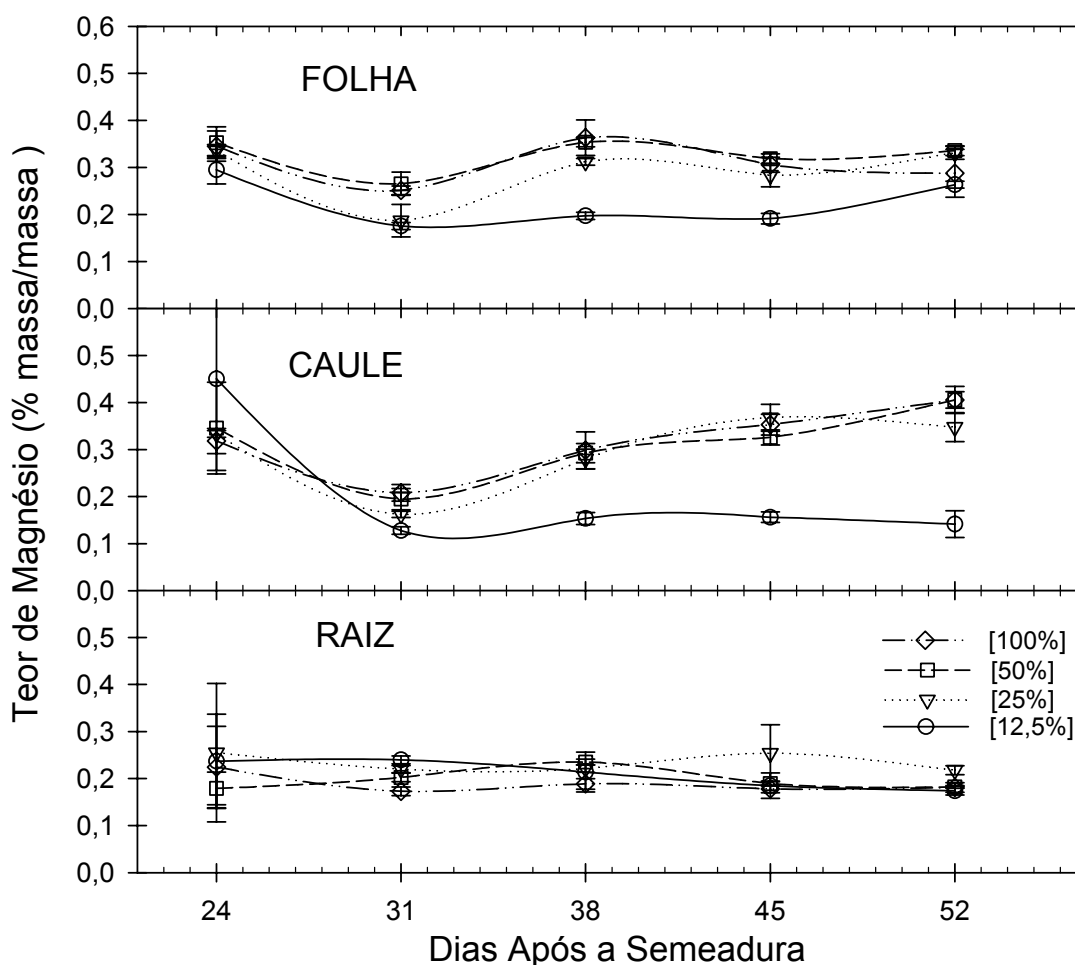


Figura 26. Teor de Magnésio no Tecido da Alface Cultivada em Sistema Hidropônico – NFT com Quatro Concentrações da Solução Furlani (1997). Cada ponto representa a média de quatro repetições. As barras de erro indicam desvio padrão.

Analisando visualmente o experimento, as plantas nos tratamentos 100 e 50% não aparentavam qualquer deficiência em nutrientes nem diferenças em tamanho, forma das folhas e aparência do sistema radicular, como foi confirmado pela produção de massa (ver Capítulo I). O tratamento 50% produziu plantas menores, porém sem nenhum sintoma maior de deficiência de nutrientes. Apenas o sistema radicular mostrou-se ligeiramente espessado. Finalmente, o tratamento 25% apresentou plantas com tamanho bastante reduzido e folhas aparentando-se ligeiramente enrijecidas e menores do que nos outros tratamentos. Em geral essas plantas aparentaram um conjunto de sintomas de deficiência de nutrientes, especialmente o amarelecimento, porém sem um sintoma mais específico. As raízes, além de reduzidas em tamanho, mostravam-se também espessadas, com redução no comprimento e descamação. Apesar das altas temperaturas e luminosidade anotadas durante o experimento (Figura 15, página 33), da alta condutividade do tratamento 100% (Tabela 6, página 32), e do

reduzido nível de cálcio no tratamento 12,5% (Tabela 4, página 30), não foram observados sintomas de “tipburn” em quaisquer dos tratamentos.

O acúmulo de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio nos tecidos das alfaces são mostrados nas Figura 27, Figura 28, Figura 29, Figura 30 e Figura 31, respectivamente. O acúmulo de todos os nutrientes nas folhas acompanhou o acúmulo de massa seca (ver Capítulo I). Nos tratamentos 100 e 50%, o maior incremento no conteúdo dos nutrientes por planta ocorreu no período compreendido entre os dias 38 e 45 DAS, o que pode ser observado pela inflexão das linhas que ligam os pontos. Nos caules, entretanto, o acúmulo dos nutrientes cresceu mais no período entre os 45 e 52 DAS, mostrando um incremento de quase 3 vezes ao do período anterior. Nas raízes, o acúmulo mostrou um crescimento linear durante toda a ontogenia da planta. Entre esses dois tratamentos, não se observaram diferenças em qualquer das partes ao longo dos períodos analisados, com exceção do último período, 52 DAS, nas raízes, onde o tratamento 100% mostrou sistematicamente acumular mais nutrientes do que o tratamento 50%. O que se observa em geral, para esses dois tratamentos, 100 e 50%, é que num ritmo de crescimento ótimo, o acúmulo de nutrientes acompanha perfeitamente o comportamento característico de crescimento vegetativo, numa tendência sigmoideal nas folhas, exponencial no caule e linear para as raízes. Considerando o acúmulo total de nutrientes nas plantas, como pode ser visto na Tabela 7, aproximadamente $\frac{1}{3}$ dos nutrientes é acumulado até os 38 DAS, $\frac{1}{3}$ dos 38 aos 45 DAS, e $\frac{1}{3}$ dos 45 aos 52 DAS. Alguma variação ocorre com o cálcio, onde apenas $\frac{1}{4}$ do nutriente é acumulado no último período, de 45 a 52 DAS e no magnésio, cujo acúmulo nesse período chega a $\frac{2}{5}$ de todo o nutriente acumulado na planta. Com isso, enquanto o N, P e K são acumulados nos dois últimos períodos analisados, 38 a 45 e 45 a 52 DAS, cálcio mostra maior acúmulo dos 38 a 45 DAS e magnésio no último período (45 a 52 DAS).

Tabela 7. Acúmulo de Nutrientes (em Valores Percentuais) por Período de Crescimento da Alface Cultivada em Sistema Hidropônico – NFT com 50 e 100% da Concentração da Solução Furlani (1997).

Período	Massa Seca	N	P	K	Ca	Mg
DAS	----- % -----					
0 a 24	1,6	2,0*	1,6	1,2	2,4	1,8
24 a 31	10,6	10,6	7,8	8,0	9,9	8,0
31 a 38	16,9	19,1	19,5	18,2	25,1	21,4
38 a 45	33,1	35,1	34,2	34,5	37,4	28,8
45 a 52	37,8	33,1	36,9	38,1	25,3	40,1
Total	100	100	100	100	100	100

* Média de oito repetições (tratamentos 100 e 50 % combinados).

Nos tratamentos 25 e 12,5%, esse comportamento é diferenciado pela debilidade no crescimento das plantas, cuja redução completa no nível dos macronutrientes da solução nutritiva promove a redução do acúmulo de fitomassa, mesmo sem a presença característica de deficiência de um único nutriente isoladamente.

O nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio acumulados nas plantas nos tratamentos 100 e 50% (Tabela 8) aos 45 DAS foram 672,5, 121,1, 1000,4, 217,9 e 39,5 mg planta⁻¹ de N, P, K, Ca e Mg, respectivamente. Vale ressaltar que as plantas aos 45 DAS se encontravam em ponto de colheita comercial, e por isso é mais importante

compará-las aos trabalhos de outros autores nessa fase. Esses resultados são bastante próximos ao de Furlani (1995) para fósforo, 118 mg planta⁻¹, mas não em N (926 mg planta⁻¹), K (1.403 mg planta⁻¹), Ca (312 mg planta⁻¹) e Mg (62 mg planta⁻¹) na alface da cultivar Grand Rapids cultivada em NFT. Na cultivar Verônica, também do tipo crespa e cultivada em NFT, Furlani (1997) obteve 588, 127, 1105, 205 e 38 mg planta⁻¹ de N, P, K, Ca e Mg, respectivamente. Esses valores, em geral se aproximaram muito mais do presente experimento. Ainda em NFT, Faquin & Furtini Neto (1996) trabalhando com a cultivar Verônica, obtiveram aos 30 dias após o transplante: 796, 142, 951, 325 e 96 mg planta⁻¹ de N, P, K, Ca e Mg. Em cultivo de solo, resultados de Garcia et al. (1988b) mostram acúmulo de 410, 100, 759, 200 e 52 mg planta⁻¹ de N, P, K, Ca e Mg, aos 72 dias da cultura. Resultados de Fernandes et al. (1981), para a cultivar Vitória de Santo Antão em solo, mostram: 224, 47, 536, 141 e 35 mg planta⁻¹ de N, P, K, Ca e Mg, respectivamente, aos 65 dias da cultura. Em geral, o que se observa é que em cultivos hidropônicos, os nutrientes acumulados nos tecidos de uma planta de alface chegam ao dobro do que se obtêm em cultivos de solo, considerando o mesmo período de cultivo. Em alguns casos, esses valores chegam a ser quatro vezes maior, como no relatado por Fernandes et al. (1981), onde o acúmulo de N na alface cv Vitória de Santo Antão cultivada em solo foi de 224 mg planta⁻¹. Isso implica dizer que plantas de alface em hidroponia acumulam a mesma quantidade de nutrientes aos 45 DAS que plantas de alface cultivadas no solo aos 72 dias de cultivo, ou seja, uma precocidade considerável.

Tabela 8. Acúmulo de Nutrientes (em Valores Absolutos) por Período de Crescimento da Alface Cultivada em Sistema Hidropônico – NFT com 50 e 100% da Concentração da Solução Furlani (1997).

Data da Coleta	Massa Seca	N	P	K	Ca	Mg
DAS	g planta ⁻¹	----- mg planta ⁻¹ -----				
24	0,3*	20,5	3,1	19,8	6,9	1,2
31	2,6	127,2	18,0	149,6	35,8	6,4
38	6,2	319,7	55,4	443,4	108,9	20,5
45	13,2	672,5	121,1	1000,4	217,9	39,5
52	21,3	1005,7	192,0	1616,1	291,8	65,9

* Média de oito repetições (tratamentos 100 e 50 % combinados).

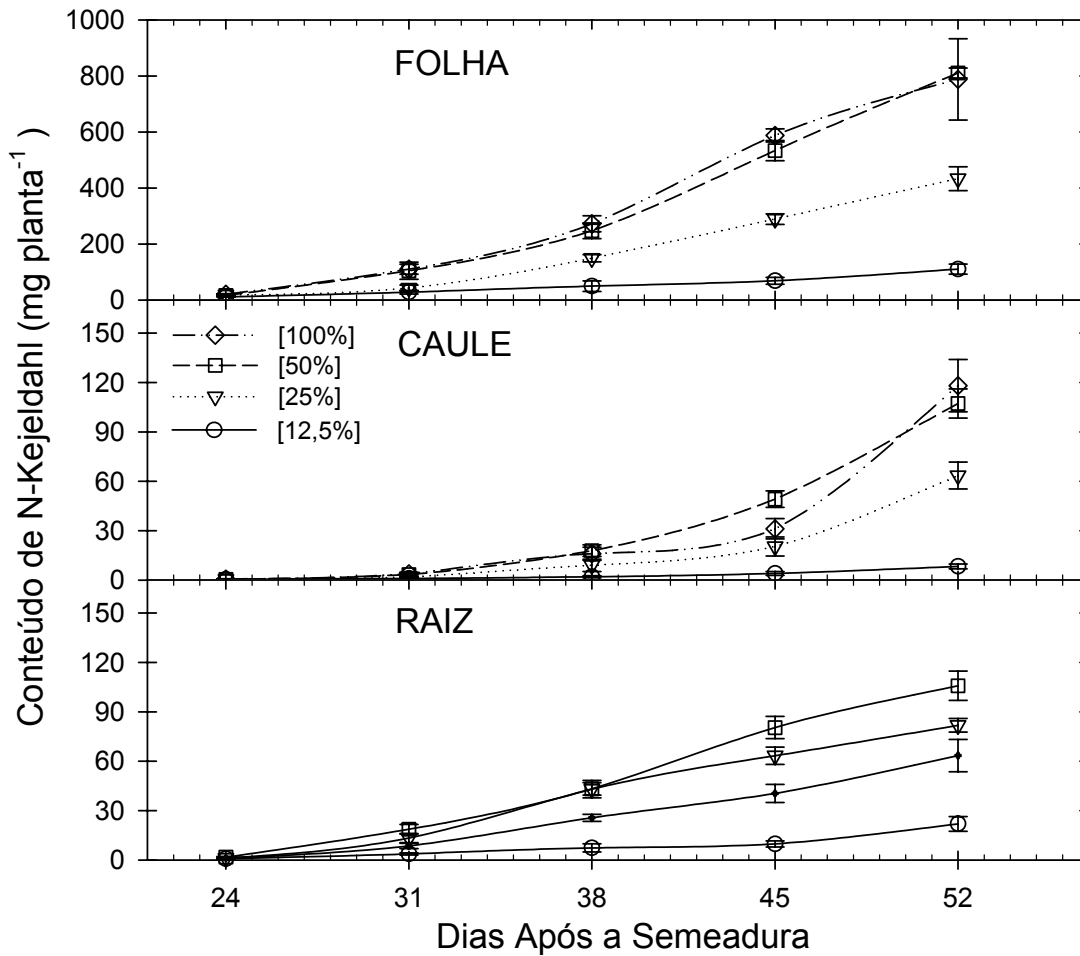


Figura 27. Conteúdo de N-Kjeldahl Acumulado no Tecido da Alfaca Cultivada em Sistema Hidropônico – NFT com Quatro Concentrações da Solução Furlani (1997). Cada ponto representa a média de quatro repetições. As barras de erro indicam desvio padrão.

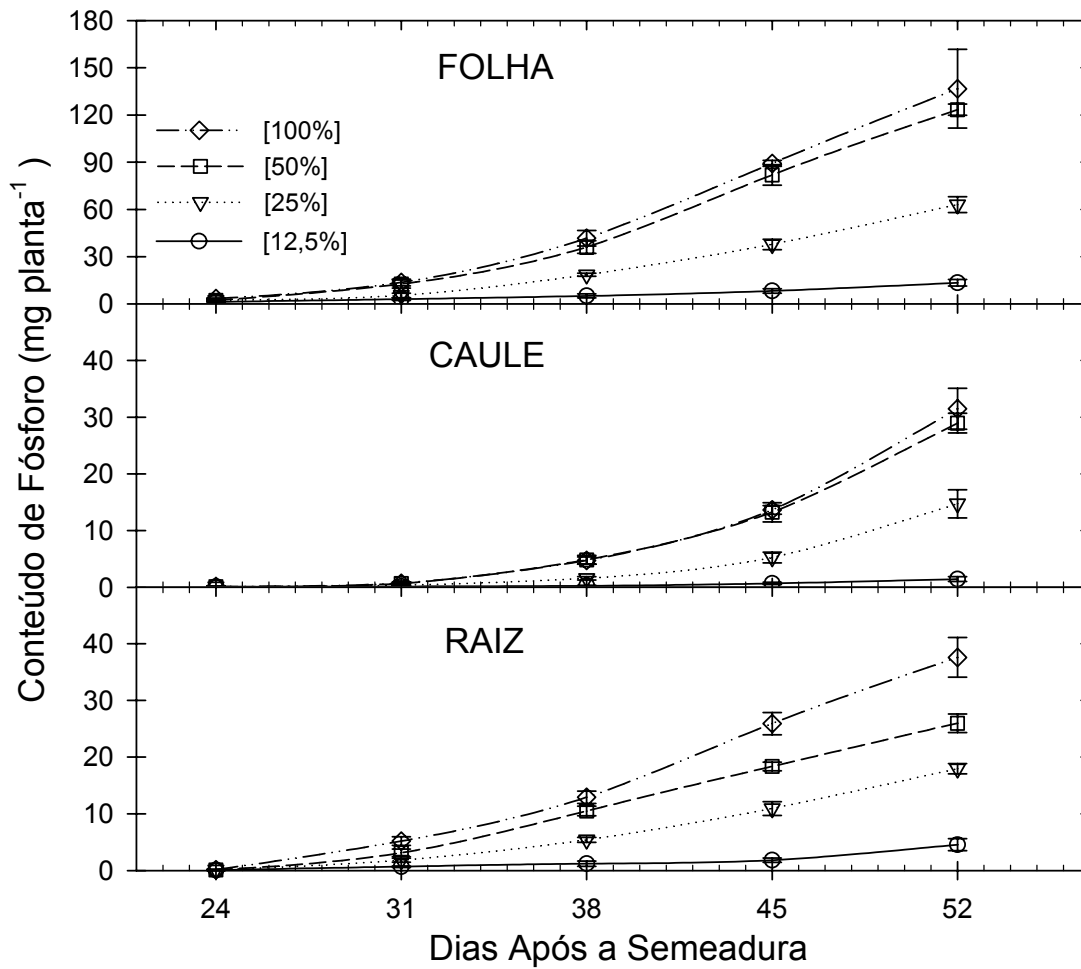


Figura 28. Conteúdo de Fósforo Acumulado no Tecido da Alfaca Cultivada em Sistema Hidropônico – NFT com Quatro Concentrações da Solução Furlani (1997). Cada ponto representa a média de quatro repetições. As barras de erro indicam desvio padrão.

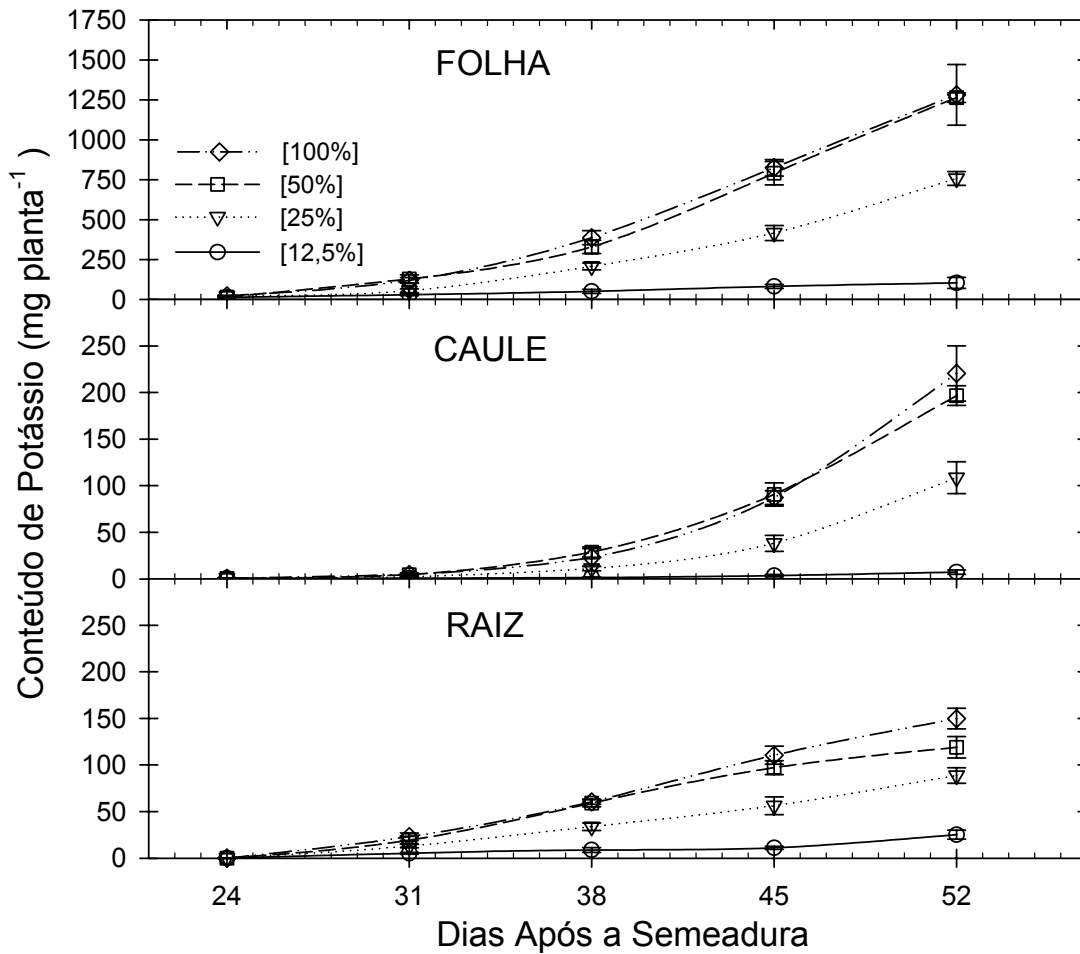


Figura 29. Conteúdo de Potássio Acumulado no Tecido da Alface Cultivada em Sistema Hidropônico – NFT com Quatro Concentrações da Solução Furlani (1997). Cada ponto representa a média de quatro repetições. As barras de erro indicam desvio padrão.

