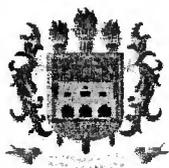


**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA**

**SOLUÇÃO NUTRITIVA: AVALIAÇÃO DA REPOSIÇÃO DE
MACRONUTRIENTES NO CULTIVO HIDROPÔNICO DE ALFACE**

GLAUCIO ILAN OLIVEIRA PINTO DA SILVA TORRES

Belém
2009



**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA**

**SOLUÇÃO NUTRITIVA: AVALIAÇÃO DA REPOSIÇÃO DE
MACRONUTRIENTES NO CULTIVO HIDROPÔNICO DE ALFACE**

GLAUCIO ILAN OLIVEIRA PINTO DA SILVA TORRES

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia como parte das exigências do curso de Mestrado em Agronomia, área de concentração Produção Vegetal, para obtenção do título de "Mestre".

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Antonio Lopes de Gusmão

Belém
2009

Torres, Glaucio Ilan Oliveira Pinto da Silva Torres

Solução nutritiva: avaliação da reposição de macronutrientes no cultivo hidropônico de alface./ Glaucio Ilan Oliveira Pinto da Silva Torres - Belém, 2009.

82 f.: il

Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, 2009.

1. Hidroponia 2. Macronutrientes 3. Nutrição mineral
4. *Lactuca sativa* L. I. Título

CDD – 631.585

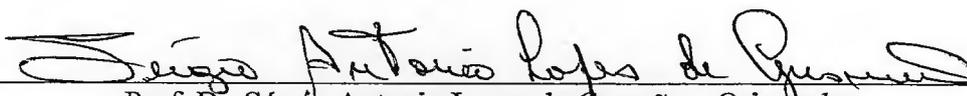
GLAUCIO ILAN OLIVEIRA PINTO DA SILVA TORRES

**SOLUÇÃO NUTRITIVA: AVALIAÇÃO DA REPOSIÇÃO DE
MACRONUTRIENTES NO CULTIVO HIDROPÔNICO DE ALFACE**

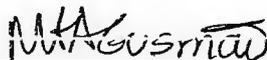
Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural
da Amazônia como parte das exigências do curso de
Mestrado em Agronomia, área de concentração
Produção Vegetal, para obtenção do título de “Mestre”.

Aprovado em 20 de fevereiro de 2009

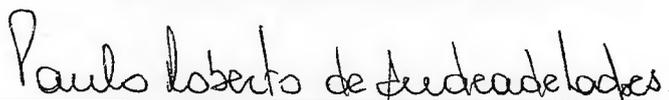
Banca Examinadora:



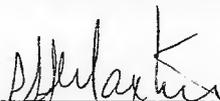
Prof. Dr. Sérgio Antonio Lopes de Gusmão – Orientador
Universidade Federal Rural da Amazônia



Prof.ª Dr.ª Mônica Trindade Abreu de Gusmão
Universidade Federal Rural da Amazônia



Prof. Dr. Paulo Roberto de Andrade Lopes
Universidade Federal Rural da Amazônia



Prof.ª Dr.ª Ana Regina Araújo Martins
Universidade Federal Rural da Amazônia

Parábola do semeador

Aquele que semeia, saiu a semear; e enquanto semeava, uma parte da semente caiu ao longo do caminho, e vindo os pássaros do céu a comeram.

Outra caiu nos lugares pedregosos, onde não havia muita terra; e logo nasceu porque a terra onde estava não tinha profundidade. Mas o sol tendo se erguido, em seguida, a queimou; e, como não tinha raízes, secou.

Outra caiu nos espinheiros, e os espinhos, vindo a crescer, a sufocaram.

Outra, enfim, caiu na boa terra, e deu frutos, alguns grãos rendendo cento por um, outros sessenta e outros trinta.

Que ouça aquele que tem ouvidos para ouvir.

(São Mateus, cap. XIII, v. de 1 a 9)

AGRADEÇO E OFEREÇO

A Deus, criador de tudo o que existe, inteligência suprema e causa primária de todas as coisas;

À minha mãe, Maria do Rosário Mourão de Oliveira, pelo amor incondicional e pela paciência, tolerância e compreensão durante esta caminhada.

À minha avó, Hilda Mourão de Oliveira, pelo exemplo de vida.

- À minha família
- Aos meus amigos
- À minha Profissão

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela minha vida.

Agradeço ao meu orientador Sérgio Antonio Lopes de Gusmão, por ter aceitado esse grande desafio.