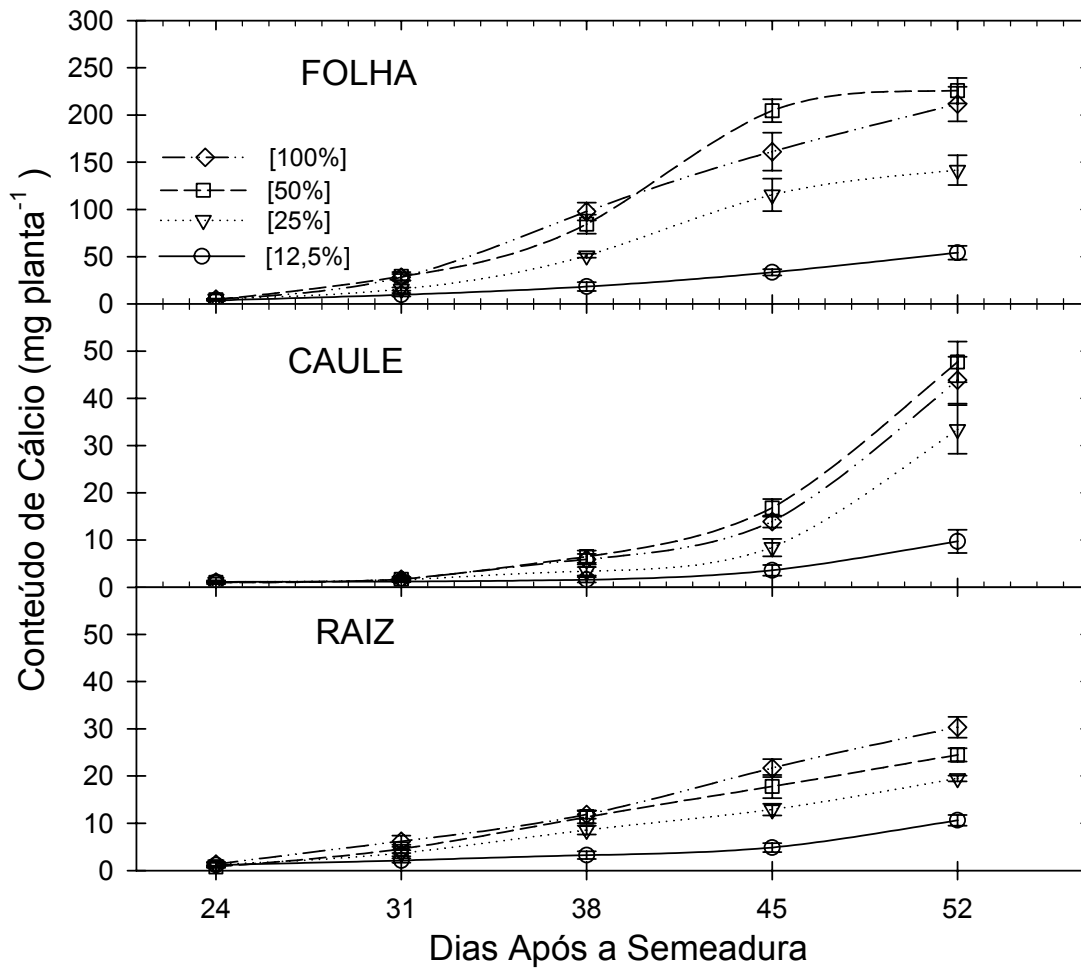


Figura 30. Conteúdo de Cálcio Acumulado no Tecido da Alface Cultivada em Sistema Hidropônico – NFT com Quatro Concentrações da Solução Furlani (1997). Cada ponto representa a média de quatro repetições. As barras de erro indicam desvio padrão.

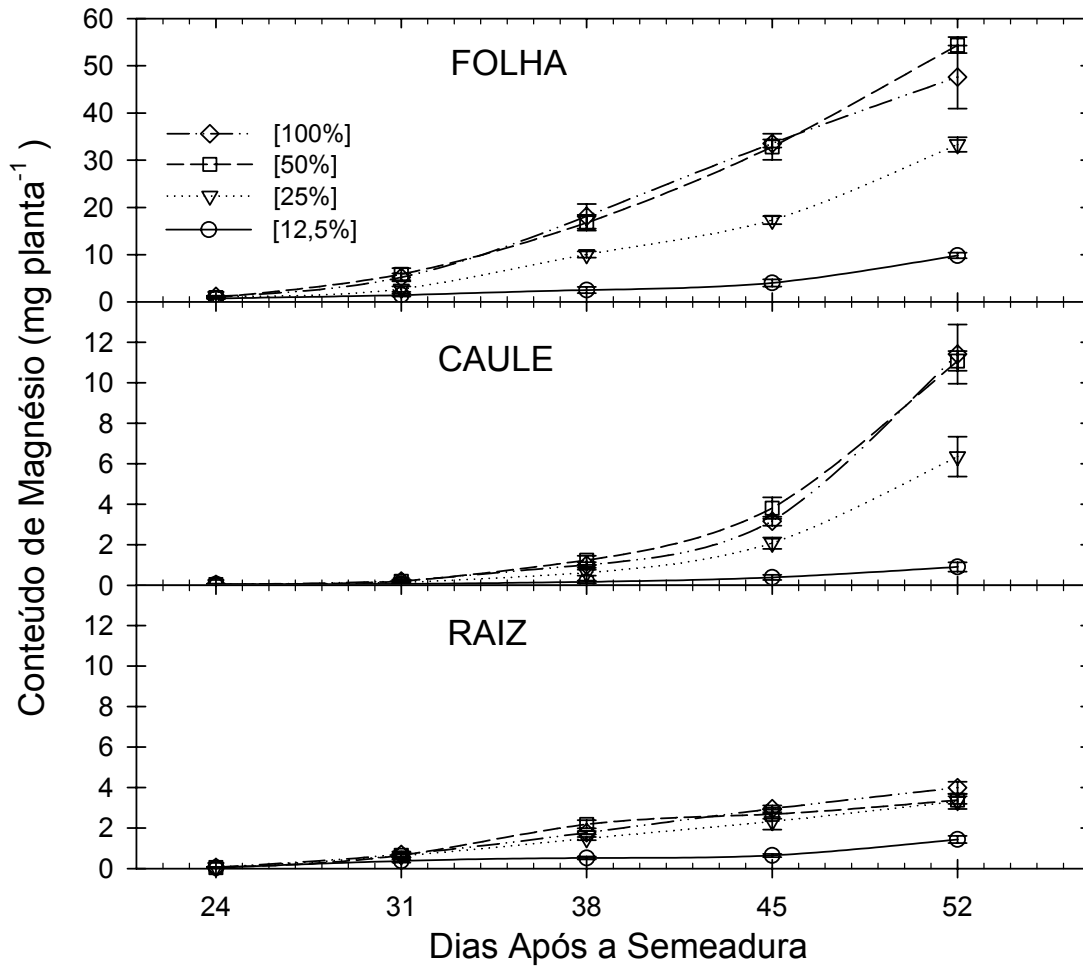


Figura 31. Conteúdo de Magnésio Acumulado no Tecido da Alface Cultivada em Sistema Hidropônico – NFT com Quatro Concentrações da Solução Furlani (1997). Cada ponto representa a média de quatro repetições. As barras de erro indicam desvio padrão.

Os influxos líquidos de nutrientes (*In*) N, P, K, Ca e Mg são mostrados na Figura 32. No período inicial, nos tratamentos 100 e 50%, os influxos de todos os nutrientes são altos, chegando, em alguns casos, ao dobro dos influxos nos tratamentos 25 e 12,5%, que são semelhantes nesse período. No segundo período analisado, 31 a 38 DAS, os influxos líquidos médios dos tratamentos 100 e 50% caem abruptamente aos níveis do tratamento 25%, e subsequenteemente caem mais suavemente durante todo o experimento até os 52 DAS. No tratamento 12,5%, no entanto, reduzem-se ainda mais a partir do segundo período, mantendo-se muito baixos até o final do experimento. A queda no influxo líquido a partir dos 31 DAS indica um amadurecimento do sistema radicular, onde os sítios de absorção não acompanham o crescimento da massa total das raízes, utilizadas no cálculo do influxo líquido médio de nutrientes. Como no período de 24 a 31 DAS o sistema radicular ainda era jovem e compunha-se na maioria por raízes em franca absorção de nutrientes, a resposta foi muito mais evidente em relação às concentrações das soluções nutritivas. O fato dos influxos de todos os macronutrientes se apresentarem maiores no período de 24 a 31 DAS nos tratamentos com maior concentração de nutrientes na solução (tratamento 100 e 50%), e igualarem-se a partir desse período com o tratamento 25%, mostra a importância da utilização de concentrações mais elevadas nos primeiros períodos de crescimento da alface, contrapondo a recomendação clássica de utilização de soluções a ¼ da força iônica para plantas mais jovens, ou mudas (Furlani et al., 1999).

Dentre os nutrientes analisados, o cálcio teve a maior redução no influxo líquido no último período analisado (45 a 52 DAS), principalmente nos tratamentos 25 e 50%. Esse fato deve-se provavelmente à redução da absorção d'água pelas raízes mais envelhecidas no período dado, pois a absorção de cálcio é bastante dependente da absorção de água e do fluxo de seiva bruta nas plantas (Marschner, 1995). É importante notar que o envelhecimento do sistema radicular reduziu também o influxo máximo de nutrientes, pois os tratamentos não mostraram aumento no influxo líquido de nutrientes com o aumento da concentração acima de 50% da concentração original da solução Furlani (1997). Em outras palavras, a saturação dos sítios de absorção de nutrientes só foi alcançada após 31 DAS. O tratamento 50% mostrou uma ligeira tendência a apresentar influxos de nutrientes, com exceção de fósforo, maiores do que o tratamento 100%, no período de 24 a 31 DAS, o que pode indicar também uma saturação no sistema de absorção para esses nutrientes, mesmo operando na faixa de baixa afinidade devido à sua alta concentração. Transportadores iônicos de nitrato de baixa afinidade operam na faixa acima de 1 mmol L⁻¹ da solução nutritiva (Siddiqi et al. 1990; Vidmar et al. 2000). As soluções usadas no presente experimento variavam de 1,5 a 12,4 mmol L⁻¹ em N-NO₃⁻, bem acima do K_m normalmente encontrado em alface para esses transportadores. Cometti et al. (2000a) obtiveram, para NO₃⁻, $K_m = 0,8$ mmol L⁻¹ para alface cv Vera cultivada em NFT aos 45 DAS, para a faixa de baixa afinidade. No presente experimento o influxo líquido de N aos 45 DAS para os tratamentos de 25, 50 e 100% foram de 2,0 mmol g⁻¹ dia⁻¹ ± 0,2. Em Cometti et al. (2000a), a V_{max} foi de 2,4 mmol g⁻¹ dia⁻¹. Swiader & Freiji (1996), por outro lado, trabalhando com plantas de alface mais jovens (30 a 40 dias), encontraram V_{max} bem mais alta, 4 a 4,8 mmol g⁻¹ L⁻¹. Esses resultados também podem ser comparados aos obtidos no presente experimento, cujos influxos líquidos de N no período de 24 a 31 DAS para os tratamentos 50 e 100%

foram superiores a $8 \text{ mmol g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, reduzindo-se a valores em torno de $3,3 \text{ mmol g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ no período subsequente (dos 31 aos 38 DAS). Esses fatos corroboram para a inferência de que os sistemas de absorção de N-NO_3^- estão sob saturação nos níveis utilizados nas soluções dos tratamentos 50 e 100%.

O influxo líquido de K no período de 38 a 45 DAS foi de $1,7 \text{ mmol g}^{-1} \text{ dia}^{-1} \pm 0,2$. Resultados similares foram encontrados por Cometti et al. (2000a), cujo V_{max} encontrado foi de $1,8 \text{ mmol g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$, trabalhando com alface em NFT na mesma faixa de concentração menor do que $3,5 \text{ mmol L}^{-1}$. O K_m encontrado por eles foi de $0,13 \text{ mmol L}^{-1}$, para a fase de baixa afinidade. As concentrações da solução de Furlani (1997) no tratamento 12,5 já contam com $0,6 \text{ mmol L}^{-1}$, e chegam a $4,7 \text{ mmol L}^{-1}$ no tratamento 100% (Tabela 4), portanto muito acima do necessário para suportar o influxo a partir dos 31 DAS. De modo geral, o influxo tanto de N quanto de K acontecem numa velocidade 10 vezes maior do que o de P e Ca, e 20 vezes ao do Mg durante quase todo o período de crescimento da alface.

Os resultados na Figura 33 mostram que não há diferenças nas eficiências de uso dos nutrientes (EUN), N, P, K, Ca e Mg, quando se utilizam concentrações da solução Furlani (1997) variando de 25 a 100% da força iônica. No tratamento 12,5 observam-se valores de EUN mais elevados, que na verdade refletem uma absorção muito deficiente de nutrientes. Essas plantas apresentaram poucos crescimento e acúmulo de fitomassa pelas plantas. Cálcio, entretanto, teve sua eficiência de uso invariável em quaisquer dos tratamentos, mostrando que não sofre efeito da concentração da solução, e sim da absorção d'água que também é dependente da área foliar, ou do crescimento da parte aérea. A eficiência de uso do nutriente, segundo Marschner (1995), normalmente é usada para comparar plantas cultivadas em solos com baixa disponibilidade de nutrientes e está diretamente relacionada às diferenças intrínsecas aos genótipos (diferenças entre cultivares ou entre espécies). Assim, para uma dada cultivar, apenas a variação da concentração da solução nutritiva não altera a EUN de plantas com crescimento normal.

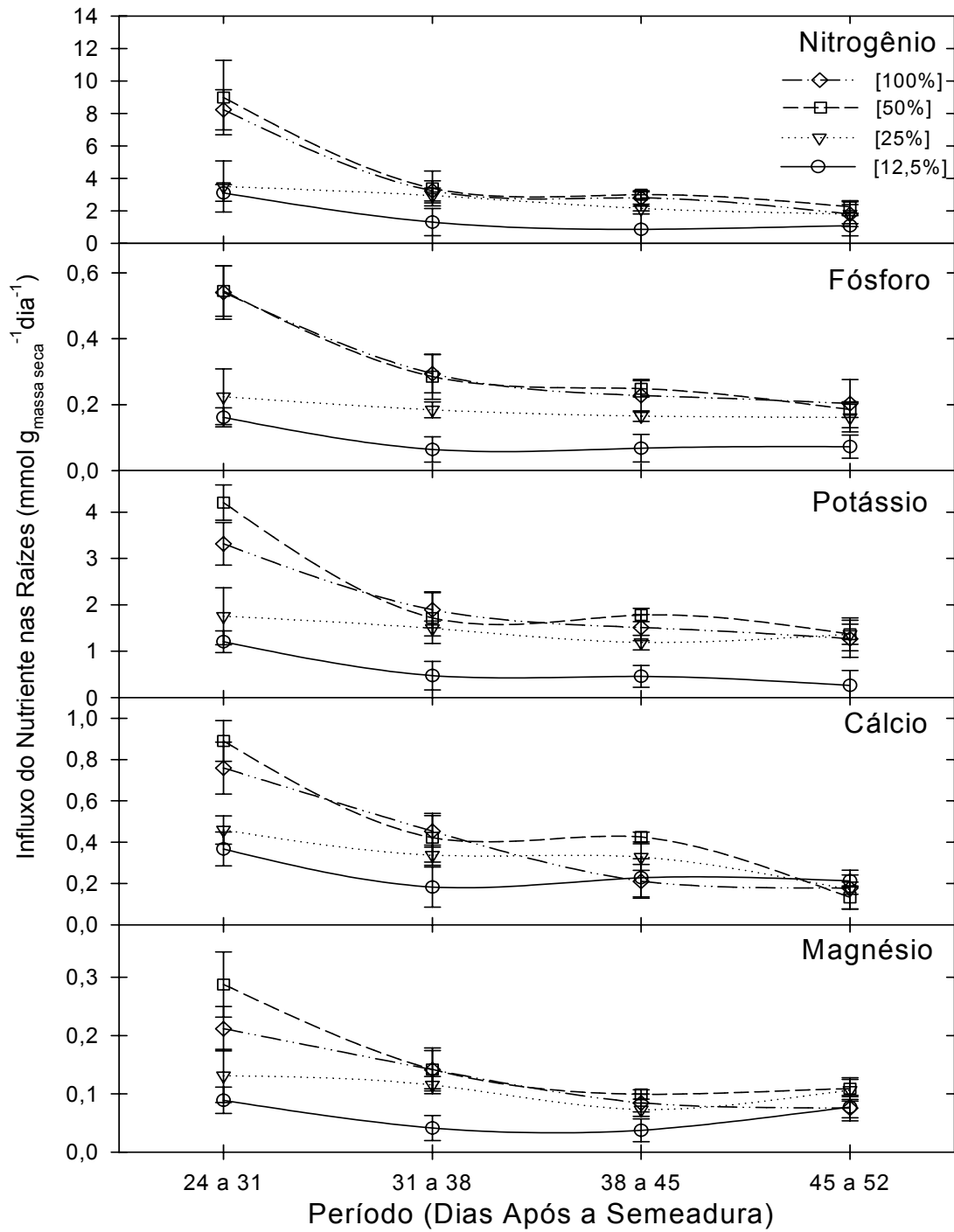


Figura 32. Influxo de Nutrientes nas Raízes da Alface Cultivada em Sistema Hidropônico – NFT com Quatro Concentrações da Solução Furlani (1997). Cada ponto representa a média de quatro repetições. As barras de erro indicam desvio padrão.