Agradeço aos professores Paulo Roberto de Andrade Lopes e Mônica Trindade Abreu de Gusmão, pelo apoio e amizade.

Agradeço ao Raimundo Rosa, Raimundo Ferreira e José Pereira, pela dedicação, esforço e amizade nas horas mais difíceis.

Agradeço aos amigos Danilo Melo, Renata Lima e, em especial, Joze Melisa.

Agradeço a todos os professores do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pelo companheirismo e dedicação.

Agradeço a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desta pesquisa e para a minha formação profissional.

Agradeço à Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA).

Agradeço a CAPES pela concessão da bolsa de estudo.

SUMÁRIO

	RESUMO -----	viii
	ABSTRACT -----	ix
1	INTRODUÇÃO -----	17
2	REVISÃO DE LITERATURA -----	18
2.1	O CULTIVO SEM SOLO – HISTÓRICO-----	18
2.2	NOÇÕES DE NUTRIÇÃO MINERAL DE PLANTAS-----	20
2.2.1	Exigências nutricionais da alface -----	21
2.3	O CULTIVO DA ALFACE-----	23
2.3.1	Exigências climáticas -----	24
2.3.2	Cultivares -----	25
2.4	TÉCNICA DO FLUXO LAMINAR DE NUTRIENTES-----	26
2.5	COMPOSIÇÃO DA SOLUÇÃO NUTRITIVA-----	27
2.5.1	Preparo da solução nutritiva -----	29
2.6	MANEJO E RENOVAÇÃO DA SOLUÇÃO NUTRITIVA-----	30
2.6.1	Reposição dos nutrientes -----	31
2.6.2	Outros aspectos importantes -----	32
3	MATERIAL E MÉTODOS -----	34
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO-----	34
3.2	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E TRATAMENTOS-----	35
3.3	CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO E VARIÁVEIS ESTUDADAS-----	37
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO -----	39
4.1	VARIÁVEIS BIOMÉTRICAS-----	39
4.2	ANÁLISE DE CRESCIMENTO-----	50
4.2.1	Taxa de crescimento absoluto -----	50
4.2.2	Taxa de crescimento relativo -----	54
4.2.3	Fitomassa -----	57
4.3	ACÚMULO DE MACRONUTRIENTES-----	62
4.3.1	Nitrogênio -----	62
4.3.2	Fósforo -----	65
4.3.3	Potássio -----	68

4.3.4	Cálcio	70
4.3.5	Magnésio	72
5	CONCLUSÕES	74
	REFERÊNCIAS	75

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.	Casa de cultivo protegido estruturada para hidroponia do tipo NFT, Belém/PA – UFRA. 2007. -----	35
Figura 2.	Cultivares de alface: (A) cv. Regina; (B) cv. Kaeser; (C) cv. Verônica, Belém/PA – UFRA. 2007. -----	36
Figura 3.	Valores diários de pH e CE da solução nutritiva considerando três formas de reposição de nutrientes. UFRA, Belém/PA, 2007. ----	41
Figura 4.	Valores médios de temperatura e oxigênio dissolvido da solução nutritiva considerando três formas de reposição de nutrientes. UFRA, Belém/PA, 2007. -----	42
Figura 5.	Taxa de crescimento absoluto de três cultivares de alface em sistema hidropônico-NFT, considerando três formas de reposição de nutrientes da solução nutritiva. UFRA, Belém/PA, 2007. -----	52
Figura 6.	Taxa de crescimento relativo de três cultivares de alface em sistema hidropônico-NFT, considerando três formas de reposição de nutrientes da solução nutritiva. UFRA, Belém/PA, 2007. -----	56
Figura 7.	Produção de fitomassa pela alface, cv. Kaeser, cultivada em sistema hidropônico-NFT, considerando três formas de reposição de nutrientes da solução nutritiva. UFRA, Belém/PA, 2007. -----	59
Figura 8.	Produção de fitomassa pela alface, cv. Verônica, cultivada em sistema hidropônico-NFT, considerando três formas de reposição de nutrientes da solução nutritiva. UFRA, Belém/PA, 2007. -----	60
Figura 9.	Produção de fitomassa pela alface, cv. Regina, cultivada em sistema hidropônico-NFT, considerando três formas de reposição de nutrientes da solução nutritiva. UFRA, Belém/PA, 2007. -----	61
Figura 10.	Teores médios de N de cultivares de alface submetidas a três formas de reposição de nutrientes da solução nutritiva em sistema hidropônico NFT. UFRA, Belém/PA, 2007. -----	64
Figura 11.	Teores médios de P de cultivares de alface submetidas a três formas de reposição de nutrientes da solução nutritiva em sistema hidropônico NFT. UFRA, Belém/PA, 2007. -----	66

- Figura 12.** Teores médios de K de cultivares de alface submetidas a três formas de reposição de nutrientes da solução nutritiva em sistema hidropônico NFT. UFRA, Belém/PA, 2007. ----- 68
- Figura 13.** Teores médios de Ca de cultivares de alface submetidas a três formas de reposição de nutrientes da solução nutritiva em sistema hidropônico NFT. UFRA, Belém/PA, 2007. ----- 71
- Figura 14.** Teores médios de Mg de cultivares de alface submetidas a três formas de reposição de nutrientes da solução nutritiva em sistema hidropônico NFT. UFRA, Belém/PA, 2007. ----- 73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Teores adequados dos macronutrientes em folhas de alface coletadas na época de formação da cabeça. -----	22
Tabela 2.	Quantidades de sais para o preparo de 1.000 L de solução nutritiva para as culturas de hortaliças de folhas, proposta pelo Instituto Agrônomo de Campinas, 1998.-----	28
Tabela 3.	Médias mensais de temperatura e umidade relativa do ar registrada na Estação Agroclimatológica da Embrapa Amazônia Oriental. Período: junho-agosto de 2007. -----	34
Tabela 4.	Composições das soluções de ajuste para as culturas de hortaliças de folhas, proposta pelo Instituto Agrônomo de Campinas, 1998.	36
Tabela 5.	Resumo da análise de variância das características (g. planta ⁻¹): matéria fresca total (MFT); matéria fresca da parte aérea (MFPA); matéria fresca da raiz (MFRA); matéria seca total (MST); matéria seca da parte aérea (MSPA); matéria seca da raiz (MSRA); comprimento do sistema radicular (CRA, cm planta ⁻¹) e número de folhas (NF, planta ⁻¹). UFRA, Belém/PA, 2007. -----	43
Tabela 6.	Análise das médias do fator reposição de nutrientes (g planta ⁻¹): matéria fresca total (MFT); matéria fresca da parte aérea (MFPA); matéria fresca da raiz (MFRA); matéria seca total (MST); matéria seca da parte aérea (MSPA); matéria seca da raiz (MSRA); comprimento do sistema radicular (CRA, cm planta ⁻¹) e número de folhas (NF, planta ⁻¹). UFRA, Belém/PA, 2007. -----	43
Tabela 7.	Análise das médias do fator cultivares de alface (g. planta ⁻¹): matéria fresca total (MFT); matéria fresca da parte aérea (MFPA); matéria fresca da raiz (MFRA); matéria seca total (MST); matéria seca da parte aérea (MSPA); matéria seca da raiz (MSRA); comprimento do sistema radicular (CRA, cm planta ⁻¹) e número de folhas (NF, planta ⁻¹). UFRA, Belém/PA, 2007. -----	47

Tabela 8. Resumo da análise de variância dos teores dos macronutrientes N, P, K, Ca e Mg na matéria seca da parte aérea de cultivares de alface submetidas a três formas de reposição de nutrientes da solução nutritiva em sistema NFT. UFRA, Belém/PA, 2007. -----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

MFT	Matéria fresca total
MFPA	Matéria fresca da parte aérea
MFRA	Matéria fresca da raiz
MST	Matéria seca total
MSPA	Matéria seca da parte aérea
MSRA	Matéria seca da raiz
CRA	Comprimento do sistema radicular
NF	Número de folhas
N	Nitrogênio
P	Fósforo
K	Potássio
Ca	Cálcio
Mg	Magnésio
S	Enxofre
TCA	Taxa de crescimento absoluto
TCR	Taxa de crescimento relativo
DAS	Dias após a semeadura
CE	Condutividade elétrica
NFT	Técnica do fluxo laminar de nutrientes
cv	Cultivar
km	Quilômetro
m	Metro
min	Minuto
nm	Nanômetro
µm	Micrômetro
mm	Milímetro