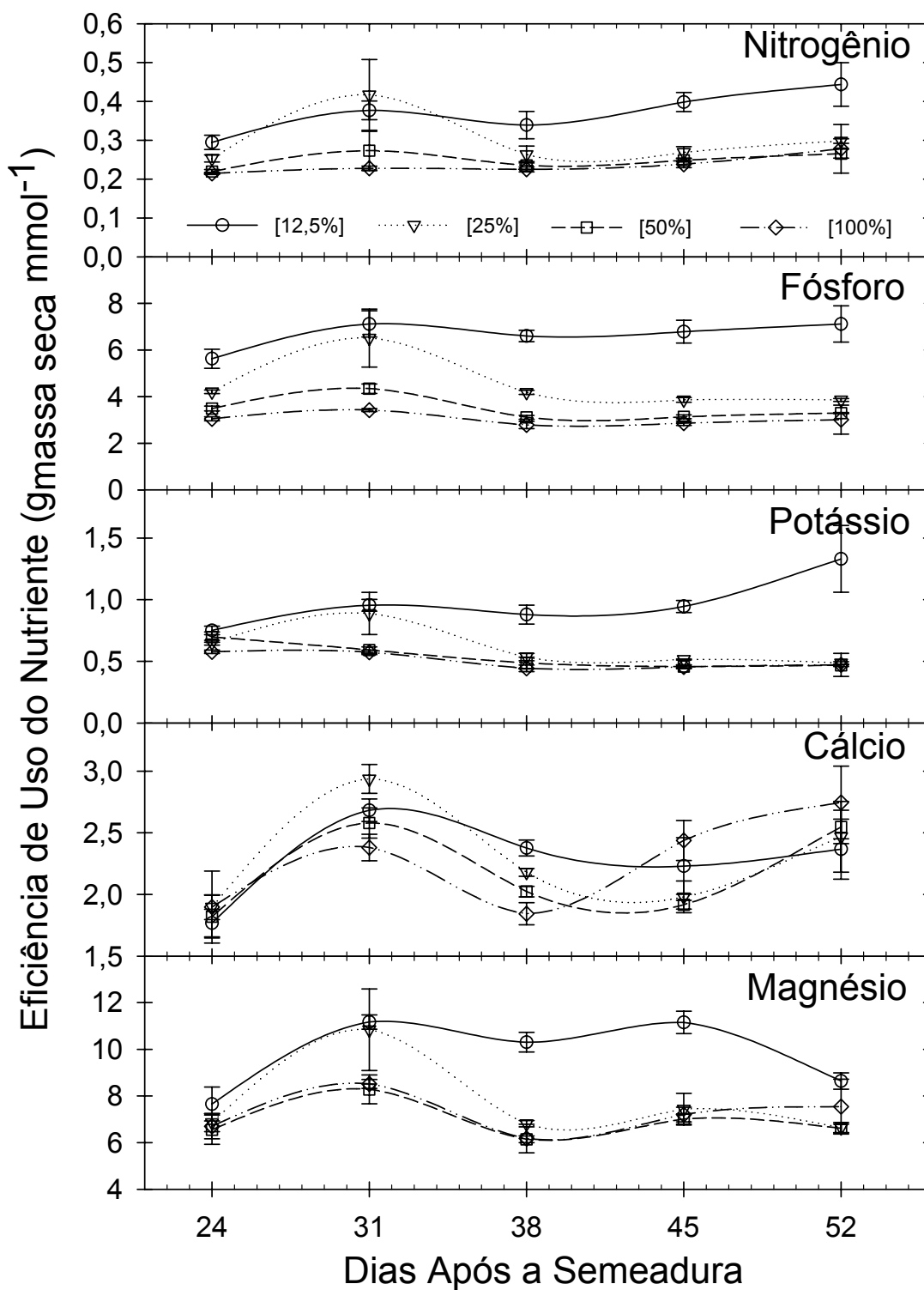


Figura 33. Eficiência do Uso do Nutriente pela Alface Cultivada em Sistema Hidropônico – NFT com Quatro Concentrações da Solução Furlani (1997). Cada ponto representa a média de quatro repetições. As barras de erro indicam desvio padrão.

3.2. Nutrientes na Solução Nutritiva:

O início da aplicação dos tratamentos ocorreu aos 17 DAS. Com exceção do N-NH_4^+ que sofreu depleção nos tratamentos 50, 25 e 12,5%, todos os outros nutrientes analisados, N-NO_3^- , P, K (Figura 34) e Ca, Mg e S (Figura 35) não sofreram alteração até a aplicação dos tratamentos (17 DAS). Essa ocorrência parece estar mais ligada ao reduzido volume radicular no período. O N-NH_4^+ sofreu depleção quase total na solução, mesmo com o ajuste diário para repor nutrientes e trazer a condutividade elétrica ao nível inicial (ver Tabela 6). O N-NO_3^- , entretanto, sofreu forte depleção na solução apenas nos períodos compreendidos entre os 24 e 45 DAS no tratamento 100%, o que ocorreu apenas no período entre os 38 e 45 DAS para o tratamento 50%. No último período, 45 a 52 DAS, a reposição de nutrientes equilibrou a extração de nitrato da solução. A rápida depleção de amônio da solução nutritiva mostra que sua velocidade de absorção é muito maior do que a do nitrato (Kafkafi, 1990). Mais do que isso, a absorção de N-NH_4^+ é preferencial em relação à do N-NO_3^- , pois apenas ao final desses períodos, quando praticamente não havia mais amônio em solução é que o nitrato foi absorvido mais eficientemente. A rápida absorção do amônio pelas plantas pode ser visualizado pelo abaixamento do pH da solução nutritiva que ocorreu mais intensamente e por mais tempo no tratamento 100%, seguido pelo tratamento 50% e finalmente pelo tratamento 25% (Figura 36). As plantas do tratamento 50%, devido ao seu ótimo desenvolvimento, absorveram rapidamente o amônio, geralmente até o segundo dia após a troca da solução (Figura 34). A partir daí, o pH subiu rapidamente devido à absorção quase que exclusiva de nitrato, como ocorreu aos 34 DAS, período de maior crescimento das plantas, em que foi necessário adicionar ácido para o controle do pH (Figura 36). Aparentemente, no tratamento 100% a presença do amônio provocou um abaixamento de pH maior do que o desejado, pois a quantidade de OH^- adicionada foi bem maior do que o dobro da quantidade adicionada no tratamento 50%. Talvez isso explique parcialmente porque o tratamento 100% produziu a mesma quantidade de massa seca do tratamento 50%, já que quantidades elevadas de amônio na solução demandam grande volume de esqueletos de carbono para a rápida assimilação e assim evitar fitotoxidez. Os teores ótimos de N nos tecidos da alface tanto no tratamento 100 quanto no 50% corroboram para uma redução na produtividade do tratamento 100% devido à fitotoxidez da amônia na solução nutritiva. A alface parece ser bastante sensível à presença de grandes quantidades de amônio em solução. Matias et al (2001) observaram redução no crescimento da parte aérea da alface em cultivo NFT com a utilização de $1,42 \text{ mmol L}^{-1}$ de N-NH_4^+ . Com controle automático de pH, esse efeito não foi observado (Martins et al., 2002). No presente experimento, o nível de N-NH_4^+ no tratamento 100% foi de $1,75 \text{ mmol L}^{-1}$ (Tabela 4). Curiosamente, não houve depleção de nitrato na solução para os tratamentos 25 e 12,5%, mostrando que a rápida absorção dos íons é uma indicação de plantas saudáveis, muito mais do que a indicação de falta do nutriente na solução (Bugbee, 1995). Enquanto o fósforo praticamente não sofreu variações na solução ao longo de todo o cultivo, o potássio sofreu uma rápida depleção a partir dos 35 DAS em todos os tratamentos, com exceção do 12,5%. Apesar do influxo líquido de potássio não ter aumentado nesse período (Figura 32), o crescimento radicular foi maior, inclusive coincidindo com a fase exponencial de crescimento da parte aérea, responsável pela produção de fotossintatos necessários à produção de

energia para a absorção do íon (Rains, 1967). Nos períodos entre 31 e 45 DAS, aparentemente ocorreu um acúmulo de Ca e Mg na solução (Figura 35), principalmente no tratamento 50%, que pode indicar um competição com potássio que teve sua absorção bastante aumentada nesse mesmo período (Figura 34).

Os volumes de solução-estoque utilizados para ajustar a condutividade elétrica das soluções nutritivas mostra que não houve diferenças entre os tratamentos 100 e 50% (Figura 36). O tratamento 25% utilizou aproximadamente a metade do volume utilizado para os tratamentos 100 e 50%. Considerando-se o aspecto econômico da redução de 50% da concentração da solução nutritiva, pode-se inferir que a economia de nutrientes está apenas na solução básica, ou inicial, que conta com a metade dos sais utilizados na solução completa (tratamento 100%). Durante a reposição dos nutrientes absorvidos, não há diferença em se utilizar a solução original ou diluída a 50%. Mesmo o consumo de água entre esses tratamentos foi semelhante. É importante ressaltar que esses resultados foram obtidos com a troca semanal da solução nutritiva, que na prática é realizada mensalmente, ou ao final do ciclo da cultura. Os gastos de hidroxilas do tratamento 100% (Figura 36) foram bem maiores do que o tratamento 50%, mostrando que o volume de amônio em solução, mesmo para a concentração de 100% da solução básica, provoca uma redução muito maior do pH, devido ao balanço da absorção de N nítrico x N amoniacal. Portanto, o teor de $N-NH_4^+$ da solução usada no tratamento 100% que foi de 24 mg L^{-1} (Tabela 4) mostrou-se inadequado para a utilização no cultivo de alface nas condições deste experimento. Talvez a redução nesse teor de amônio pudesse refletir-se num maior ganho de massa do tratamento 100%.

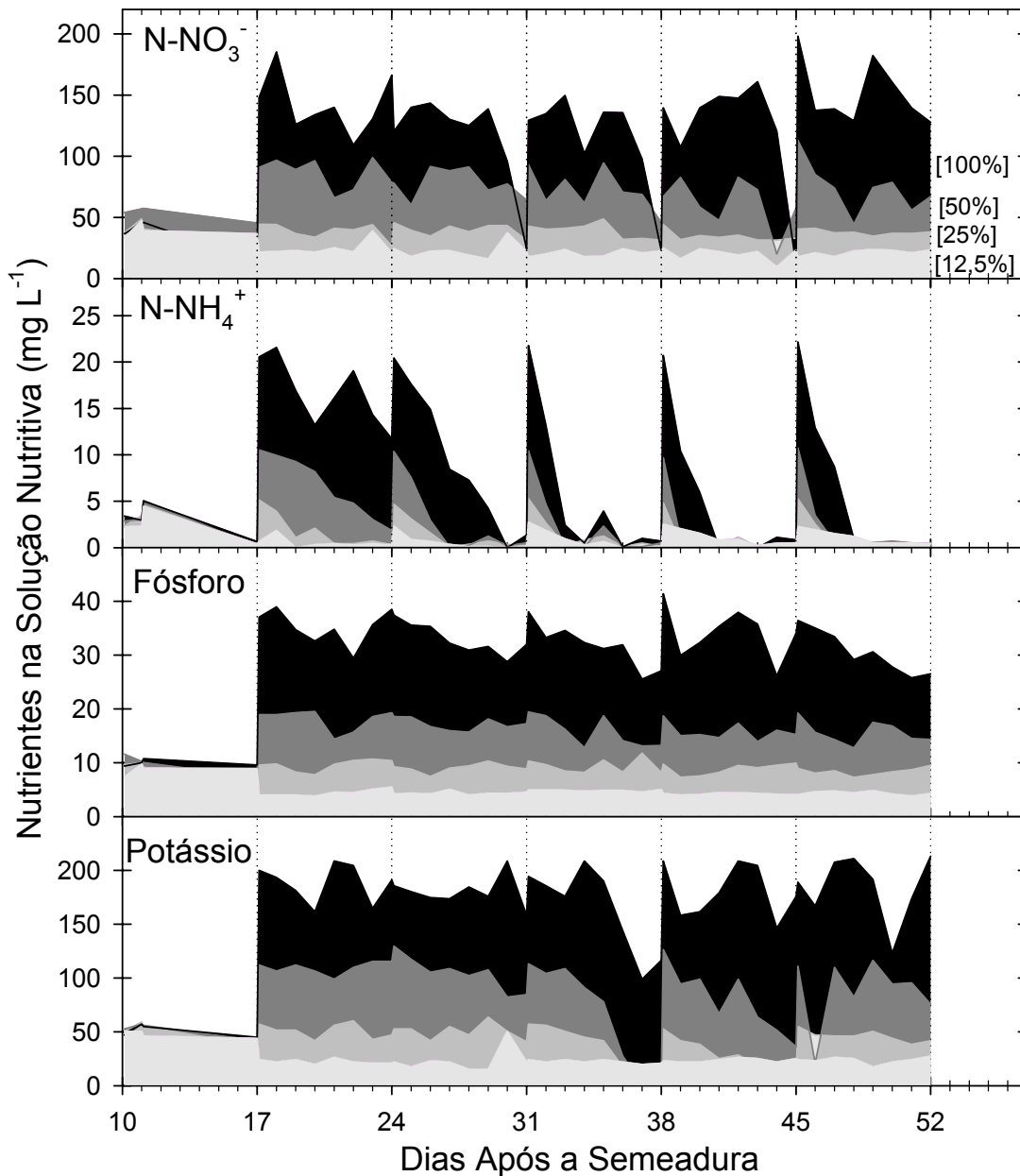


Figura 34. Teor de N, P e K na Solução Nutritiva de Cultivo da Alface em Sistema Hidropônico – NFT com Quatro Concentrações da Solução Furlani (1997). Cada ponto representa a média de quatro repetições. As barras de erro indicam desvio padrão. As linhas verticais pontilhadas indicam a coleta de plantas e a renovação da solução nutritiva.

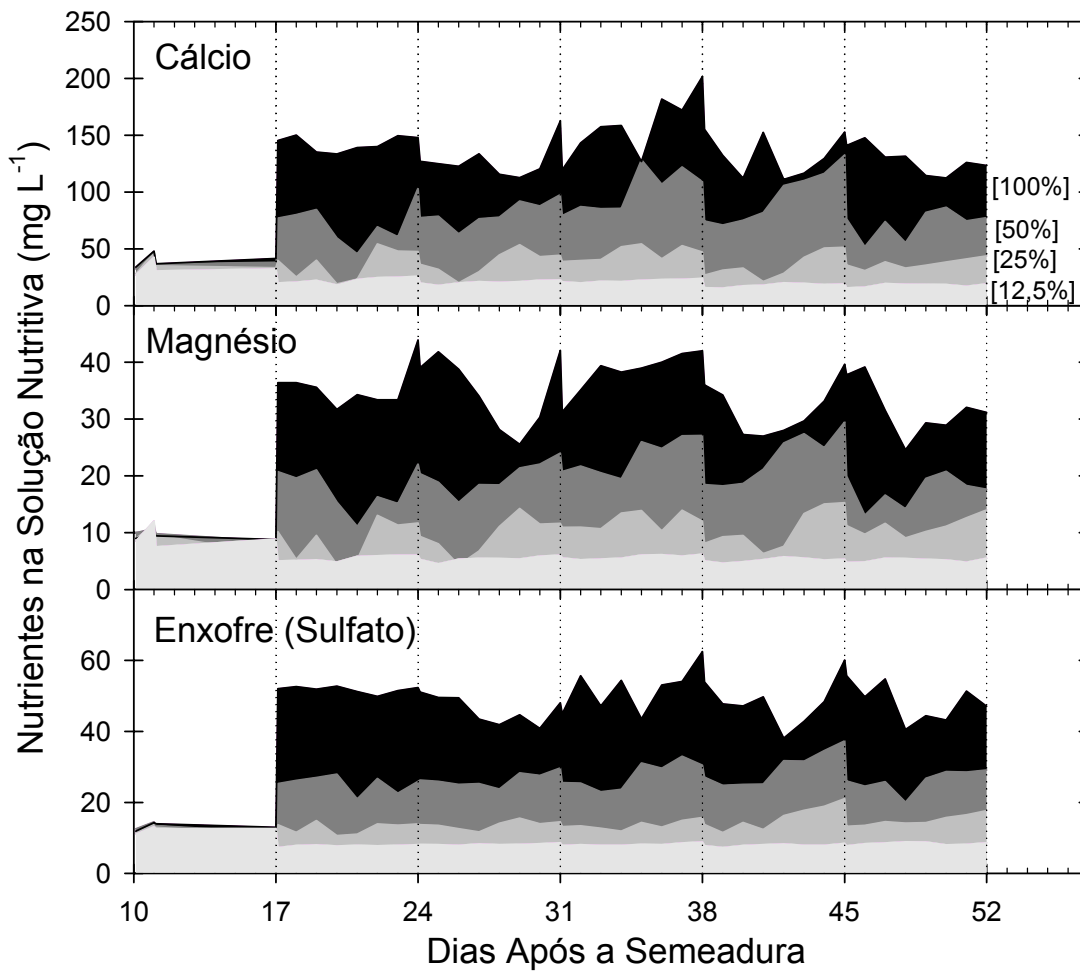


Figura 35. Teor de Ca, Mg e S na Solução Nutritiva de Cultivo da Alface em Sistema Hidropônico – NFT com Quatro Concentrações da Solução Furlani (1997). Cada ponto representa a média de quatro repetições. As barras de erro indicam desvio padrão. As linhas verticais pontilhadas indicam a coleta de plantas e a renovação da solução nutritiva.

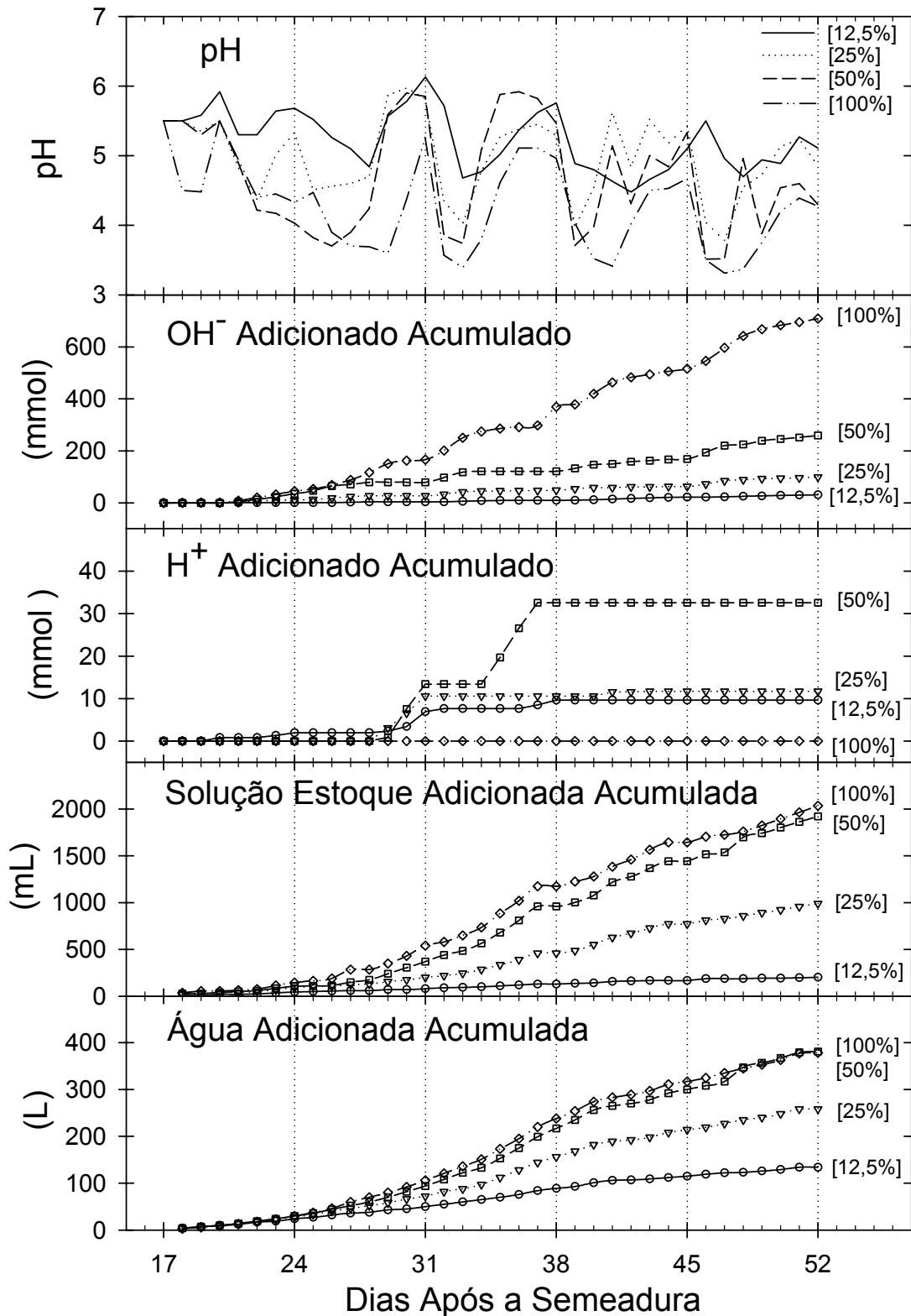


Figura 36. pH das Soluções Nutritivas, Quantidade de Prótons e de Hidroxilas Adicionados e Volume da Solução-Estoque e Água Adicionadas no Cultivo da Alface em Sistema Hidropônico – NFT com Quatro Concentrações da Solução Furlani (1997). Cada ponto representa a média de quatro repetições. As barras de erro indicam desvio padrão. As linhas verticais pontilhadas indicam a coleta de plantas e a renovação da solução nutritiva. Os valores cumulativos referem-se à soma das adições anteriores a do dia.

4. CONCLUSÕES.

Tanto os teores quanto os conteúdos de N, P, K, Ca e Mg nos tecidos da alface praticamente não mostraram diferenças entre os tratamentos com 50 e 100% da concentração da solução Furlani (1997). Em geral eles foram semelhantes aos valores encontrados em outros experimentos com alface cultivada em sistemas NFT, porém bem mais elevados do que os encontrados em alface cultivada em solo. No caso do nitrogênio, chega ao dobro. Apenas o tratamento 12,5% mostrou teores de nutrientes menores do que os outros tratamentos.