RESUMO

No estado do Pará o cultivo em ambiente protegido vem crescendo em função dos fatores climáticos adversos, que muitas vezes dificultam a adaptação de novas cultivares de hortaliças aumentando a quantidade de insumos utilizados e a incidência de pragas, elevando com isso o custo de produção. A técnica de produção em hidroponia sob cultivo protegido é uma alternativa promissora, promovendo o controle dos fatores climáticos. Entretanto, a maior dificuldade está no manejo e na renovação da solução nutritiva, na medida em que muitos cultivos hidropônicos não obtêm sucesso, principalmente devido ao desconhecimento dos aspectos nutricionais desse sistema de produção o qual requer formulação e manejo adequados das soluções nutritivas. O presente trabalho objetivou avaliar o comportamento de três cultivares de alface conduzidas em sistema hidropônico NFT, bem como o efeito de três sistemas de reposição de nutrientes da solução nutritiva no acúmulo de macronutriente e no crescimento dessas cultivares. A pesquisa de campo foi conduzida no período de 10 de julho a 29 de agosto de 2007, no Núcleo de Horticultura da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), em Belém – Pará. O delineamento utilizado foi em blocos casualizados em esquema fatorial 3x3, com os fatores: três cultivares de alface (Regina, Verônica e Kaeser); e três manejos de reposição da solução nutritiva (reposição feita somente com água; reposição feita com 50% da formulação inicial e reposição baseada na manutenção da CE em $2,0 \text{ mS cm}^{-1}$ mediante a adição de soluções de ajuste). O desempenho das cultivares avaliadas foi influenciado pelos métodos de reposição de nutrientes, e que o manejo proposto por Furlani (1998), mostrou-se mais adequado para as condições em que o experimento foi conduzido. Os resultados trazem uma nova visão sobre a faixa da concentração da solução, que no caso da alface, pode variar de 100% a 50% da concentração inicial proposta, sem prejuízo da produtividade da cultura. No entanto soluções mais diluídas podem causar diminuição na produtividade proporcionalmente a concentração da solução nutritiva.

Palavras-chave: *Lactuca sativa* L., hidroponia, nutrientes, sistema NFT.

ABSTRACT

In the State of Pará cultivation in has been growing in the light of adverse climatic factors, which often make adaptation of new plant varieties of vegetables by increasing the amount of insumos used and the incidence of pests, bringing the cost of production. The technique of production in hydroponics protected under cultivation is a promising alternative, promoting the control of climatic factors. However, the greatest difficulty is in the management and the renewal of the solution of the nutritional, insofar as many crops hydroponics obtain success, mainly due to ignorance of the nutritional aspects of the production system which requires the formulation and management of nutritional solutions. This work installed to assess the behaviour of three cultivares lettuce conducted in hydroponics NFT system, as well as the effect of three systems reset nutrient solution in nutritional rollup nutrients and growth of cultivares. The search was conducted in the period of 10 July to 29 August 2007, at the heart of the Federal University of Horticulture Rural Amazon (UFRA), Belém – Pará. The experiment design was a randomized blocks, in factorial scheme 3x3, with the factors: three cultivate of lettuce (Regina, Verônica and Kaeser); and three ways of spare of the nutritional solution (resetting solution nutritional made only with water; made with 50% of the original formula and based on the maintenance of the CE in 2.0 mS cm^{-1} by adding solutions adjustment). The performance of cultivares evaluated was influenced by methods reset nutrients, and that management proposed by Furlani (1998), was more appropriate to the conditions under which the experiment was conducted. The results brings a new vision for the concentration of the solution, that in the case of lettuce, can vary from 100% to 50% of the initial proposal, without prejudice to the productivity of culture. However more diluted solutions can cause decrease in productivity proportionately the concentration of nutritional solution.

Key words: *Lactuca sativa* L., hydroponics, nutrients, NFT system.

1 – Introdução.

Na Amazônia, a produção de hortaliças ainda é pouco significativa em relação ao consumo real e potencial. Os produtores localizados nas cercanias de Belém cultivam pouco mais de dez espécies, havendo possibilidades do incremento de mais de cem tipos diferentes de hortaliças (GUSMÃO *et al.*, 2004). Entretanto, condições climáticas adversas como temperaturas altas e elevada precipitação pluviométrica, tornam-se fatores limitantes para o desenvolvimento dessa atividade, além de problemas fitossanitários devido às condições ambientais específicas para o desenvolvimento de pragas.

A alface (*Lactuca sativa* L.) é considerada a hortaliça folhosa mais importante na alimentação do brasileiro, o que assegura à cultura expressiva importância econômica. No estado do Pará, a produção da alface é baixa quando comparada com outras regiões do país. Dentre os fatores que estão associados a estes baixos rendimentos, destacam-se o reduzido nível de tecnologia; pouca diversidade de cultivares adaptadas às altas temperaturas, luminosidade e carência de informações técnicas sobre o manejo desta cultura na região Norte, tendo em vista que as informações utilizadas são adaptações do cultivo da alface nas regiões Sul e Sudeste (BARROS; ALVES; SILVA, 2001).