A eficiência de uso do nutriente não sofreu qualquer redução ou aumento com a redução da concentração da solução nutritiva até 25%. O aumento na eficiência de uso do nutriente no tratamento 12,5 foi bem mais elevado do que os outros tratamentos, porém as plantas apresentaram o crescimento extremamente reduzido.

A absorção de amônio da solução, por ser muito mais rápida do que a do nitrato, causou redução do pH com maior duração no tratamento 100%, que pode ter provocado maior fitotoxidez do amônio, e conseqüente produção similar à do tratamento 50%.

Os influxos de todos os macronutrientes foram maiores no período de 24 a 31 DAS nos tratamentos com maior concentração de nutrientes na solução (tratamento 100 e 50%), e igualaram-se ao tratamento 25% a partir desse período, mostrando a importância da utilização de concentrações da solução nutritiva maiores nos primeiros períodos de crescimento da alface.

Por não haver diferenças no volume de solução-estoque gasto para repor ajustar a condutividade elétrica entre os tratamentos 100 e 50%, conclui-se que a redução na concentração da solução nutritiva levaria a economia de pelo menos 50% do custo somente na solução nutritiva básica (inicial), que está hoje em torno de R\$ 10,00 por 1000 L. Numa produção hidropônica de 1 ha, ou seja, 10.000 m², se considerada a produção mensal de 50.000 plantas e a utilização de 100.000 L de solução nutritiva básica inicial (2 L planta⁻¹), pode-se alcançar uma economia anual de até R\$ 6.000,00 (US\$ 1670.00) em nutrientes. Essa economia seria obtida apenas com a redução da condutividade elétrica da solução inicial para 1,00 mS cm⁻¹, sem comprometer a produtividade.

CAPÍTULO IV

EFEITO DO AMÔNIO NO ACÚMULO DE MASSA E NOS TEORES DE N-TOTAL, N-PROTÉICO, NITRATO, AMÔNIO E N-AMINO NA ALFACE CULTIVADA EM SISTEMA HIDROPÔNICO – NFT.

RESUMO

Neste trabalho foi avaliado o efeito do uso de amônio contínua e intermitentemente (adição de pequenas doses) em solução nutritiva sobre o crescimento da alface em cultivo hidropônico – NFT e na modificação do metabolismo através da determinação da atividade da nitrato redutase, teor de N protéico, nitrato, amônio e açúcares solúveis na planta. O experimento foi conduzido em casa de vegetação nos meses de junho e julho de 2000. A alface (*Lactuca sativa* L.) foi cultivada em sistema hidropônico – NFT, com quatro tratamentos quanto à forma e quantidade de nitrogênio na solução nutritiva: 1- 100 mg L⁻¹ de N-NO₃⁻ durante todo o experimento; 2- 100 mg L⁻¹ de N-NO₃⁻ com uma dose de 20 mg L⁻¹ de amônio; 3- 100 mg L⁻¹ de N-NO₃⁻ com duas doses de 20 mg L⁻¹ de amônio; e 4- 80 mg L⁻¹ de N-NO₃⁻ + 20 mg L⁻¹ de amônio durante todo o experimento. Foram realizadas quatro coletas: aos 30, 42, 48 e 54 dias após a semeadura (DAS). As pequenas doses de amônio foram aplicadas seis dias antes das colheitas de 42 e 48 DAS. Embora a utilização de 20% do N na forma amoniacal na solução nutritiva não tenha provocado a redução significativa da massa seca, essa proporção de N-NH₄⁺:N-NO₃⁻ pode ser perigosa para a utilização em cultivos hidropônicos comerciais por se encontrar no limite para o aparecimento de efeitos fitotóxicos do amônio, e assim provocar perda de produtividade da cultura. De qualquer forma, a utilização de 20% do N na forma de NH₄⁺ foi eficiente para manter baixo o nível de nitrato nos tecidos das folhas da alface. A utilização de pequenas doses de amônio (20 mg L⁻¹ do N na forma de NH₄⁺) seis dias antes da colheita da alface foram efetivos na redução do nível de nitrato, podendo ser efetuado em sistemas comerciais sem incorrer em riscos de perda de produtividade. Além disso, o uso de amônio constante ou intermitentemente não alterou o nível de N-protéico nos tecidos foliares. A presença de amônio na solução nutritiva promoveu o abaixamento rápido do pH para valores em torno 3,5 a 3,7, sendo que após dois dias não havia mais presença do íon NH₄⁺ em solução. Nos tratamentos com pequenas doses de amônio, o pH tornou a subir imediatamente após a absorção do amônio. Isso indica o potencial da utilização de pequenas doses de amônio em sistema automatizado para o controle tanto de pH da solução quanto do acúmulo de nitrato no tecido da alface. A absorção de amônio pelas plantas reduziu fortemente a absorção de potássio, cuja rápida depleção na solução nutritiva ocorreu apenas nos tratamentos e nos períodos onde não houve adição de amônio.

Palavras-chave: toxidez, absorção, pH.

ABSTRACT

In this study it was evaluated the effect of using ammonium continuously or intermittently (addition of small doses) in nutrient solution on lettuce growth and metabolism in hydroponic conditions. The experiment was carried out in greenhouse during June and July 2000. The lettuce (*Lactuca sativa* L.) was grown in a hydroponic system - NFT, with four treatments as carrier and amount of nitrogen in the nutrient solution: 1 - 100 mg L⁻¹ of NO₃⁻-N during all the experiment; 2 - 100 mg L⁻¹ of NO₃⁻-N plus a small dose of ammonium (20 mg L⁻¹); 3 - 100 mg L⁻¹ of NO₃⁻-N plus two doses of ammonium (20 mg L⁻¹); and 4 - 80 mg L⁻¹ of NO₃⁻-N + 20 mg L⁻¹ of NH₄⁺-N during all the experiment. Four harvests were accomplished: at 30, 42, 48 and 54 days after the seeding (DAS). The doses of ammonium were used six days before the 42 and 48 DAS harvests. Although the use of 20% of N as NH₄⁺ in the nutrient solution has not caused significant reduction of dry mass, that NH₄⁺-N:NO₃⁻-N ratio may be dangerous for commercial hydroponics, because it appears to stay in the limit for ammonium toxicity, and what could provoke loss of productivity. However, the use of 20% of N as NH₄⁺ was efficient to maintain the level of nitrate low in leaf tissues. Use of small doses of ammonium (20 mg L⁻¹ of NH₄⁺-N) six days before the last harvest was very effective to reduce lettuce nitrate contents, and it could be used in commercial systems without risks of productivity losses. Besides, using ammonium either continuously or in small doses didn't alter the protein-N in leaf tissues. Ammonium addition to nutrient solution brought pH to values as low as 3.5 to 3.7, and two days later there was not any NH₄⁺ available in the nutrient solution. The pH arose again as soon as the ammonium uptake had finished, which indicates the potential of the use of ammonium spikes to control pH in automated systems. It would be also a good way of lowering the plant nitrate contents. Ammonium uptake by lettuce reduced potassium uptake, whose fast depletion in the nutrient solution occurred only in the treatments and periods where there was no ammonium addition.

Key words: toxicity, uptake, pH.

1. INTRODUÇÃO.

O cultivo hidropônico da alface tem se difundido como uma alternativa viável de produção, e como tal, tem ocupado espaço na pesquisa que ora busca conhecer aspectos relacionados com o suprimento de nutrientes através da solução nutritiva, especialmente para as condições climáticas das regiões tropicais (Matias et al., 2001). Em se tratando de cultivo hidropônico no sistema NFT ("Nutrient Film Technique", ou Técnica do Filme de Nutrientes), a cultura da alface tem sido o "carro chefe" em volume de produção no Estado do Rio de Janeiro e do Espírito Santo (Cometti et al., 2001). Assim como as demais "folhosas", a alface hidropônica tem suscitado especulações a respeito do acúmulo excessivo de nitrato como fator antinutricional, cujos efeitos tóxicos para o ser humano são principalmente a metahemoglobinemia - doença provocada pela formação de metahemoglobina o nitrato ingerido nos alimentos pode ser reduzido a nitrito (NO_2^-) no trato digestivo, e ao chegar à corrente sanguínea oxida o ferro ($\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$) da hemoglobina produzindo metahemoglobina ou doença do "sangue azul", que se constitui num complexo estável da hemoglobina das hemácias do sangue com o nitrito (NO_2^-) originado a partir da redução do NO_3^- absorvido dos alimentos pelo organismo, e que é incapaz de transportar oxigênio para as células (Wright & Davison, 1964) - e o aparecimento de nitrosaminas - complexos de amins secundárias com o nitrito, ambos presentes no sangue e que são cancerígenos (Maynard et al., 1976). Os níveis de nitrato em alface considerados aceitáveis para o consumo humano variam bastante. Na Europa, vários Países têm estabelecido limites máximos tolerados variando de 3500 a 4500 mg de $\text{NO}_3^- \text{ Kg}^{-1}$ de massa fresca para cultivo de inverno e 2500 mg de $\text{NO}_3^- \text{ Kg}^{-1}$ de massa fresca para cultivos de verão (Van Der Boon et al., 1990). Do ponto de vista metabólico, o acúmulo de NO_3^- nos tecidos dá-se pela alto influxo do ânion sem que haja disponibilidade de poder redutor proveniente do NADH^+ (Solomonson & Barber, 1990; Campbell, 1999) para a redução do NO_3^- a NO_2^- pela enzima Nitrato Redutase, e da Ferredoxina para a redução, pela Nitrito Redutase, do NO_2^- a NH_4^+ (Hewitt, 1975), cuja assimilação também depende da disponibilidade de esqueletos de carbono (açúcares) para a formação de aminoácidos (Miflin & Lea, 1977; Pate, 1980). Como a Ferredoxina é reduzida nos cloroplastos a partir de elétrons capturados do Fotossistema I, as plantas no escuro tendem a apresentar um déficit de poder redutor, podendo acumular nitrito, que por "feedback" inibe a ação da nitrato redutase, acumulando assim o NO_3^- absorvido. Para que isso ocorra, é necessário que as outras variáveis como temperatura e disponibilidade de ATP sejam favoráveis à absorção do NO_3^- (Rao & Rains, 1976; Fernandes, 1983). As variações cíclicas diurnas no influxo de NO_3^- e NH_4^+ também promovem grandes variações no acúmulo tanto de N- NO_3^- quanto N-amino livres, principalmente no sistema radicular da planta (Delhon et al., 1995).

As soluções nutritivas propostas para cultivos hidropônicos apresentam vários níveis de nitrogênio, bem como várias relações N- NO_3^- : N- NH_4^+ (Jones, 1983; Resh, 2002) sendo que algumas dessas soluções podem conter apenas nitrogênio na forma nítrica (Castellane e Araújo, 1994). Como a nutrição com N apenas na forma nítrica pode levar a acúmulo excessivo de N- NO_3^- nos tecidos, e conseqüentemente causar prejuízos à saúde humana, tem sido proposto o uso de N- NH_4^+ como forma de aliviar

esse efeito (Maynard et al., 1976). A utilização contínua, e em grande quantidade, de N amoniacal pode causar fitotoxidez, reduzindo o crescimento de algumas espécies mais sensíveis, apesar da nutrição amoniacal mostrar-se energeticamente mais vantajosa, aumentando a eficiência do uso do N para muitas espécies (Raven et al., 1992). A assimilação do N-nítrico passa primeiro pela redução à NH_3 pelos complexos enzimáticos Nitrato Redutase e Nitrito Redutase. A atividade da Nitrato Redutase (ANR) tem sido estudada como ponto chave na assimilação do NO_3^- pelas plantas, além de indicar o fluxo de NO_3^- citoplasmático nas células. Quando o N fornecido às plantas está na forma amoniacal, geralmente há queda na ANR. Em contrapartida, a nutrição nitrogenada amoniacal em pequenas doses, promoveu o aumento significativo tanto da ANR quanto de N-protéico nas folhas de *Brachiaria* sp. (Fernandes et al., 1978) e *Paspalum notatum* (Bendix et al., 1982). Além da atividade ANR, alguns nutrientes e produtos metabólicos tais como NO_3^- , NH_4^+ , açúcares e N-amino livres têm sido utilizados na avaliação dos efeitos do N- NH_4^+ sobre o metabolismo das plantas (Cometti et al., 2001b), principalmente por constituírem-se em bons indicadores de estresses fisiológicos (Fernandes e Rossiello, 1995).

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito do uso de N- NH_4^+ contínua ou intermitentemente (adição de pequenas doses) em solução nutritiva sobre o crescimento da alface em cultivo hidropônico – NFT e na modificação de variáveis tais como ANR, teor de N protéico, nitrato, amônio e açúcares solúveis na planta.

2. MATERIAL E MÉTODOS.

O experimento foi conduzido em casa de vegetação com alface (*Lactuca sativa* L.) do tipo “crespa” da cultivar “Vera”, em sistema hidropônico (NFT), instalado numa casa de vegetação com cobertura de filme de PVC transparente de 150 μm de espessura e tela de arame com malha de 10 mm nas laterais. A casa de vegetação pertence ao Depto. de Solos da UFRRJ. O período de condução do experimento foi de junho e julho de 2000. O fluxo de fótons fotossintéticos (FFF) médio durante o experimento foi de 600 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ e temperatura em torno de 26°C.

2.1. Sistema Hidropônico.

O sistema completo contou com quatro subsistemas independentes, com quatro canais de cultivo cada, conforme descrição feita no Capítulo II (Figura 13). O subsistema foi composto de:

- 1- Um reservatório de solução nutritiva, construído em PVC, com capacidade para 100 L;
- 2- Uma moto-bomba de 32 W de potência (do tipo ‘máquina de lavar roupas’);
- 3- Tubulação de recalque de solução nutritiva em PVC com $\phi=25$ mm;
- 4- Sistema de distribuição da solução nutritiva nos canais de cultivo composto de tubo de PVC de $\phi=25$ mm e tubos do tipo ‘espaguete’ com $\phi=6$ mm;
- 5- Canais de cultivo em polipropileno do tipo ‘hidrogood®’ com secção em formato meia-lua com 100 mm de diâmetro maior;
- 6- Tubulação em PVC com $\phi=40$ mm para retorno de solução nutritiva ao reservatório;

7- Sistema de oxigenação da solução nutritiva tipo ‘venturi’, construído em tubo de PVC $\phi=25$ mm estreitado após aquecimento e com perfuração lateral para a entrada de ar por sucção;

8- Temporizador acoplado a um contator para permitir o funcionamento das motobombas em ciclo de 10 minutos ligadas e 10 minutos desligadas.

Cada subsistema contou com quatro canais de cultivo, contendo 22 plantas. Cada canal de cultivo foi considerado como uma repetição, sendo que cada solução foi distribuída em um canal em cada bancada, de forma aleatória, conforme a Figura 14.

2.2. Condução do Experimento:

A semeadura foi realizada em substrato de espuma fenólica pré-tratada com NaOH 0,01 M por 2 horas e lavada amiúde com água destilada (Rocha, 2000). A espuma fenólica foi mantida úmida com água destilada por três dias, a partir dos quais as células da espuma fenólica com as mudas foram destacadas e colocadas nos canais de cultivo hidropônico. A vazão da solução nos canais foi de 90 L h^{-1} , fluindo durante 10 minutos com intervalos de 10 minutos até o final do experimento. Aos 21 DAS as plantas foram homogeneizadas para 20 por repetição, sendo conduzidas por mais nove dias antes da aplicação dos tratamentos. Todas as soluções foram preparadas com água destilada. Diariamente os níveis das soluções nos reservatórios foram reajustados com água destilada após a retirada de uma amostra de 80 mL para as análises de nutrientes. As condutividades elétricas (CE) das soluções foram medidas com um condutivímetro de bolso da marca ‘Hanna®’, sendo reajustadas com a mesma proporção da solução-estoque utilizada no preparo das soluções originais de modo a alcançar as CEs originais. O pH foi medido com pH-metro portátil da marca WTW modelo PH320. Utilizou-se KOH a $0,05 \text{ mol L}^{-1}$ e H_2SO_4 a $0,025 \text{ mol L}^{-1}$ para corrigir diariamente o pH para 5,5. O monitoramento de temperatura foi feito com termopares e o fluxo de fótons fotossintéticos com radiômetro portátil da marca Li-Cor, cujos dados são mostrados na Figura 41.

2.1. Tratamentos.

Foram utilizados quatro tratamentos com quatro repetições, onde cada canal de cultivo foi considerado como parcela experimental. A Tabela 9 mostra as soluções utilizadas nos tratamentos, baseadas na solução Furlani (1997) na metade da força iônica (Matias, 2002). O tratamento 1 recebeu 100% do N na forma nítrica, o tratamento 2 apenas uma pequena dose de amônio (aos 36 DAS), o tratamento 3, duas doses de amônio (aos 36 e aos 42 DAS), e o tratamento 4 recebeu 20% do N na forma amoniacal durante todo o tempo. As adições das pequenas doses de amônio foram realizadas apenas no momento da troca das soluções, utilizando-se a solução do tratamento 4 com 80% do N como N-NO_3^- e 20% como N-NH_4^+ . Para facilitar, os tratamentos doravante serão chamados: 100% N-NO_3^- , 1 dose de NH_4^+ , 2 doses de NH_4^+ e 20% N-NH_4^+ . Depois disso, o ajuste das soluções dos tratamentos 1, 2 e 3 foram feitas com a solução contendo apenas N-nítrico (tratamento 1). As trocas de soluções foram realizadas em todos os tratamentos aos 30, 36, 42 e 48 DAS.

Foram feitas quatro coletas (cinco plantas para cada parcela) durante o experimento, aos 30, 42, 48 e 54 DAS. As plantas foram coletadas pela manhã,

enquanto apresentavam o estado de máxima turgência das células. Ao retirar as plantas do canal de cultivo, lavaram-se as raízes com água destilada para retirar o excesso de solução nutritiva. Após a coleta, foram retiradas a quinta folha e a região do caule da mesma folha, que foram cortados em pedaços de ± 3 mm, homogêneos e pesados. Um grama desse tecido fresco foi utilizado para a extração com etanol a 80% (Fernandes, 1974) e determinação de NO_3^- , NH_4^+ , N-amino e açúcares por colorimetria (Cometti et al., 2000b). O restante das plantas foi separado em folhas, caules e raízes, pesado e levado à estufa para secagem a 80°C até massa constante e posterior pesagem.

Tabela 9. Composição das Soluções Nutritivas Usadas nos Tratamentos.

Tratamento	N- NO_3^-	N- NH_4^+	P	K	Ca	Mg	S	B	Cu	Fe	Mn	Mo	Zn
----- mg L ⁻¹ -----													
1	100		14,7	94	96	19	26	0,3	0,02	2	0,4	0,06	0,06
4	80	20	14,7	98	96	20	28	0,3	0,02	2	0,4	0,06	0,06

2.3. Determinações.

Nutrientes na Solução Nutritiva: nitrato foi determinado colorimetricamente pelo método descrito por Cataldo et al. (1975), a partir da nitração do ácido salicílico e leitura em espectrofotômetro a 410 nm. A determinação de amônio foi feita usando fenol e dicloroisocianurato, conforme o método colorimétrico descrito por Weatherburn (1967) e a leitura em espectrofotômetro a 630 nm. Potássio foi determinado por colorimetria de chama, de acordo com o método descrito por Tedesco et al. (1995). Para as análises, foi utilizado espectrofotômetro Shimadzu UV1200.

Extração alcoólica e separação: as amostras de 1g em etanol 80 % foram trituradas em almofariz por 3 minutos filtrado em quadro camadas de gaze clínica e por papel de filtro filtragem rápida. O filtrado foi transferido para funil de separação onde foi adicionado igual volume de clorofórmio, agitado suavemente e deixado em repouso por 40 minutos para a completa separação. A fração apolar foi descartada e a polar foi recolhida, completada a 25 mL com etanol a 80% e guardada em geladeira para as determinações de açúcares solúveis, N-amino, nitrato e amônio (Fernandes, 1974).

Análises no Extrato Alcoólico: nitrato e amônio foram determinados como na descrição acima para a solução nutritiva. Açúcares solúveis foram determinados por colorimetria pelo método da antrona como descrito por Yemm & Willis (1954) e a leitura feita em espectrofotômetro a 620 nm. A determinação de N-amino com ninidrina foi feita segundo método descrito por Yemm & Cocking (1955), e a leitura feita em espectrofotômetro a 570 nm. A atividade da enzima Nitrato Redutase foi feita por determinação do nitrito resultante da redução do nitrato após a incubação do tecido. A técnica foi adaptada a partir da descrição de Ferrari et. al. (1973). O tecido vegetal recém coletado foi cortado em pedaços pequenos (em torno de 2,0 mm de comprimento ou de espessura) e homogêneo para a retirada de uma porção de 0,2 g. O material foi incubado num tubo de ensaio em solução tampão de fosfato de potássio a $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ com pH 7,5 contendo $20 \mu\text{mol L}^{-1}$ de KNO_3 e 1% (v/v) de n-propanol, numa temperatura de 30°C em banho-maria, no escuro. Após 45 minutos de incubação, foi retirada uma alíquota de 0,4 mL para a análise de nitrito. A coloração foi obtida por

adição de 0,3 mL de sulfanilamida a 1% (p/v) em HCl a 3 mol L⁻¹ e 0,3 mL de N-(1-naftil)-etilenodiamino dihidroclórico a 0,02% (p/v), e a absorbância foi determinada a 540 nm para conversão a nitrito através da curva padrão, contendo de 0 a 50 µmol L⁻¹.

Nutrientes na Massa Seca: O tecido vegetal seco resultante da extração alcoólica foi moído manualmente a 30 mesh e levado à digestão sulfúrica. O N-protéico foi determinado por arraste de vapor e titulação em ácido bórico conforme descrição de Tedesco et al. (1995).

Para a análise estatística e elaboração de gráficos utilizaram-se os programas Microsoft Excel®, SigmaStat® e SigmaPlot® (SPSS Science, Chicago, IL).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.

A Figura 37 mostra os resultados de fitomassa da alface. A adição de amônio na solução nutritiva tanto contínua quanto em pequenas doses, não provocou a redução na produção de massa seca em qualquer das partes, folhas, caules e raízes das plantas. Apesar das folhas do tratamento com 20% do N na forma de amônio ter mostrado uma ligeira tendência à redução na produção de massa aos 54 DAS, essa diferença não foi significativa ao nível de 5%. O tratamento que recebeu duas doses de amônio também mostrou uma ligeira redução na massa seca ao 48 DAS, mas também não significativa. A redução na produção de fitomassa de tomateiros submetidos a grandes quantidades de N amoniacal foi observada por Claussen (2002) em relação ao N-NO₃⁻, cujos efeitos foram maiores quando o N-NH₄⁺ excedeu a 50% do N-total da solução. O efeito fitotóxico do amônio varia fortemente entre espécies que podem ser consideradas sensíveis tais como tomate, morango (Claussen & Lez, 2002) e alface, e aquelas menos sensíveis, cujo desenvolvimento pode ser normal em presença de amônio como única fonte de N, dentre elas as coníferas de climas temperados e o arroz (Kronzucker et al., 1999). Além da espécie, a habilidade da planta em superar os efeitos fitotóxicos do amônio está intimamente relacionada com o controle de pH. Hooten (1999) e Muhlestein (2001) não encontraram redução na produção de biomassa de trigo mesmo com frações altas de amônio em relação ao nitrato na solução quando o pH foi mantido sobre controle constante. Aparentemente, nos experimentos realizados em hidroponia podem-se conseguir bons resultados com adição de maiores quantidade de amônio pela possibilidade de controle efetivo do pH da solução.

Os dados de taxa de crescimento absoluto (TCA) e taxa de crescimento relativo (TCR) também não mostram diferenças significativas entre os tratamentos em nenhuma das épocas amostradas (Figura 38). O tratamento que recebeu duas doses de amônio apresentou médias de TCA e TCR menores tanto para a parte aérea quanto para o sistema radicular no período de 42 a 48 DAS, porém recuperou-se no último período, inclusive mostrando uma tendência a apresentar as maiores médias. Isso pode ser uma indicação do estímulo fisiológico provocado pela presença do amônio em solução, que num primeiro momento mostra uma redução de crescimento devido ao forte dreno de fotossintatos para a assimilação do NH₄⁺ absorvido. Porém, num segundo momento parece haver um estímulo metabólico tal que o crescimento tenha sido recuperado. Em

geral, ao longo do tempo houve redução na TCR, que indica uma decrescente eficiência de produtividade dos tecidos ao longo da ontogenia da planta (Hunt, 1978), o que é natural com o envelhecimento dos tecidos. Nesse caso, o uso contínuo de amônio parece ter acelerado esse efeito, que pode ser mais bem observado no período de 48 a 54 DAS.

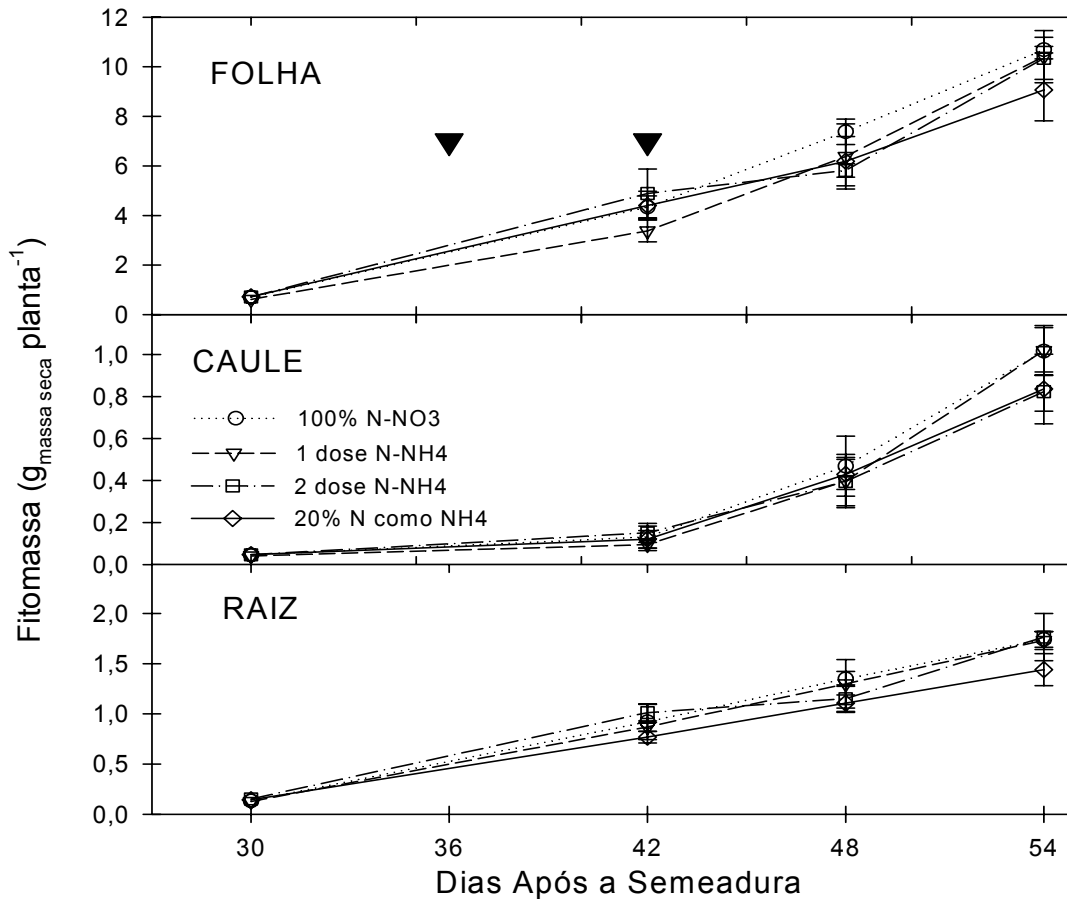


Figura 37. Produção de Fitomassa pela Alface Cultivada em Sistema Hidropônico – NFT com Adição de N-NH₄⁺ Contínua e Intermitentemente na Solução Nutritiva. Cada ponto representa a média de quatro repetições, as barras de erro indicam desvio padrão e o símbolo “▼” indica aplicação da dose de amônio.

A despeito do tratamento com 20% do N na forma amoniacal adicionado durante todo o cultivo ter promovido uma substancial redução na média da área foliar, em torno de 22%, em relação aos outros três tratamentos, essa diferença não foi significativa ao nível de 5% de significância (Figura 39). Essa menor área foliar parece estar mais relacionada com o espessamento do limbo foliar, indicada pela menor área foliar específica (parte inferior da Figura 39).

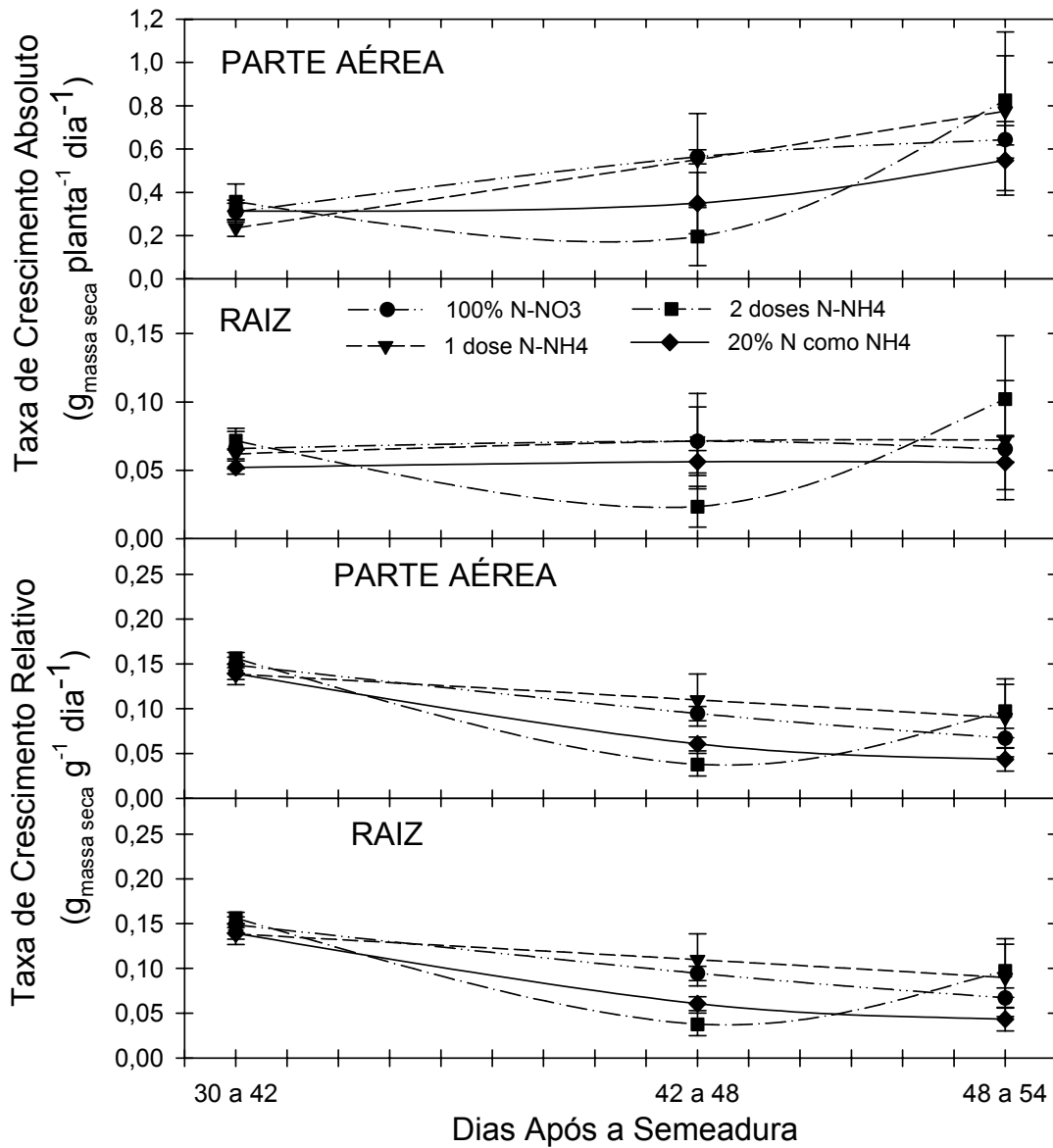


Figura 38. Taxas de Crescimento Absoluto e Relativo da Alface Cultivada em Sistema Hidropônico – NFT com Adição de N-NH_4^+ Contínua e Intermitentemente na Solução Nutritiva. Cada ponto representa a média de quatro repetições e as barras de erro indicam desvio padrão.

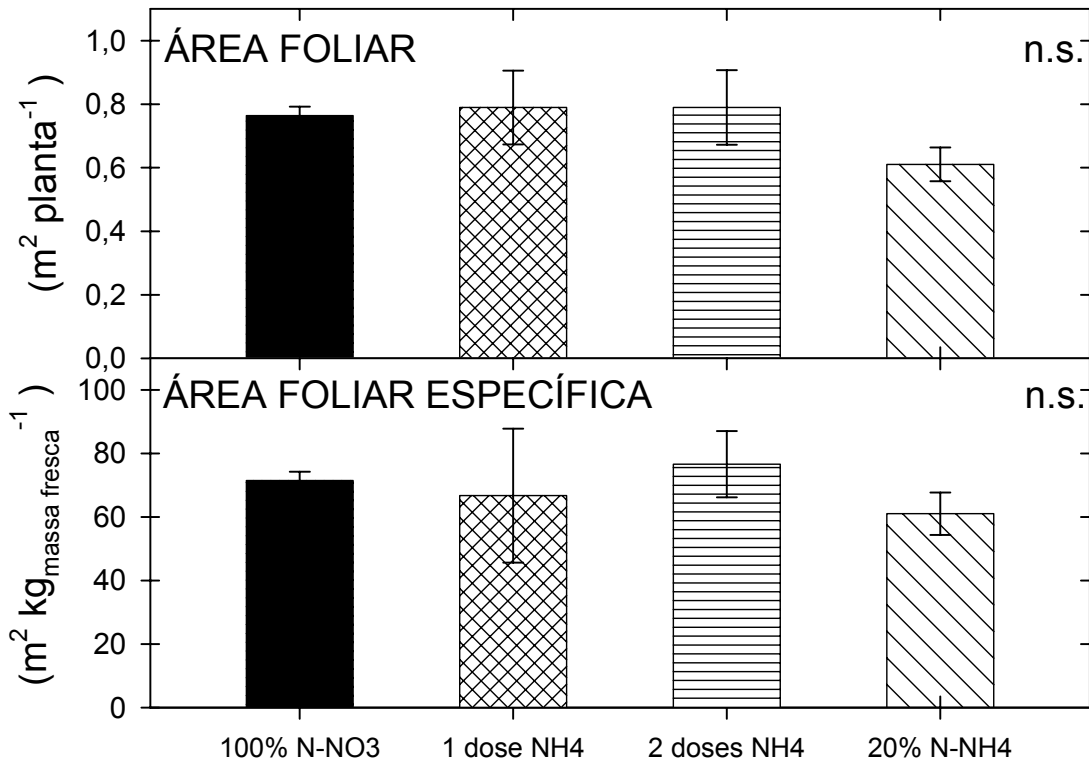


Figura 39. Área Foliar Total e Área Foliar Específica aos 54 DAS da Alface Cultivada em Sistema Hidropônico – NFT com Adição de N-NH₄⁺ Contínua e Intermitentemente na Solução Nutritiva. Cada barra representa a média de quatro repetições. As barras de erro indicam desvio padrão. “n.s.” indica que não há diferenças significativas entre os tratamentos.

O teor de N-total nos tecidos foliares variou de 6% com base na massa seca aos 30 DAS nos quatro tratamentos a 9% nos tratamentos 100% N-NO₃⁻, 1 dose de NH₄⁺ e 2 doses de NH₄⁺ aos 54 DAS. O tratamento com 20% de N-NH₄⁺ não teve o N-total alterado ao longo do cultivo, ou seja, a aplicação contínua de 20% do N na forma amoniacal na solução nutritiva promoveu a redução do N-total de 9 para 6% aos 54 DAS, quando comparado com o tratamento com 100% de N-NO₃⁻. No sistema radicular, entretanto, o N-total esteve em torno de 5,5% todo o tempo, sofrendo uma ligeira redução de 1,0 ponto percentual no tratamento 20% de N-NH₄⁺ e 0,5% nos outros três tratamentos aos 54 DAS (Figura 40). Os acréscimos de N-total nas folhas são causados exclusivamente pelo aumento de nitrato, pois o N-protéico manteve-se constante do início ao fim do experimento. Enquanto o N-protéico esteve na faixa de 5 a 6% em todos os tratamentos, especialmente na última coleta, onde os valores entre tratamentos se aproximaram mais, as médias de nitrato no tecido foliar cresceram de 0,8 a 4% com base na massa seca nos tratamentos 100% N-NO₃⁻ e 1 dose de NH₄⁺. Vale notar que o acúmulo de nitrato nos tecidos das plantas sob N nítrico cresceu linearmente ao longo da ontogenia da planta. Esse fato demonstra a importância da colheita antecipada do produto como uma forma adicional de redução do teor de nitrato na alface para o consumo humano. O uso de amônio constante na solução, tratamento 20% N-NH₄⁺, mostrou-se, indubitavelmente, como uma forma de manter os níveis de nitrato muito baixos nos tecidos das folhas, em torno de 1%. A aplicação de pequenas doses de

amônio, por outro lado, tem efeito efêmero na redução do acúmulo de nitrato, como mostra a aplicação da segunda dose de amônio (tratamento 2 doses de N-NH_4^+ , aos 42 DAS). Nesse caso, o nitrato foi mantido abaixo de 2% até a coleta dos 48 DAS e tornou a subir alcançando 3,7% aos 54 DAS, apenas 0,3% menos do que os tratamentos 100% N-NO_3^- e 1 dose de N-NH_4^+ , diferença essa não significativa ao nível de 5% de significância. O tratamento que recebeu apenas uma dose de amônio, aos 42 DAS, não se mostrou eficiente para reduzir o nitrato no tecido, provavelmente devido ao momento de maior velocidade de absorção e metabolismo das plantas, cuja rápida assimilação do N absorvido na forma nítrica não permitiu acúmulo acima de 2% nem mesmo no tratamento 100% N-NO_3^- . Em termos práticos, a aplicação de pequenas doses para a redução do nitrato nos tecidos das folhas seria efetiva se fosse efetuada seis dias antes da colheita, sem comprometer de qualquer maneira a produção de massa seca da parte aérea da planta. Ainda na Figura 40 observa-se que os teores de nitrato no caule foram maiores do que os foliares até os 42 DAS. A partir disso, houve um pequeno aumento do nitrato para os tratamentos 100% N-NO_3^- e 1 dose de NH_4^+ aos 48 DAS com uma redução aos 54 DAS, mostrando redistribuição desse nitrato para as folhas. A partir dos 42 DAS ocorreu redução de $\frac{1}{4}$ do nitrato no caule do tratamento 20% N-NH_4^+ . Provavelmente a redução na absorção de nitrato nesse tratamento provocou uma maior redistribuição do nitrato para as folhas, observado a partir da redução do N-total do caule. Ao longo do tempo, o teor de N-protéico decresceu no caule sem mostrar diferenças entre os tratamentos. Nas folhas, por outro lado, o teor de N-protéico não variou. Esses fatos revelam que o valor protéico na parte aérea da alface não sofre interferência da forma de nitrogênio disponibilizado às plantas. Em contrapartida, a redução do N-total no tratamento 20% NH_4^+ aos 54 DAS pode ser totalmente creditado à redução do acúmulo de nitrato.