Frente a essas dificuldades, Martins *et al.* (1999) ressaltam que o cultivo em ambiente protegido é uma importante alternativa para superar limitações climáticas, especialmente, considerando sua eficiência quanto à captação de energia radiante e aproveitamento pelas plantas da temperatura, água e nutrientes disponíveis.

No estado do Pará o cultivo em ambiente protegido vem crescendo em função dos fatores climáticos adversos, que muitas vezes dificultam a adaptação de novas cultivares de hortaliças aumentando a quantidade de insumos utilizados e a incidência de pragas, elevando com isso o custo de produção (SANTANA *et al.*, 2004).

A introdução de novas tecnologias que visem um retorno mais rápido, que utilizem pouco espaço, além de produzirem com qualidade, é uma alternativa para a produção comercial de hortaliças nessa região. Logo, a técnica de produção em hidroponia sob cultivo protegido é uma alternativa promissora, promovendo o controle dos fatores climáticos e possibilitando aos produtores o cultivo durante todo o ano (FAQUIN; FURLANI, 1999).

No entanto, existem diversos problemas enfrentados pelos produtores hidropônicos podendo ser destacado o custo inicial de produção elevado, acompanhamento permanente do sistema, dependência de energia elétrica ou de sistema alternativo. Entretanto, a maior

dificuldade está no manejo e na renovação da solução nutritiva. Furlani *et al.* (1999) ressaltam que muitos cultivos hidropônicos não obtêm sucesso, principalmente devido ao desconhecimento dos aspectos nutricionais desse sistema de produção o qual requer formulação e manejo adequados das soluções nutritivas.

O presente trabalho objetivou avaliar o comportamento de cultivares de alface conduzidas em sistema hidropônico NFT, bem como o efeito de 3 formas de reposição de nutrientes da solução nutritiva no acúmulo de macronutrientes e no crescimento dessas cultivares.

2 – Revisão de Literatura.

2.1 - O Cultivo Sem Solo - Histórico.

A hidroponia, termo derivado de duas palavras de origem grega – hidro, que significa água, e ponia, que significa trabalho, é uma técnica alternativa de cultivo protegido, na qual o solo é substituído por uma solução aquosa, que contém apenas os elementos minerais essenciais aos vegetais (GRAVES, 1983; JENSEN; COLLINS, 1985; RESH, 1996).

Os primeiros relatos datam do século XVII. Segundo Teixeira (1996) o cultivo hidropônico é bastante antigo. A primeira referência em literatura, de acordo com Epstein (1975), é a observação de Woodward que, em 1699, cultivou menta em alguns tipos de água. Logo, a técnica de cultivar plantas em solução nutritiva não mudou fundamentalmente desde que Knop e Sachs a introduziram nos anos 1860.

Segundo Epstein e Bloom (2004), o botânico alemão Julius Von Sachs, em 1860, demonstrou que a fase sólida do solo pode ser inteiramente dispensada na nutrição de plantas. Ele preparou soluções de sais fornecendo os principais elementos nutrientes minerais então conhecidos como sendo essenciais e contendo (sem ele saber disso) quantidades traço adequadas de micro-elementos essenciais presentes como contaminantes nos sais principais. Nessas soluções nutritivas ele cultivou plantas até a maturidade. W. Knop, no início dos anos de 1860, imaginou outra solução nutritiva e cultivar plantas em solução nutritiva tem sido uma técnica indispensável de pesquisa em nutrição de plantas desde então. Essas investigações, junto a estudos da composição química da solução do solo, enfatizaram a importância da solução do solo como fonte principal de nutrientes disponíveis para absorção pelas raízes.

Já Hoagland e Broyer (1936) formularam uma solução nutritiva (duas soluções, na verdade – uma com e outra sem amônio) que, com modificações, ainda é amplamente usada. Hoagland (1884-1949) foi o principal pioneiro do período moderno da nutrição de plantas. Seu livro lições sobre Nutrição Inorgânica de Plantas (1994) é um clássico. Ele faz um relato de ciência como ela se sustentou em meados dos anos 1900. Arnon (1950) escreveu uma crítica favorável das diversas contribuições de Hoagland para a ciência da nutrição mineral de plantas. Esses estudos foram pioneiros no desenvolvimento de novas técnicas para produção de plantas em regiões do globo terrestre antes inapta à agricultura.