A análise da atividade da nitrato redutase (ANR) mostrada na Figura 40 revelou que não houve grandes diferenças quanto à forma de N usada na nutrição da alface, apesar de alguns autores terem encontrado efeito da forma de N sobre a atividade da nitrato redutase (Bendix et al., 1982). O comportamento da ANR em todos os tratamentos indica uma lógica muito interessante. Nas folhas a ANR é muito baixa até os 43 DAS, quando cresce rapidamente e estabiliza-se após os 48 DAS, acompanhando o padrão de velocidade de absorção do NO_3^- da solução nutritiva. Nos caules, inversamente, a ANR é alta aos 30 DAS, sofrendo queda acentuada até os 42 DAS, quando tem um ligeiro aumento aos 43 DAS e volta a decrescer aos 48 DAS. A ANR é reconhecidamente um indicador de maior fluxo de nitrato pelo citossol, também chamado “pool” indutor, independente de seu conteúdo nos vacúolos, “pool” substrato (Ferrari et al., 1973). A maior ANR nos caules aos 30 DAS combina com o alto nível de N-NO_3^- , indicando que o fluxo de nitrato aí, nesse momento, é também alto, e que o nitrato absorvido em excesso está sendo armazenado no caule, que funcionaria como um tampão, ou órgão de acúmulo temporário, permitindo eventualmente a redistribuição desse nitrato para as folhas. Bendix et al. (1982) e Fernandes et al. (1985) mostraram que o rizoma de *Paspalum notatum* teria função semelhante ao caule da alface como tampão de acúmulo de nitrato. Cometti (2001) avaliou a ANR em vários tecidos da alface e encontrou alta atividade na parte externa do caule. Nas folhas, o aumento da ANR se dá a partir dos 43 DAS, quando a velocidade de acúmulo de nitrato é também aumentada, até os 48 DAS, quando, concomitantemente à ANR, a velocidade de

acúmulo de nitrato decresce. Nos caules, por sua vez, o aumento da ANR é maior exatamente no tratamento com 20% de $N-NH_4^+$, cuja remobilização do nitrato acumulado é maior, o que indicaria também maior fluxo de nitrato pelo citoplasma, proveniente da remobilização do nitrato acumulado nos vacúolos. De qualquer forma, o nitrato está presente na solução nutritiva em todos os tratamentos, o que mantém o fluxo de nitrato também constante em todas as plantas, apesar das diferenças entre tratamentos provocadas pela presença de amônio em solução. Isso indica que o aumento da ANR ocorre nos dois sentidos de fluxo de nitrato no citossol: da plasmalema para o vacúolo, durante o armazenamento, e do vacúolo para a plasmalema durante a remobilização do nitrato. O maior aumento da ANR nas folhas após a adição da dose de amônio no tratamento “2 doses de NH_4^+ ” aos 48 DAS dá uma indicação de que pequenas doses de amônio adicionadas à solução são indutoras da ANR devido à síntese "de novo" como controle de sua atividade (Li & Oaks, 1993). Aparentemente, a aplicação de pequenas doses de amônio induz ao aumento da síntese protéica, elevando, conseqüentemente o nível da nitrato redutase, que levaria ao aumento da ANR. Resultados semelhantes, com aplicação de pequenas doses de $N-NH_4^+$ foram obtidos em *Paspalum notatum* (Bendix et al., 1982) e em *Brachiaria* sp. (Fernandes et al., 1978).

As inserções nos gráficos da ANR da Figura 40 mostram uma ligeira redução na ANR de todos os tratamentos na folha, e um aumento no caule de 42 para 43 DAS. Esse efeito parece estar relacionado com as mudanças ambientais ocorridas a partir dos 42 DAS (Figura 41), cujas luminosidade e temperatura sofreram uma queda brusca aos 43 DAS. A ausência de luz pode provocar a queda na ANR, chegando a 60% dos níveis normais, como mostram os resultados de Gowri & Campbell (1989) em folhas verdes de milho. No presente trabalho, a queda da ANR nas folhas mostra sua sensibilidade ao fluxo de fótons fotossintéticos, o que não se observa no caule.

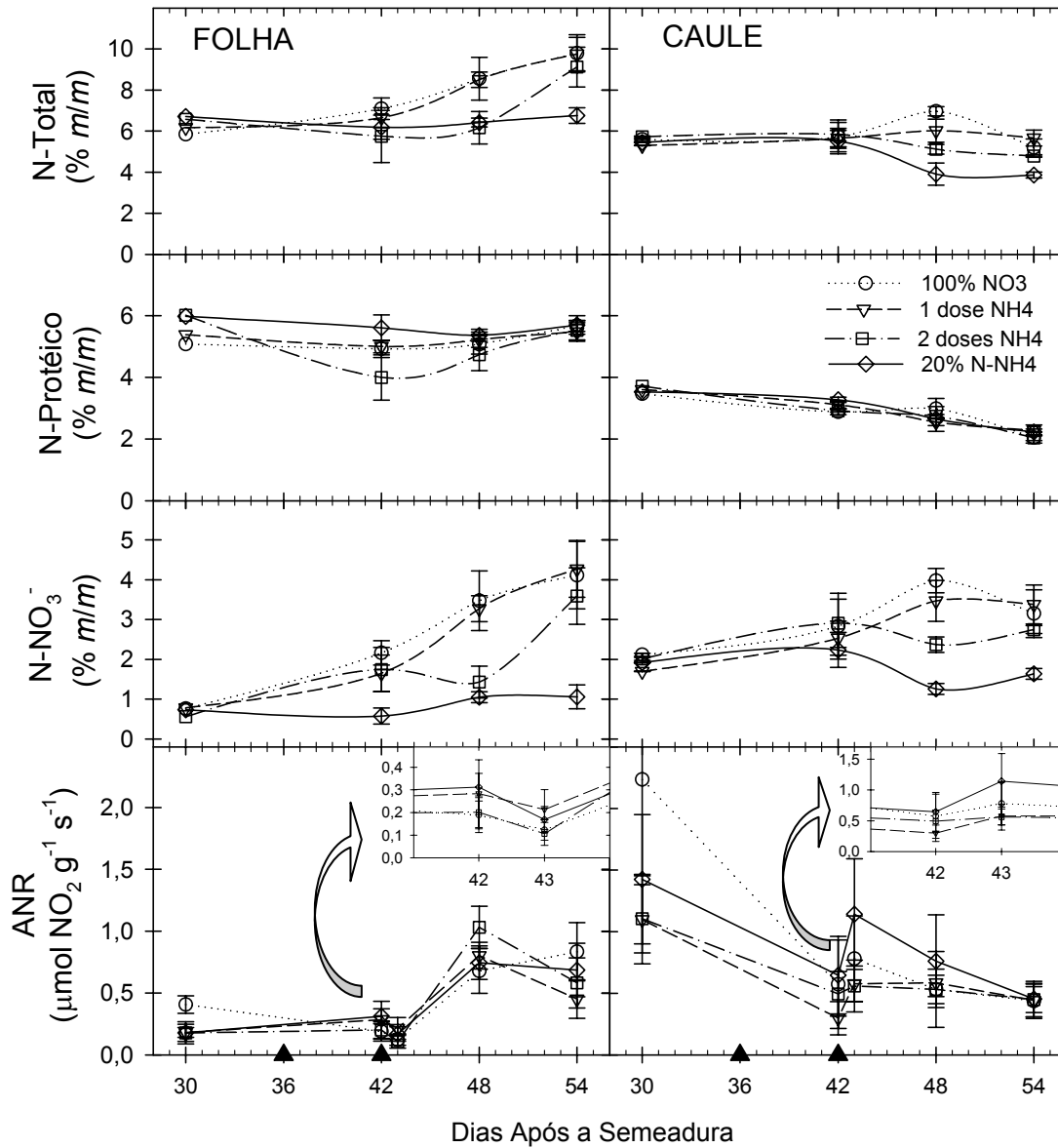


Figura 40. Teores de N-total, N-protéico e Nitrato, e Atividade da Nitrato Redutase (ANR) no Tecido da Alface Cultivada em Sistema Hidropônico – NFT com Adição de N-NH₄⁺ Contínua e Intermitentemente na Solução Nutritiva. Cada ponto representa a média de quatro repetições, as barras de erro indicam desvio padrão, o símbolo “▼” indica aplicação da dose de amônio e “m” significa “massa”.

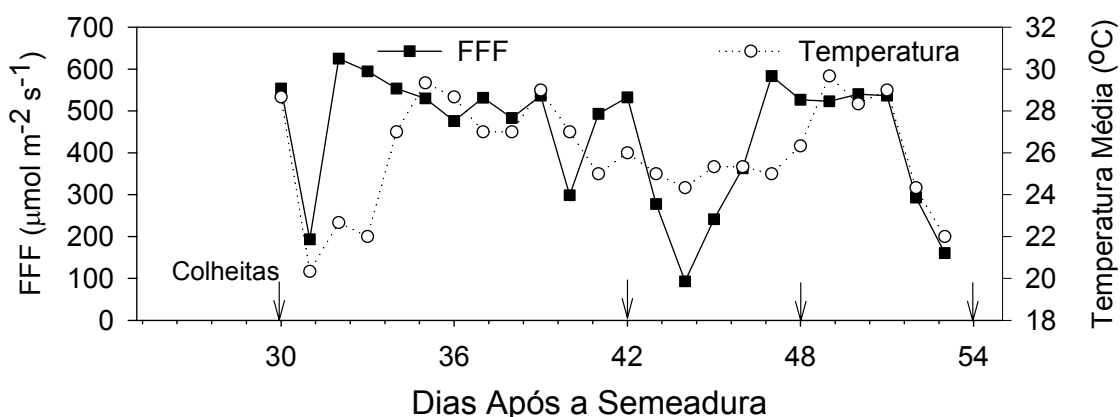


Figura 41. Temperatura e Fluxo de Fótons Fotossintéticos (FFF) Médios na Altura das Plantas de Alface Cultivadas em Casa de Vegetação num Sistema Hidropônico NFT. ▼ indica data de coleta.

O acúmulo de açúcares tanto nas folhas quanto nos caules decresceu ao longo do tempo (Figura 42) seguindo um padrão inverso ao do acúmulo de nitrato, que cresceu ao longo do tempo (Figura 40). Ainda na Figura 42 pode-se observar que os teores de açúcares solúveis nas folhas no tratamento 20% N-NH₄⁺ foram destacadamente superiores aos demais tratamentos. As correlações entre teor de açúcares solúveis e de nitrato tanto nas folhas quanto nos caules mostraram r² em torno de -0,7 a -0,8 para os tratamentos 100% N-NO₃⁻ e 1 dose de NH₄⁺, enquanto que para os outros tratamentos não houve correlação entre essas variáveis (dados não mostrados – ver apêndices 1 e 2). Aparentemente a depleção dos açúcares nas folhas está mais ligado ao processo de redução do nitrato, e subsequente assimilação, do que à demanda metabólica das raízes para a pronta assimilação do NH₄⁺ absorvido, visto que não houve diferenças entre os teores de aminoácidos livres e NH₄⁺ livre no tecido na parte aérea (Figura 42). O fato dos níveis de NH₄⁺ livre não mostrarem diferenças entre os tratamentos também é um indicador de que não ocorreu deaminação dos aminoácidos para fornecimento de esqueletos de carbono para a assimilação de NH₄⁺ no sistema radicular nos tratamentos que receberam amônio. O teor de aminoácidos também é um bom indicador de estresse fisiológico (Fernandes, 1974) e no presente experimento os teores encontrados indicam que os tratamentos com amônio não foram altos a ponto de provocar distúrbios metabólicos.

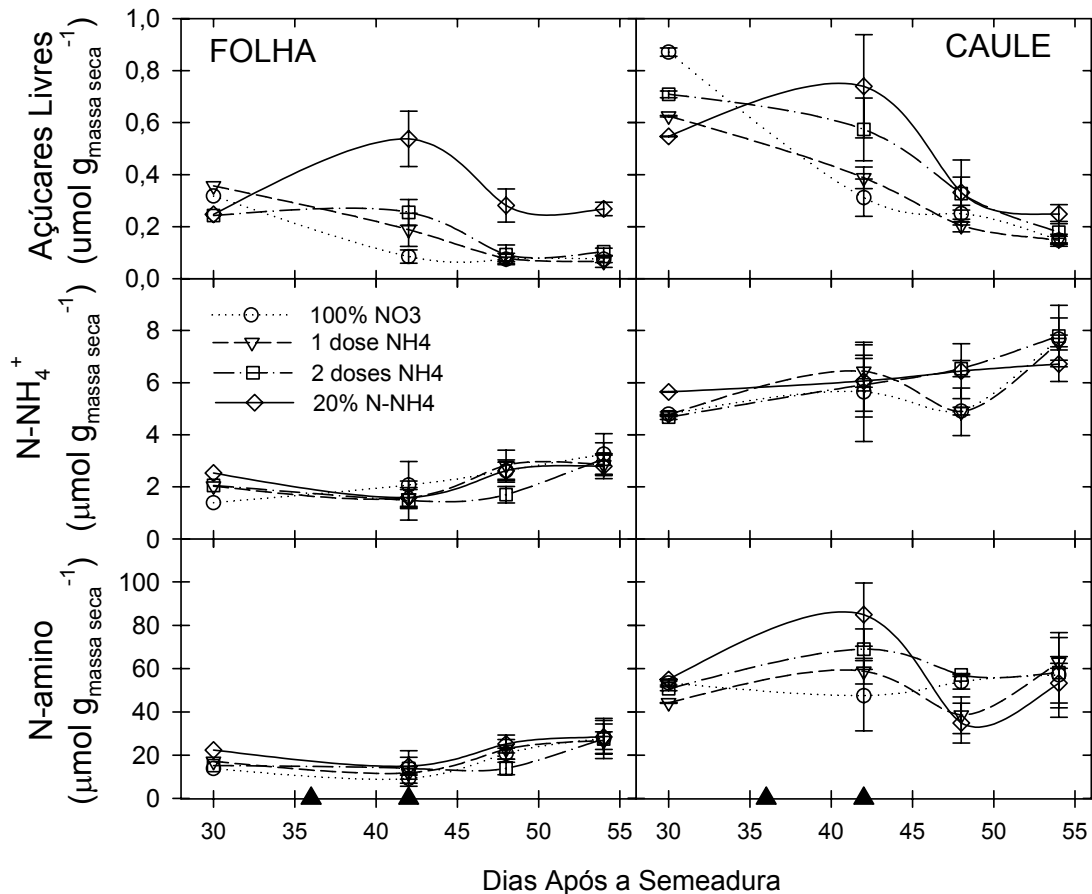


Figura 42. Teores de Açúcares Solúveis, N-NH₄⁺ e N-amino Livres no Tecido da Alfaca Cultivada em Sistema Hidropônico – NFT com Adição de N-NH₄⁺ Contínua e Intermitentemente na Solução Nutritiva. Cada ponto representa a média de quatro repetições, as barras de erro indicam desvio padrão e o símbolo “▼” indica aplicação da dose de amônio.

A Figura 43 mostra as variações dos nutrientes na solução nutritiva durante o experimento. Os resultados mostram que, três dias após a troca das soluções, praticamente todo o amônio já havia sido absorvido, em quaisquer dos tratamentos. Inclusive no tratamento 20% N-NH₄⁺, onde houve reposição diária de amônio na solução nutritiva, não foi detectado amônio na solução nutritiva ao final do terceiro dia, antes da adição da solução de ajuste. Enquanto a absorção de N-NO₃⁻ manteve-se constante, e similar nos quatro tratamentos, a absorção de amônio foi rápida, e não permitiu que houvesse uma linha de tendência de estabilização do amônio em solução. A absorção rápida e preferencial de NH₄⁺ em relação ao NO₃⁻ por algumas espécies de plantas é um fenômeno bem relatado por Fernandes & Rossiello (1995). A absorção do NH₄⁺ provocou uma forte redução no pH, que chegou a 3,7 no dia seguinte à troca da solução. Apesar da correção diária de pH, o tratamento 20% N-NH₄⁺ manteve o pH da solução nutritiva sempre abaixo de 4, que poderia trazer problemas tanto fisiológicos para a integridade das células radiculares quanto para a disponibilidade de nutrientes. Apesar de não ter sido feito o monitoramento constante de pH, sabe-se que o pH foi corrigido todos os dias à tarde para o valor de 5,5. Assim, provavelmente o efeito do pH abaixo de 4,0 não foi sentido pelas plantas por não permanecer constante nesses níveis

tão baixos. Por outro lado, esse efeito de redução do pH pode ser utilizado para fins de automação, onde a adição de pequenas doses de amônio ao longo do dia poderia manter o pH dentro de uma faixa aceitável para as plantas (Machado, 2000).

Apesar da absorção do amônio aparentemente não ter influenciado na absorção de nitrato, seu efeito foi claramente observado na redução da absorção de K (Figura 43). Em todos os períodos analisados, o potássio sofreu rápida depleção na solução dos tratamentos que não receberam amônio. Inversamente, manteve-se constante na solução nos tratamentos que receberam amônio. No penúltimo período de coleta, o tratamento que não recebeu amônio, e no de uma dose, sofreu depleção rápida. Por exemplo, após os 48 DAS o K só se manteve constante no tratamento 20% de N-NH₄⁺, enquanto em todos os outros, onde já não havia amônio em solução, o potássio foi rapidamente absorvido, passando de 100 mg L⁻¹ no ato da troca da solução aos 48 DAS para 20 mg L⁻¹ aos 53 DAS. Nas trocas das soluções dos 42 e 48 DAS, o potássio foi totalmente exaurido das soluções nos tratamentos que não receberam qualquer amônio no período. A redução na absorção de alguns íons por plantas submetidas à nutrição amoniacal é relatada por Marschner (1995). Ele afirma que é difícil explicar o efeito de redução da absorção de K⁺ por NH₄⁺ somente por competição por sítios de absorção iônica. Entretanto, a absorção de K⁺ está diretamente relacionada com a energia proveniente da respiração (Rains, 1967), que por sua vez depende da disponibilidade de açúcares que pode ser reduzida pelo seqüestro de esqueletos de carbono para a assimilação do NH₄⁺ absorvido pelas raízes (Marschner, 1995). Dessa forma, a presença de NH₄⁺ em solução reduz fortemente a absorção de K⁺.

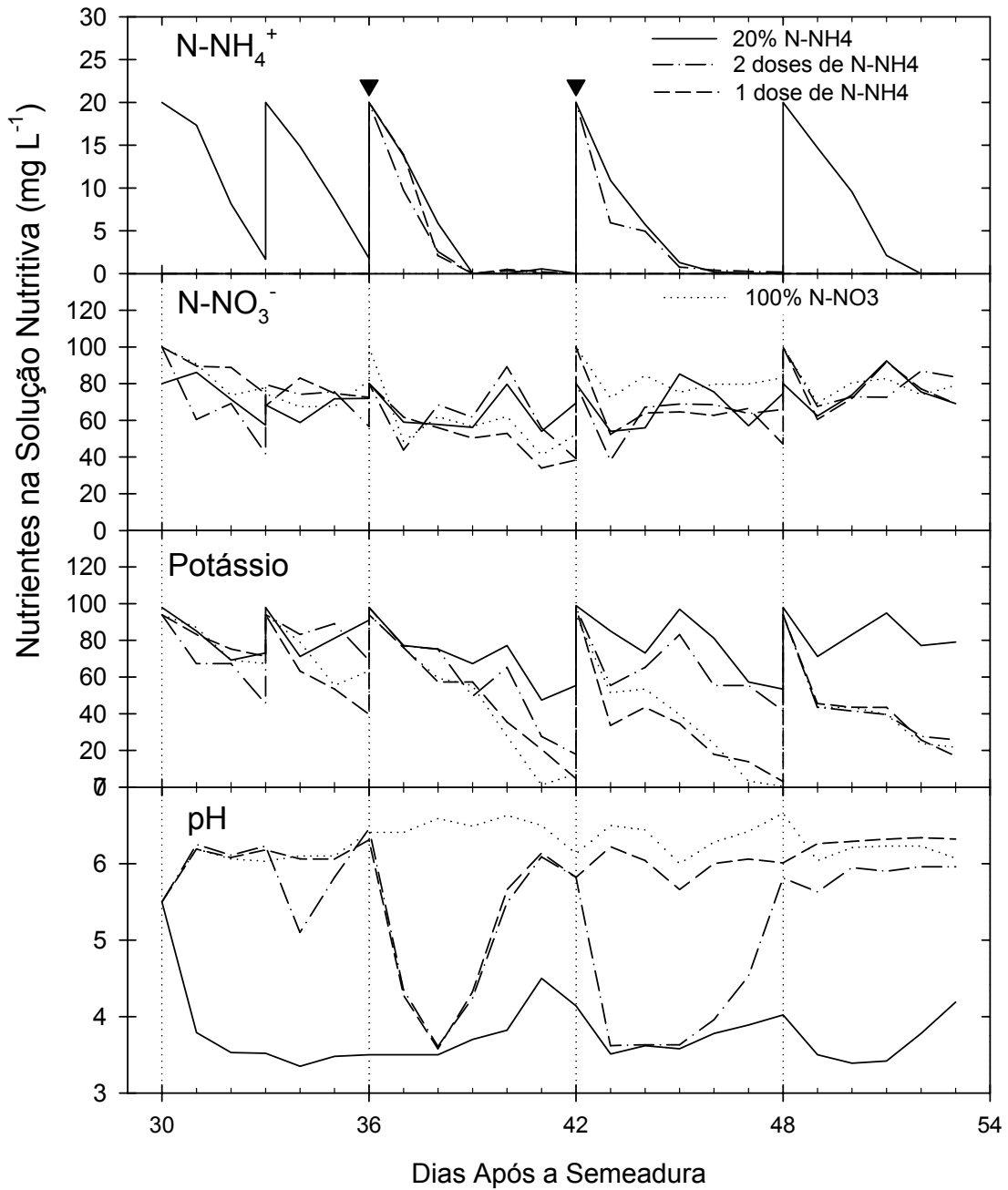


Figura 43. Amônio, Nitrato, Potássio e pH da Solução Nutritiva do Cultivo da Alface em Sistema Hidropônico – NFT com Três Tratamentos Quanto à Adição de Amônio na Solução Nutritiva. Linhas Verticais Pontilhadas Indicam Datas das Coletas. O Símbolo ▼ Indica a Data da Dose de Amônio.

4. CONCLUSÕES.

Embora a utilização de 20% do N na forma amoniacal na solução nutritiva não tenha provocado a redução significativa da massa seca produzida, essa proporção de N- $\text{NH}_4^+:\text{N-NO}_3^-$ pode ser perigosa para a utilização em cultivos hidropônicos comerciais por se encontrar no limite para o aparecimento de efeitos fitotóxicos do amônio, e assim provocar perda de produtividade da cultura. De qualquer forma, a utilização de 20% do N na forma de NH_4^+ é eficiente para manter baixo o nível de nitrato nos tecidos das folhas da alface.

A utilização de pequenas doses de amônio (20 mg L⁻¹ do N na forma de NH_4^+) seis dias antes da colheita da alface foram efetivos na redução do nível de nitrato, podendo ser efetuado em sistemas comerciais sem incorrer em riscos de perda de produtividade. Além disso, o uso de amônio constante ou intermitentemente não alterou o nível de N-protéico nos tecidos foliares.

A presença de amônio na solução nutritiva promoveu o rápido abaixamento do pH para valores em torno 3,5 a 3,7, sendo que após dois dias não havia mais presença do íon em solução. Nos tratamentos com doses descontínuas de amônio, o pH tornou a subir após a absorção do amônio. Isso indica o potencial da utilização de pequenas doses de amônio em sistema automatizado para o controle tanto de pH da solução quanto do acúmulo de nitrato no tecido da alface.

A absorção de amônio pelas plantas reduziu fortemente a absorção de potássio, cuja rápida depleção na solução nutritiva ocorreu apenas nos tratamentos e nos períodos onde não houve adição de amônio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARTA, D.J. Troubleshooting problems with leafy crops. In: ANNUAL CONFERENCE ON HYDROPONICS, 13., 1992, Orlando. **Proceedings...** Orlando, Florida: Hydroponic Society of America, 1992. p. 18-26.
- BENDIX, M.E.S.; FERNANDES, M.S.; ROSSIELLO, R.O.P. Aspectos de la nutrición nitrogenada de *Paspalum notatum* Flüggé, en respuesta a fuentes de nitrogeno e inhibición de nitrificación. **Turrialba**, v. 32, n. 1, p. 33-41, 1982.
- BUGBEE, B. Nutrient management in recirculating hydroponic culture. In: ANNUAL CONFERENCE ON HYDROPONICS, 16., 1995. Tucson. **Proceedings...** Tucson, Arizona: Hydroponic Society of America, 1995. p. 15-30.
- CAMPBELL, W.H. M.J. Nitrate reductase structure, function and regulation. **Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.**, Palo Alto, v. 50, p. 227-303, 1999.
- CARMELLO, Q. A. de C. **Cultivo protegido**: hidroponia, manejo e instalações. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 38., 1998. Petrolina: SOB, 1998. 43 p. (Apostila de Minicurso).
- CARRASCO, G.; IZQUIERDO, J.A. **A Média empresa hidropônica**: a técnica da solução nutritiva recirculante (“NFT”). Talca, Chile: Universidade de Talca/FAO, 1996. 91 p.
- CARRUTHERS, S. Ultraviolet light disinfection. **Practical Hydroponics & Greenhouses**, Melbourne, v. 38, p. 44-45, 1996.
- CASTELLANE, P.D.; ARAÚJO, J.A.C. **Cultivo sem solo – hidroponia**. 4. ed. Jaboticabal: FUNEP/UNESP, 1995. 43 p.
- CATALDO, D.A.; HAROON, M.; SCHRADER, L.E.; YOUNGS, V.L. Rapid colorimetric determination of nitrate in plant tissue by nitration of salicylic acid. **Commun. in Soil Sci. and Pant Anal.**, New York, v. 6, n. 1, p. 71-80, 1975.
- CHEN, X.G.; GASTALDI, C.; SIDDIQI, M.Y.; GLASS, A.D.M. Growth of a lettuce crop at low ambient nutrient concentrations: a strategy designed to limit the potential for eutrophication. **J. Plant Nutrition**, New York, v. 20, n. 10, p. 1403-17, 1997.
- CLAUSSEN, W. Growth, water use efficiency, and proline content of hydroponically grown tomato plants as affected by nitrogen source and nutrient concentration. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 00, p. 1-11, 2002.
- CLAUSSEN, W.; LENZ, F. Effect of ammonium or nitrate nutrition on net photosynthesis, growth, and activity of the enzymes nitrate reductase and glutamine synthetase in blueberry, raspberry and strawberry. **Plant Soil**, Dordrecht, v. 208, p. 95-102, 1999.

COLLIER, G.F.; TIBBITTS, T.W. Effects of relative humidity and root temperature on calcium concentration and tipburn development in lettuce (*Lactuca sativa*). **J. Am. Soc. Hortic. Sci.**, Alexandria, v. 109, n. 2, p. 128-131, 1984.

COMETTI, N.N.; FERNANDES, M.S.; MATIAS, G.C.S. Cinética de Absorção de Nitrato e Potássio por Alface em Sistema Hidropônico – NFT. In: FERTBIO2000, Santa Maria, 2000. **Anais...** Santa Maria: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000a. CD-Rom.

COMETTI, N.N.; FERNANDES, M.S.; MATIAS, G.C.S. Teores de N-amino livre, açúcares solúveis, nitrato e N-protéico nas várias partes da alface. In: FERTBIO2000, Santa Maria, 2000. **Anais...** Santa Maria: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000b. CD-Rom.

COMETTI, N.N.; MATIAS, G.C.S., FERNANDES, M.S. Efeito do nitrogênio amoniacal no acúmulo de nitrato, amônio, N-amino e açúcares livres na alface em cultivo hidropônico - sistema NFT. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FISILOGIA VEGETAL, 8., Ilhéus, 2001. **Anais...** Ilhéus: Sociedade Brasileira de Fisiologia Vegetal, 2001a. CD-Rom.

COMETTI, N.N.; MATIAS, G.C.S., FERNANDES, M.S. Variação da atividade da nitrato redutase nas diferentes partes da alface cultivada em hidroponia – sistema NFT. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 24., Londrina, 2001. **Anais...** Londrina: SBCS, 2001b.

DAVIES, C.W. **Ion association**. Butterworths: London, 1962.

DELHON, P.; GOJON, A.; TILLARD, P.; PASSAMA, L. Diurnal regulation of NO_3^- uptake in soybean plants. I. Changes in NO_3^- influx, efflux, and N utilization in the plant during the day/night cycle. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 46, n. 291, p. 1585-1594, 1995.

DOUGLAS, J. S. **Hidroponia**: cultura sem terra. São Paulo: Nobel, 1987. 144 p.

du PREEZ, D.R.; BATE, G.C. A simple method for the quantitative recovery of nitrate-N during Kjeldahl analysis of dry soil and plant samples. **Commun. in Soil Sci. and Pant Anal.**, New York, v. 20, n. 3 & 4, p. 345-357, 1989.

EMBRAPA - Embrapa Solos, Embrapa Informática Agropecuária. **Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes**. Brasília (DF), Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370 p.

FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A. E.; VILELA, L.A.A.. **Produção de alface em hidroponia**. Lavras: UFLA, 1996. 50 p.

FEIJIN, A.; PRESSMAN, E.; IMAS, P.; MILTAU, O. Combined effects of KNO_3 and salinity on yield and chemical composition of lettuce and chinese cabbage. **Irrigation Science**, Berlim, v. 12, p. 223-230, 1991.

FERNANDES, M.S. Effects of environmental stress on the relationship of free amino-N to fresh weight of rice plants. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 14, n. 11, p. 1151-1164, 1991.

FERNANDES, M.S. N-carriers, light and temperature influences on the free amino acid pool composition of rice plants. **Turrialba**, v. 33, n. 3, p. 297-301, 1983.

FERNANDES, M.S. & ROSSIELLO, O.P. Mineral nitrogen in plant physiology and plant nutrition. **Critical Reviews in Plant Sciences**, Boca Raton, v. 14, n. 2, p. 111-148, 1995.

FERNANDES, M.S. Efeitos de fontes e níveis de nitrogênio sobre a absorção e assimilação de N em arroz. **Rev. Bras. Fisiol. Vegetal**, v. 2, n. 1, p. 1-6, 1990.

FERNANDES, M.S. **Effects of light and temperature on the nitrogen metabolism of tropical rice**. 1974. Tese (Ph.D. em Nutrição de Plantas) - Michigan State University, Michigan.

FERNANDES, M.S.; FERREIRA, M.B.; FREIRE, L.R. Efeitos da interação de N-NO_3^- e NH_4^+ na atividade da nitrato redutase e acumulação de N-protéico em *Brachiaria* sp. **Turrialba**, v. 28, n. 3, p. 187-91, 1978.

FERNANDES, M.S.; ROSSIELLO, R.O.P.; BENDIX, M.E.S. Effects of N-Source, light intensity and temperature on nitrogen metabolism of bahiagrass. **J. Plant Nutrition**, New York, v. 8, n. 10, p. 945-963, 1985.

FERNANDES, P.D.; OLIVEIRA, G.D. de; HAAG, H.P. Nutrição mineral de hortaliças. XIV. Absorção de macronutrientes pela cultura da alface. **Revista "O solo"**, ano 63, p. 7-10, 1971.

FERNANDES, P.D.; OLIVEIRA, G.D. de; HAAG, H.P. Nutrição mineral de hortaliças: absorção de macronutrientes pela cultura da alface. In: HAAG, H.P.; MINAMI, K. (Ed.). **Nutrição mineral em hortaliças**. Campinas, SP: Fundação Cargill, 1981. p. 143-151.

FERRARI, T.E.; YODER, O.C.; FILNER, P. Anaerobic nitrite production by plant cells and tissues: evidence for two nitrate pools. **Plant Physiol.**, Rockville, v. 51, p. 423-31, 1973.

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

FURLANI, P.R. **Instruções para o cultivo de hortaliças de folhas pela técnica de hidroponia -NFT**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1997. 30 p. (Boletim técnico, 168).

- FURLANI, P.R.; SILVEIRA, L.C.P.; BOLONHEZI, D.; FAQUIN, V. **Cultivo hidropônico de plantas**. Campinas: Instituto Agronômico, 1999. 52 p. (Boletim técnico, 180).
- GARCIA, L.L.C.; HAAG, H.P.; DIEHL NETO, W. Nutrição mineral de hortaliças: deficiências de macronutrientes em alface (*Lactuca sativa* L.) cv. Brasil 48 e Clause's Aurélia. In: HAAG, H.P.; MINAMI, K. (Ed.). **Nutrição mineral em hortaliças**. Campinas, SP: Fundação Cargill, 1988a. p. 77-99.
- GARCIA, L.L.C.; HAAG, H.P.; MINAMI, K.; DECHEN, A.R. Nutrição mineral de hortaliças. XLIX. Concentração e acúmulo de macronutrientes em alface (*Lactuca sativa* L.) cv. Brasil 48 e Clause's Aurélia. **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, Piracicaba, v. 39, p. 455-484, 1982a.
- GARCIA, L.L.C.; HAAG, H.P.; MINAMI, K.; DECHEN, A.R. Nutrição mineral de hortaliças: concentração e acúmulo de macronutrientes em alface (*Lactuca sativa* L.) cv. Brasil 48 e Clause's Aurélia. In: HAAG, H.P.; MINAMI, K. (Ed.) **Nutrição mineral em hortaliças**. Campinas, SP: Fundação Cargill, 1988b. p. 123-151.
- GARCIA, L.L.C.; HAAG, H.P.; MINAMI, K.; SARRUGE, J.R. Nutrição mineral de hortaliças. XL. Concentração e acúmulo de micronutrientes em alface (*Lactuca sativa* L.) cv. Brasil 48 e Clause's Aurélia. **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, Piracicaba, v. 39, p. 485-504, 1982b.
- GOMES, F.P. **A estatística moderna na pesquisa agropecuária**. Piracicaba: POTAFOS, 1984. 160 p.
- GOWRI, G.; CAMPBELL, W.H. cDNA clones for corn leaf NADH: nitrate reductase and chloroplast NAD(P)⁺:glyceraldehydes-3-phosphate dehydrogenase. **Plant Physiol.**, Rockville, v. 90, p. 792-798, 1989.
- HEWITT, E.J. Assimilatory nitrate-nitrite reduction. **Annu. Rev. Plant. Physiol.**, Palo Alto, v. 26, p. 73-100, 1975.
- HOAGLAND, D.R.; ARNON, D.I. **The water-culture method for growing plants without soil**. Berkeley, CA: Agric. Exp. Stn., Univ. of California, 1950. (Circ. 347).
- HOOTEN, T.M. **Ammonium and nitrate effects on growth, development and nutrient uptake of hydroponic wheat**. 1999. Tese (Mestrado em Plant Science) – Utah State University, Logan, UT. 161 p.
- HUETT, D.O. Growth, nutrient uptake and tipburn severity of hydroponic lettuce in response to electrical conductivity and K:Ca ratio in solution. **Aust. J. Agric. Res.**, Melbourne, v. 45, p. 251-267, 1994.
- HUNT, R. **Basic growth analysis**. London: Unwin Hyman, 1990. 112 p.

HUNT, R. **Plant growth analysis**. London: Edward Arnold, 1978. 67 p. (Institute of Biology's Studies in Biology, 96)

IBGE. Sistema IBGE de Recuperação Automática – SIDRA. IBGE, 1996. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/tabela/protabl.asp?z=t&o=1>>. Acesso em: 5 dez. 2002.

IBGE: mapa da potencialidade agrícola dos solos do Brasil. In: Atlas Nacional do Brasil. Rio de Janeiro: IBGE, 1992. 1 mapa, color., 10,57 x 12,71 cm. Escala: 1: 22.000.000. Disponível em: <http://www2.ibge.gov.br/pub/Cartas_e_Mapas/Mapas_Tematicos/potencialidade_agricola_dos_solos.zip>. Acesso em: 22 jan. 2003.

IEPEREN, van W. Effects of different day and night salinity levels on vegetative growth, yield and quality of tomato. **J. Hort. Sci.**, Kent, v. 71, p. 99-111, 1996.

JONES Jr., J. B. **A guide for the hydroponic & soilless culture grower**. Portland: Timber Press, 1983. 124 p.

JONES Jr., J. B. **Kjeldahl method for nitrogen determination**. Athens, GA: Micro-Macro Publishing, Inc., 1991.

JONES, J.B.; WOLF, B.; MILLS, H. **Plant analysis handbook**. Athens, GA: Micro-Macro Publishing, Inc., 1991.

KAFKAFI, U. Root temperature, concentration and the ratio $\text{NO}_3^-/\text{NH}_4^+$ effect on plant development. **J. Plant Nutrition.**, New York, v. 13, n. 10, p. 1291-306, 1990.

KALRA, Y.P. (Ed.) **Handbook of reference methods for plant analysis**. Boca Raton, FL: CRC Press, 1998. 300 p.

KNIGHT, S.L. & MITCHELL, C.A. Enhancement of lettuce yield by manipulation of light and nitrogen nutrition. **J. Amer. Soc. Hort. Sci.**, Alexandria, v. 108, p. 750-754, 1983.

KRONZUCKER, H.J.; SIDDIQI, M.Y.; GLASS, A.D.M.; KIRK, G.J.D. Nitrate-ammonium synergism in rice. A subcellular flux analysis. **Plant Physiol.**, Rockville, v. 119, p. 1041-1045, 1999.

LI, X.Z.; OAKS, A. Induction and turnover of nitrate reductase in *Zea mays*. **Plant Physiol.**, Rockville, v. 102, p. 1251-7, 1993.

LYNCH, J. Root architecture and plant productivity. **Plant Physiol.**, Rockville, v. 109, p. 7-13, 1995.

MACHADO, P.P. da C. **Sistema Computadorizado para a Leitura de Fatores Ambientais e Controle da Qualidade da Solução Nutritiva no Cultivo Hidropônico**

em Casa de Vegetação. 2000. Tese (Ph.D. em Agronomia) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants.** 2 ed. New York: Acad. Press, 1995. 889 p.

MARTINEZ, H.E.P. **Formulação de Soluções Nutritivas para Cultivos Hidropônicos Comerciais.** Jaboticabal: FUNEP, 1997. 31 p.

MARTINS, L.R.; COMETTI, N.N.; MATIAS, G.C.S.; MACHADO, P.P.C.; ZONTA, E.; FERNANDES, M.S. Efeito de amônio e nitrato usado num sistema computadorizado de controle de pH sobre o crescimento da alface em sistema hidropônico NFT. In: FERTBIO2002, Rio de Janeiro, 2002. **Anais...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. CD-Rom.

MATIAS, G. C. S.; COMETTI, N.C.; FERNANDES, M.S. Variação na produção de massa seca de *Lactuca sativa* L. cultivada com diferentes níveis de força iônica em sistema hidropônico NFT. In: JORNADA de INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UFRRJ, 12., Seropédica, 2002. **Resumos...** Seropédica, RJ: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2002.

MATIAS, G. C. S.; COMETTI, N.C.; FERNANDES, M.S. Efeito do nitrogênio amoniacal no crescimento da alface em cultivo hidropônico - sistema NFT. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FISILOGIA VEGETAL, 8., Ilhéus, 2001. **Anais...** Ilhéus: Sociedade Brasileira de Fisiologia Vegetal, 2001. CD-Rom.

MATIAS, G. C. S.; COMETTI, N.C.; FERNANDES, M.S. Teores de N-Kjeldahl, P-Total e K-Total nas diferentes partes da alface crespa em três sistemas de cultivo. In: FERTBIO2000, Santa Maria, 2000. **Anais...** Santa Maria: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. CD-Rom.

MAYNARD, D.N.; BARKER, A.V.; MINOTTI, P.L.; PECK, N.H. Nitrate accumulation in vegetables. **Advances in Agronomy**, New York, v. 28, p. 71-118, 1976.

MIFLIN, B.J.; LEA, P.J. Amino acid metabolism. **Ann. Rev. Plant Physiol.**, Palo Alto, v. 28, p. 299-329, 1977.

MORAES, C. A. G. de. **HIDROPONIA** - Como cultivar tomates em sistema NFT (Técnica do Fluxo de Nutrientes). 1. ed. Jundiaí: DISQ Editora, 1997.

MUHLESTEIN, D.J. **Effects of high ammonium/nitrate ratios on nitrification and growth of wheat in hydroponic culture.** 2001. Tese (Mestrado em Plant Science) – Utah State University, Logan, UT. 134 p.

NELSON, D.W.; SOMMERS, L.E. Determination of total nitrogen in plant material. **Agron. J.**, v. 65, p. 109-112, 1973.