Logo o cultivo protegido tornou-se um sistema de produção muito difundido dentro da horticultura. Isso se deu devido à necessidade de fornecer produtos in natura e de boa qualidade ao longo do ano. Os produtores utilizam esses abrigos para proteger suas culturas das adversidades climáticas. No Brasil, o cultivo de hortaliças em ambiente protegido não é tão recente. Contudo, somente no fim dos anos 80 e principalmente no início da década de 90 é que esta técnica de produção passou a ser amplamente utilizada (GOTO, 1997).

A expressão cultivo protegido tem um significado bastante amplo. Para Wittwer e Castilha (1995), ela engloba um conjunto de práticas e tecnologias (quebra ventos, mulches de solo, casas de vegetação, túneis altos, túneis baixos, irrigação, etc.) utilizadas pelos produtores para um cultivo mais seguro e protegido de suas lavouras. Há várias técnicas de cultivo protegido de hortaliças e dentro delas o cultivo sem solo vem crescendo de forma rápida. Faquin e Furlani (1999) citam que o cultivo comercial de hortaliças e de outras espécies pelo sistema hidropônico no Brasil, vem se desenvolvendo muito rápido, principalmente próximo aos grandes centros consumidores e se tornando uma grande alternativa para o cultivo protegido.

Para Benoit e Ceustermans (1995), várias são as vantagens do cultivo comercial de plantas em hidroponia, as quais podem ser resumidas como a seguir: padronização da cultura e do ambiente radicular, drástica redução no uso de água, eficiência do uso de fertilizantes, melhor controle do crescimento vegetativo, maior produção por área, qualidade e precocidade, maiores possibilidades de mecanização e automatização da cultura.

No estado do Pará a produção comercial hidropônica começou em 1994 na colônia de Apeú, município de Castanhal, localizada a 63 km de Belém. A atividade teve início com a produção de alface em bancadas com telhas de amianto recobertas com cascalho. Atualmente a produção de alface hidropônica se concentra nos municípios de Ananindeua, Benevides, Santa Izabel e Castanhal (LOPES; SANTANA; RODRIGUES, 2001).

2.2 – Noções de Nutrição Mineral de Plantas.

Os seres vivos são formados de átomos de elementos químicos, que tem como reservatório básico as rochas, os oceanos e a atmosfera. Certos elementos – carbono, oxigênio, hidrogênio, por exemplo – são importantes componentes das principais classes de compostos que constituem plantas vivas; esses três elementos, de fato, constituem cerca de 95% do peso fresco da maioria das plantas vivas. Esses são os elementos da água e aqueles que constituem a parte principal de carboidratos, proteínas e lipídios das células vegetais (EPSTEIN; BLOOM, 2004).

Os elementos que respondem pelo restante da constituição de uma planta são muitos, embora esses possam variar em concentração de apenas 1-2% a menos de poucas partes por bilhão da matéria seca. Epstein e Bloom (2004) ressaltam que muitos deles são quase tão essenciais para o funcionamento da planta quanto os elementos que constituem a parte principal da matéria vegetal.

A presença de um elemento na planta não significa por si só que ele tem um papel essencial na vida dela. Segundo Malavolta (2006), as plantas absorvem do meio em que vivem os alimentos (leia-se elementos) de que necessitam, outros que não o fazem e outros ainda que podem envenenar-las. Arnon (entre 1952 e 1953) postulou: *Todos os elementos essenciais (necessários) estão presentes na planta, mas nem todos os elementos encontrados na planta são essenciais.*

Uma definição formal de essencialidade, amplamente citada atualmente, foi publicada por Arnon e Stout (1939), a saber: *um elemento não é considerado essencial a menos que, (a) a deficiência dele torne impossível para a planta completar o estágio vegetativo ou o reprodutivo de seu ciclo de vida; (b) Tal deficiência seja específica ao elemento em questão, e possa ser prevenida ou corrigida apenas fornecendo esse elemento; (c) o elemento está envolvido diretamente na nutrição da planta, independentemente de seus possíveis efeitos na correção de alguma condição microbiológica ou química desfavorável do solo ou do outro meio de cultura.*

Os elementos essenciais são divididos em dois grandes grupos, dependendo das quantidades exigidas pela planta, ou seja, aqueles requeridos em maiores quantidades são denominados de macronutrientes (nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre); e os que são absorvidos em menores quantidades – micronutrientes (boro, cloro, cobre, ferro, manganês, molibdênio e zinco) (MALAVOLTA, 2006).

2.2.1 – Exigências Nutricionais da Alface.