- NORMAN, R.J. & STUCKI, J.W. The determination of nitrate and nitrite in soil extracts by ultraviolet spectrophotometry. **Soil Sci. Soc. Am. J.**, v. 45, p. 347-353, 1981.
- OHSE, S.; DOURADO-NETO, D.; MANFRON, P.A.; SANTOS, O. S. dos. Qualidade de cultivares de alface produzidos em hidroponia. **Scientia Agrícola**, v. 58, n.1, p. 181-185, 2001.
- OHSE, S.; DURANTE, E. Qualidade nutricional da alface. In: SANTOS, O. S. dos (Ed.). **Hidroponia da Alface**. Santa Maria: UFSM, 1998. p. 72-85.
- PATE, J.S. Transport of nitrogen. **Ann. Rev. Plant Physiol**, v. 31, p. 313-40, 1980.
- PEREIRA, N.N.C.; FERNANDES, M.S.; ALMEIDA, D. L. de. Adubação nitrogenada na cultura da alface: fontes de N e inibidos da nitrificação. **Pesq. agropec. bras.**, v. 24, n. 6, p.647-654, 1989.
- RADFORD, P.J. Growth analysis formulae – their use and abuse. **Crop Science**, Madison, v. 7, p. 107-115, 1967.
- RAINS, D.W. Light-enhanced potassium absorption by corn leaf tissue. **Science**, Washington, v. 156, p. 1382-1383, 1967.
- RAO, K. P. & RAINS, W. Nitrate absorption by barley. **Plant Physiol.**, Rockville, v. 57, p. 55-58, 1976.
- RAVEN, J. A.; WOLOLENWEBER, B.; HANDLEY, L.L. A comparison of ammonium and nitrate as nitrogen sources for photolithotrophs. **New Phytol.**, Cambridge, v. 121, p. 19-32, 1992.
- RESH, H.M. **Hydroponic food production**. 6 ed. Califórnia, EUA: Woodbridge Press, 2002. 567 p.
- ROCHA, J. das D. de S.; COMETTI, N.N.; MARY, W.; MATIAS, G.C.S.; ZONTA, E. Avaliação de pré-tratamentos em espuma fenólica para produção de mudas de alface. In: FERTBIO2000, Santa Maria, 2000. **Anais...** Santa Maria: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. CD-Rom.
- ROORDA van EYSINGA, J.P.N.L. & SMILDE, K.W. **Nutritional disorders in glasshouse tomatoes, cucumbers and lettuce**. Wageningen, Holanda: Centre for agricultural publishing and documentation, 1981. 56 p.
- SANTOS, O. S. dos. Conceito e histórico. In: SANTOS, S. dos S. (Ed.). **Hidroponia da alface**. Santa Maria: UFSM, 1998a. p. 1-3.
- SANTOS, O. S. dos. Soluções nutritivas. In: SANTOS, S. dos S. (Ed.). **Hidroponia da alface**. Santa Maria, RS: UFSM, 1998b. p. 72-85.

SANTOS, O.; MANFRON, P.; MENEZES, N.; OHSE, S.; SCHMIDT, D.; MARODIN, V.; NOGUEIRA, H.; VIZZOTO, M. **Cultivo hidropônico da alface**. I. Teste preliminar de soluções nutritivas. Santa Maria: UFSM, 1998. 7 p. (Informativo Técnico, 02/98).

SASAKI, J.L.S. **Hidroponia**. In: SEMANA DA AGRONOMIA, 9., 1992, Ilha Solteira. **Palestras ...**, Ilha Solteira: UNESP, 1992. 9 p.

SCHIPPERS, P.A. Practical aspects to fertilization and irrigation systems. ANNUAL CONFERENCE ON HYDROPONICS, 12., 1991, St. Charles. **Proceedings...**, St. Charles, Illinois: Hydroponic Society of America, 1991. p. 14-24.

SCHMIDT, D. & SANTOS, S. dos S. Cultivares da alface. In: SANTOS, S. dos S. (Ed.). **Hidroponia da alface**. Santa Maria: UFSM, 1998. p. 72-85.

SCHWARZ, M. Carbon balance in saline solutions in hydroponics. ANNUAL CONFERENCE ON HYDROPONICS, 9., 1988, San Francisco. **Proceedings ...** San Francisco, CA: Hydroponic Society of America, 1988. p. 40-43.

SGARBIERI, V.C. **Alimentação e nutrição**: fator de saúde e desenvolvimento. Campinas: Editora da UNICAMP, 1987. 387 p.

SIDDIQI, M.V.; KRONZUCKER, H.J.; BRITTO, D.T.; GLASS, D.M. Growth of a tomato crop at reduced nutrient concentrations as a strategy to limit eutrophication. **J. Plant Nutrition**, New York, v. 21, n. 9, p. 1879-95, 1998.

SIDDIQI, M.Y.; GLASS, A.D.M.; RUTH, T.J.; RUFTY, T.W. Studies of the uptake of nitrate in barley: I. Kinetics of $^{13}\text{NO}_3^-$ influx. **Plant Physiol.**, Rockville, v. 93, p. 1426-1432, 1990.

SIMONNE, E.H.; HARRIS, C.E.; MILLS, H.A.. Does the nitrate fraction account for differences between Dumas-N and Kjeldahl-N values in vegetables leaves? **J. of Plant Nutrition**, New York, v. 21, n. 12, p. 2527-2534, 1998.

SIMONNE, E.H.; MILLS, H.A.; JONES, J.B. Jr.; SMITTLE, D.A.; HUSSEY, C.G. A comparison of analytical methods for nitrogen analysis in plant tissues. **Commun. in Soil Sci. and Pant Anal.**, New York, v. 25, n. 7 & 8, p. 943-54, 1994.

SOLOMONSON, L. P.; BARBER, M.J. Assimilatory nitrate reductase: funcional properties and regulation. **Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.**, Palo Alto, v. 41, p. 225-53, 1990.

SPOSITO, G. & MATTIGOD, S.V. **GEOCHEM**: a computer program for the calculation of chemical equilibria in soil solution and other natural water systems. Riverside, CA: Kearney Found. Soil Sci./Univ. of California, 1980.

STEUDLE, E. Water uptake by plant roots: an integration of views. **Plant and Soil**, Dordrecht, v. 226, p. 45-56, 2000.

SWIADER, J.M. & FREIJI, F.G. Characterizing Nitrate Uptake in Lettuce Using Very-Sensitive Ion Chromatography. **J. Plant Nutrition**, New York, v. 19, n. 1, p. 15-27, 1996.

TAIZ, L. & ZEIGER, E. **Plant physiology**. 3. ed. Sunderland, USA: Sinauer Associates, 2002. 690 p.

TAUB, D.R. Analysis of interspecific variation in plant growth responses to nitrogen. **Can J. Bot.**, Ottawa, v. 80, p. 34-41, 2002.

TEDESCO, J.M.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKSWEISS, S.J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2. ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174 p. (Boletim Técnico, 5).

TEIXEIRA, N.T. **Hidroponia** – uma alternativa para pequenas áreas. Guaíba: Agropecuária, 1996. 86 p.

VAN DER BOON, J.; STEENHUIZEN, J.W.; STEINGRÖVER, E.G. Growth and nitrate concentration of lettuce as affected by nitrogen and chloride concentration, $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ ratio and temperature of the recirculating nutrient solution. **Journal of Horticultural Science**, Kent, v. 65, n. 3, p. 309-321, 1990.

VIDMAR, J.J.; ZHUO, D.; SIDDIQI, M.Y.; SCHJOERRING, J.K.; TOURAINE, B.; GLASS, A.D.M. Regulation of high-affinity nitrate transporter genes and high-affinity nitrate influx by nitrogen pools in roots of barley. **Plant Physiol.**, Rockville, v. 123, p. 307-318, 2000.

WANG, M.Y.; SIDDIQI, M.Y.; RUTH, T.J.; GLASS, A.D.M. Ammonium uptake by rice roots. **Plant Physiol.**, Rockville, v. 103, p. 1259-1267, 1993.

WEATHERBURN, M.W. Phenol-hypochlorite reaction for determination of ammonia. **Analytical Chemistry**, v. 39, n. 8, p. 971-974, 1967.

WHEELER, E.F. **Nitrate Uptake and Plant Growth as Influenced by Light and Nitrate Nutrition**. 1995. Dissertação (Ph.D.) - Cornell University, Cornell.

WICKENS, L.K.; CHEESEMAN, J.M. Application of growth analysis to physiological studies involving environmental discontinuities. **Physiol. Plant.**, v. 73, p. 271-277, 1988.

WRIGHT, M.J.; DAVISON, K.L. Nitrate accumulation in crops and nitrate poisoning in animals. **Advances in Agronomy**, New York, v.16, p. 197-274, 1964.

YEMM, E.W. ;WILLIS, A.J. The estimation of carbohydrates in plant extracts by anthrone. **Biochem. J.**, v. 57, p. 508-514, 1954.

YEMM, E.W.; COCKING, E.C. The determination of amino-acids with ninhydrin. **Analyst**, v. 80, p. 209-213, 1955.

YEOH, H.H.; TRUONG, V.D. Protein contents, amino acid compositions and nitrogen-to-protein conversion factors for cassava roots. **J. Sci. Food Agric.**, v. 79, p. 51-54, 1996.

ZANOTELLI, M. F. & MOLINO, J.A. **Hidroponia básica** – treinamento. ENCONTRO DE PRODUTORES RURAIS, 6., 1997. Colatina: EAF-Col, 1997. 6 p. (Apostila).

APÊNDICES

Apêndice 1. Estudo dos métodos de análises de metabólitos e elementos importante no metabolismo da alface utilizados no experimento do Capítulo I.

Aparentemente, os métodos de análises se adequaram aos objetivos propostos. No entanto, algumas considerações devem ser feitas. O método utilizado para a análise de N-amino, com ninidrina, é bastante rápido e preciso, pois o CV da variável em todo o experimento foi de 15%, um valor aceitável. Para a utilização do método da ninidrina, descrito por Yemm & Cocking (1955), devem ser guardadas algumas precauções. A primeira delas é a periculosidade do cianeto de potássio, que deve ser manuseado cuidadosamente. Sua mistura com ninidrina deve ser realizada preferencialmente no dia anterior às análises, sob pena de redução da mesma. Porém, o principal cuidado deve ser tomado na correta utilização do binômio tempo x temperatura, pois pequenas variações podem levar a resultados diferentes, como pode ser comprovado na Figura 44. Aparentemente, a utilização de um tempo variando de 15 a 20 minutos com a temperatura de 100° C é o ideal, pois apresentam coeficiente de determinação máxima e coeficiente semelhantes para o ajuste da curva padrão (Tabela 10). Tempo em banho-maria superior a 20 minutos parece causar grandes desvios na curva, provavelmente devido à evaporação mais intensa da amostra. Para que se tenha segurança, a cada bateria em banho-maria é fundamental que haja pelo menos 3 pontos da curva.

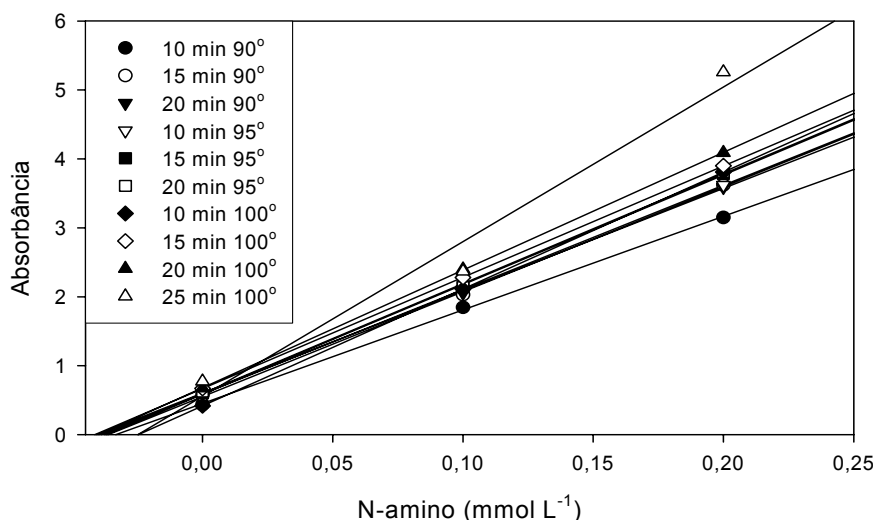


Figura 44. Curvas de calibração de três pontos para análise de N-amino, com variação da temperatura e do tempo, para a reação em “banho maria” – método descrito por Yemm & Cocking (1955).

Para a análise de N-nitrato e N-amônio, os métodos utilizados foram aparentemente adequados (CV=10% para o N-nitrato). Para N-nitrato, o método descrito por Cataldo et al. (1975), tem sido amplamente utilizado. Uma restrição ao método é a instabilidade do ácido salicílico, que deve ser preparado diariamente. Apesar do método manter linearidade na preparação das curvas padrões, há perda de sensibilidade a partir de 24 horas da preparação do ácido salicílico em ácido sulfúrico concentrado. Vários métodos para determinação colorimétrica de N-nitrato e N-amônio

têm sido propostos. Para N-nitrato, o método mais promissor parece ser espectrofotometria de ultravioleta, cujo principal fator limitante são os interferentes, principalmente matéria orgânica. Há no entanto, propostas simples que podem tornar o método bastante consistente para utilização como método de rotina (Norman & Stucki, 1981).

Tabela 10. Curvas Padrões de N-amino sob Variações de Tempo e Temperatura de Reação em Banho-Maria – método descrito por Yemm & Cocking (1955).

Tempo (minuto)	Temperatura (°C)	Ajuste Linear†	r ²
10	90	ABS = 4,53 * N-amino + 0,1508	0,999
15	90	ABS = 5,07 * N-amino + 0,1842	0,999
20	90	ABS = 4,95 * N-amino + 0,2011	0,999
10	95	ABS = 5,05 * N-amino + 0,1967	1
15	95	ABS = 5,30 * N-amino + 0,1956	0,999
20	95	ABS = 5,31 * N-amino + 0,1997	0,999
10	100	ABS = 5,65 * N-amino + 0,1392	1
15	100	ABS = 5,38 * N-amino + 0,2228	1
20	100	ABS = 5,69 * N-amino + 0,2269	1
25	100	ABS = 7,48 * N-amino + 0,1858	0,973

ABS – Absorbância; N-amino – padrão de leucina (mmol L⁻¹).

† - Ajuste de três repetições.

O método de determinação de açúcares solúveis por antrona (Yemm & Willis, 1954) mostra-se um método bastante sensível a erros, visto que o CV foi de 41%. O maior cuidado deve ser na utilização de gelo antes da adição da amostra ao reagente de antrona, a fim de evitar a caramelização dos açúcares da amostra. Devido à instabilidade da antrona em meio ácido, esta deve ser preparada diariamente. De qualquer forma, o método parece estar bastante sujeito a interferentes em amostras extraídas de tecidos de plantas.

Com relação ao N-Kjeldahl, a digestão sulfúrica não consegue recuperar todo o nitrogênio em amostras contendo altos valores de N-nitrato. Para recuperá-lo, há várias propostas tais como a determinação pelo método Dumas, visto que o N-Kjeldahl recupera apenas em torno de 75 a 85% do N-Dumas (Simonne et al., 1994; Simonne, et al., 1998). A digestão sulfúrica não é efetiva na redução de compostos contendo N-heterocíclico, ácidos nucléicos, e principalmente N-nitrato. Como o teor de nitrato nos tecidos da alface pode variar grandemente em função da parte analisada (Cometti et al., 2000b), época de amostragem e com a forma de nitrogênio na solução nutritiva (Cometti et al., 2001a), a utilização de qualquer fator de correção pode ser equivocada na conversão de N-Kjeldahl para N-total, ou N-Dumas. A quantidade de N recuperado dependerá do tipo de tecido e da espécie analisada. Para a recuperação total do N na digestão sulfúrica é possível utilizar liga de Devarda e níquel de Raney. A utilização de ácido salicílico, no entanto, tem dado resultados mais consistentes, além de sua utilização ser mais simples e rápida (Nelson & Sommers, 1973; du Preez & Bate, 1989).

Apêndice 2. Correlação entre Variáveis Analisadas nas Folhas da Alface Cultivada em Sistema Hidropônico – NFT com Quatro Tratamentos de Adição de N-NH₄⁺ Contínua e Intermitentemente na Solução Nutritiva.

Tratamento	N-NO ₃ ⁻	Açúcares	ANR	N-amino	N-NH ₄ ⁺	N-protéico	Massa Fresca	Massa Seca
100% N-NO ₃								
Açúcares	-0,77 [†]							
ANR	0,54	-0,29						
N-amino	0,54	-0,30	0,74					
N-NH ₄ ⁺	0,63	-0,64	0,54	0,70				
N-protéico	0,60	-0,15	0,51	0,60	0,46			
Massa Fresca	0,88	-0,73	0,73	0,76	0,73	0,60		
Massa Seca	0,89	-0,80	0,66	0,68	0,70	0,56	0,99	
% Massa Seca	-0,87	0,66	-0,73	-0,76	-0,66	-0,56	-0,93	-0,90
1 dose de NH ₄ ⁺								
Açúcares	-0,81							
ANR	0,67	-0,65						
N-amino	0,77	-0,46	0,51					
N-NH ₄ ⁺	0,74	-0,47	0,64	0,97				
N-protéico	0,22	-0,01	-0,11	0,70	0,61			
Massa Fresca	0,93	-0,83	0,55	0,68	0,61	0,13		
Massa Seca	0,93	-0,85	0,52	0,62	0,55	0,09	0,99	
% Massa Seca	-0,84	0,85	-0,71	-0,74	-0,76	-0,26	-0,88	-0,84
2 doses de NH ₄ ⁺								
Açúcares	-0,41							
ANR	0,19	-0,82						
N-amino	0,80	-0,18	0,03					
N-NH ₄ ⁺	0,68	-0,22	0,04	0,89				
N-protéico	0,11	-0,02	-0,08	0,53	0,63			
Massa Fresca	0,87	-0,68	0,48	0,67	0,63	0,02		
Massa Seca	0,86	-0,62	0,44	0,61	0,54	-0,11	0,98	
% Massa Seca	-0,68	0,87	-0,77	-0,48	-0,49	-0,05	-0,89	-0,83
20% N-NH ₄								
Açúcares	-0,30							
ANR	0,39	-0,28						
N-amino	0,53	-0,43	0,46					
N-NH ₄ ⁺	0,59	-0,58	0,40	0,95				
N-protéico	-0,07	0,13	-0,37	0,31	0,35			
Massa Fresca	0,61	-0,19	0,78	0,53	0,41	-0,32		
Massa Seca	0,51	-0,03	0,73	0,42	0,25	-0,37	0,98	
% Massa Seca	-0,76	0,63	-0,79	-0,69	-0,74	0,18	-0,74	-0,60

[†] Células Sombreadas Indicam Coeficiente de Correlação ≥ 0,6 ou ≤ -0,6

Apêndice 3. Correlação entre Variáveis Analisadas nos Caules da Alface Cultivada em Sistema Hidropônico – NFT com Quatro Tratamentos de Adição de N-NH₄⁺ Contínua e Intermitentemente na Solução Nutritiva.

Tratamento								Massa Fresca	Massa Seca
100% N-NO ₃	N-NO ₃ ⁻	Açúcares	ANR	N-amino	N-NH ₄ ⁺	N-protéico			
Açúcares	-0,67								
ANR	-0,61	0,87							
N-amino	0,60	-0,11	-0,13						
N-NH ₄ ⁺	0,41	-0,54	-0,45	0,59					
N-protéico	-0,39	0,78	0,59	-0,27	-0,71				
Massa Fresca	0,38	-0,67	-0,50	0,29	0,66	-0,84			
Massa Seca	0,38	-0,67	-0,52	0,24	0,59	-0,80	0,99		
% Massa Seca	-0,74	0,66	0,58	-0,60	-0,87	0,62	-0,57	-0,50	
1 dose de NH₄⁺									
Açúcares	-0,84								
ANR	-0,48	0,58							
N-amino	0,27	-0,25	-0,43						
N-NH ₄ ⁺	0,41	-0,51	-0,53	0,90					
N-protéico	-0,83	0,95	0,54	-0,21	-0,46				
Massa Fresca	0,65	-0,75	-0,32	0,51	0,68	-0,80			
Massa Seca	0,67	-0,79	-0,33	0,47	0,66	-0,83	0,99		
% Massa Seca	-0,73	0,70	0,53	-0,75	-0,86	0,65	-0,80	-0,77	
2 doses de NH₄⁺									
Açúcares	-0,44								
ANR	-0,39	0,52							
N-amino	0,53	-0,08	-0,30						
N-NH ₄ ⁺	0,57	-0,82	-0,53	0,55					
N-protéico	-0,52	0,90	0,69	-0,20	-0,82				
Massa Fresca	0,29	-0,85	-0,47	0,02	0,77	-0,89			
Massa Seca	0,25	-0,84	-0,50	-0,01	0,73	-0,89	0,99		
% Massa Seca	-0,56	0,71	0,15	-0,27	-0,74	0,53	-0,57	-0,47	
20% N-NH₄									
Açúcares	0,35								
ANR	0,16	0,05							
N-amino	0,86	0,51	-0,07						
N-NH ₄ ⁺	0,24	-0,67	-0,02	0,16					
N-protéico	0,60	0,54	0,57	0,37	-0,13				
Massa Fresca	-0,34	-0,69	-0,44	-0,24	0,45	-0,82			
Massa Seca	-0,45	-0,68	-0,48	-0,31	0,40	-0,88	0,99		
% Massa Seca	-0,56	0,50	-0,25	-0,31	-0,71	-0,17	-0,26	-0,14	

† Células Sombreadas Indicam Coeficiente de Correlação ≥ 0,6 ou ≤ -0,6