A alface é considerada dentre as hortaliças folhosas uma das mais exigentes em nutrientes. O crescimento vegetativo da alface é definido como o período que abrange desde a emergência das plantas até a iniciação floral. Representa sua produção economicamente viável que se encerra ao atingir o maior tamanho das folhas. Da sementeira até o transplante das mudas, o crescimento da parte aérea e do sistema radicular é lento (BECKER, 1990). Após essa fase, inicia-se uma etapa de intensa emissão de folhas e de acúmulo de matéria seca, atingindo seu máximo em função das cultivares e condições climáticas.

O N é o macronutriente aniônico mais abundante na planta, sendo o maior responsável pela vegetação (não dispensada a participação dos outros elementos). Shear (1975) cita que o N é o nutriente que mais interfere no crescimento vegetativo da alface, obtendo respostas rápidas. Entretanto, o excesso de N, ou muitas vezes um desequilíbrio com outro elemento, macro ou micro, tem efeito prejudicial. Alvarenga (1999) observou em diversos trabalhos que a aplicação de N tem uma resposta quadrática e que a partir de uma determinada dose há um decréscimo na produção.

Na nutrição mineral de plantas, o P tem função de destaque no metabolismo da planta, principalmente no controle da atividade enzimática. Participa no crescimento das plantas, principalmente do sistema radicular. Componente dos lipídios do plasmalema e do tonoplasto, passagem obrigatória dos nutrientes no processo de absorção, tanto na raiz quanto na folha; armazenamento de energia na fotossíntese e respiração (MALAVOLTA, 2006). Katayama (1993) ressalta que a deficiência de P em alface americana provoca retardamento no crescimento das plantas, má formação das cabeças comerciais e as folhas externas apresentam tonalidade que pode variar de verde-opaca a vermelho bronze. Em plantas muito novas, a deficiência desse nutriente pode levá-las à morte.

O K é o nutriente mais exigido pela cultura da alface, que embora não faça parte de nenhuma substância é o mais importante elemento em quantidade absorvida. Ele age na planta principalmente como ativador enzimático, regulador da abertura e fechamento dos estômatos, regulador do turgor celular e responsável pela qualidade dos produtos agrícolas em geral. Alguns experimentos em hidroponia mostraram que o K foi o nutriente mais absorvido, de acordo com a seguinte ordem decrescente de extração de macronutrientes (K; N; Ca; P; Mg; S) (CORTEZ, 1999; VERDADE *et al.*, 2003).

Na planta o Ca é fundamental para a estrutura e funcionamento de membranas celulares, absorção iônica e constituinte do pectato (principal substância da lamela média). O Ca é absorvido pelas raízes como Ca^{+2} sendo a absorção diminuída por altas concentrações de K^+ e de Mg^{+2} no meio, como também por muito N-NH_4^+ . Ele move-se com a água, sendo sua translocação e seu teor nos tecidos sujeitos à taxa de transpiração. Uma vez depositado, não apresenta redistribuição para outras partes da planta, sendo acumulado principalmente em tecidos que transpiram mais facilmente. A alface está sujeita ao distúrbio fisiológico, conhecido como *tip burn* ou queima das bordas das folhas, ocasionado pelo aumento da atividade fotossintética, que pode provocar injúrias pela ruptura dos vasos lactíferos da folha. Um crescimento intenso, não acompanhado pela absorção do Ca pode favorecer a manifestação do sintoma especialmente em folhas jovens. O *tip burn*, causado pela deficiência localizada de Ca, pode ser desencadeado por uma combinação de fatores climáticos (temperaturas e umidade relativa do ar elevadas), nutricionais (excesso de nitrogênio amoniacal, elevada condutividade elétrica em solução nutritiva) e cultivares mais sensíveis (MILLAWAY; WIERSHOLM, 1979).

O Mg é fundamental para a fotossíntese, sendo constituinte da molécula de clorofila. Participa de inúmeras reações como ativador enzimático, da respiração, absorção iônica e transporte de energia, balanço eletrolítico e confere estabilidade aos ribossomos (MALAVOLTA, 2006). O excesso de K na adubação pode também causar a deficiência de Mg na medida em que o primeiro dificulta a absorção do segundo.

Na tabela 1 são citados os teores adequados dos macronutrientes em folhas de alface recém maduras coletadas na época de formação da cabeça.

Tabela 1 – Teores adequados dos macronutrientes em folhas de alface coletadas na época de formação da cabeça

Autores	Macronutrientes (%)				
	N	P	K	Ca	Mg
Fernandes, Oliveira e Haag (1981)	2,90	0,45	6,00	1,26	0,35
Malavolta (1989)	3,00	0,35	5,00	2,00	0,75
Faquin, Furtini e Vilela (1996)	4,50	0,76	5,40	1,39	0,31

2.3 – O Cultivo da Alface.

A alface (*Lactuca sativa* L.) pertence à família *Asteraceae*. É uma das hortaliças folhosas de maior consumo em todo o mundo. No Brasil, figura entre as principais hortaliças no que se refere à produção, à comercialização e ao valor nutricional. Júnior e Venzon (2007) citam que a especialização crescente do cultivo de alface tem determinado a ampliação da escala de produção. Com o consumo também crescente, decorrente da modernização do setor de distribuição e da grande opção de cultivares, exige-se do produtor qualidade, diversidade de tipos e, principalmente, regularidade de produção. Nos últimos anos tem aumentado o cultivo de alface em ambiente protegido, com a possibilidade de controlar, parcialmente, fatores climáticos adversos, além de facilitar o manejo, reduzir os riscos, possibilitar a constância da produção e reduzir o ciclo da cultura.

Segundo Backes *et al.* (2003) a alface é a espécie de maior expressão no sistema de cultivo sem solo, possivelmente, por ser a hortaliça folhosa de maior consumo e importância no País, sendo o sistema hidropônico NFT o principal sistema de produção.

No entanto, o volume de produção dessa hortaliça varia ao longo do ano em função das condições climáticas específicas de cada região. No Norte a produção é normal e regular ao longo do ano. Entretanto, os fatores temperatura e fotoperíodo elevados prejudicam o cultivo dessa hortaliça. Melo *et al.* (2008) ressaltam que a alface é o produto de maior expressão em sistemas hidropônicos localizados na região metropolitana de Belém. No entanto, a maioria dos produtores não disponibiliza de técnicas adaptadas às condições de clima regional, ocasionando ineficiência desses sistemas. Além do mais, deve-se conhecer também as cultivares mais adaptadas a este sistema de cultivo e às condições ambientais da região Amazônica. Por isso, a alface é considerada prioridade nos programas de pesquisas com hortaliças para a região.

É importante ressaltar que desde o início da produção comercial hidropônica em 1994, houve um crescimento acelerado em termos de oferta de alface hidropônica no mercado de Belém favorecendo a queda dos preços incentivada pela concorrência entre os produtores (BARROS; ALVES; SILVA, 2001).

2.3.1 – Exigências Climáticas.

A alface é uma hortaliça sensível às condições climáticas. Fatores como fotoperíodo, intensidade de luz, concentração de dióxido de carbono (CO₂) e, particularmente, a temperatura influenciam acentuadamente no crescimento e no desenvolvimento da planta (PANDURO, 1986; MULLER, 1991). A faixa de temperatura ótima para a produção varia de 7 °C a 24 °C, embora algumas cultivares possam resistir a temperaturas mais elevadas. Filgueira (2003) cita que as temperaturas ótimas de crescimento encontram-se entre 15 °C e 25 °C, e temperaturas noturnas inferiores a 15 °C são consideradas importantes principalmente, para a formação de cabeça.

No entanto, temperaturas elevadas, superiores a 25 °C, e dias longos facilitam o pendoamento com a formação de menor número de folhas por planta. Nagai (1980) relata que temperaturas acima de 20 °C estimulam o pendoamento que é acelerado à medida que a temperatura aumenta. Dias longos associados às temperaturas elevadas, aceleram o processo, o qual é também dependente da cultivar.

Na região Norte, a temperatura e o fotoperíodo elevados são fatores limitantes para o cultivo de alface. Quando submetida a essas condições, a alface emitirá o pendão floral precocemente, tornando-se imprópria para comercialização. Mallar (1978) salienta que as altas temperaturas aceleram o ciclo da cultura, resultando em plantas menores, com pouca firmeza nas cultivares de formação de cabeça, floração prematura e queimadura nos bordos das folhas, além da indução do sabor amargo. Portanto, altas temperaturas, aliadas a falta de cultivares selecionada ou melhorada para esses ambientes, têm-se constituído obstáculo ao desenvolvimento desta modalidade de exploração.

Para Cermeño (1990), os processos metabólicos das plantas possuem temperaturas críticas que os impedem ou dificultam, sendo que para a maioria das espécies, a temperatura ótima para germinação, brotação, desenvolvimento, floração, fecundação e frutificação, situa-se entre 20 °C e 30 °C.

2.3.2 – Cultivares.

Pode-se produzir alface de qualidade durante todo o ano, utilizando cultivares adequada para cada época, devido ao trabalho de melhoramento para resistência ao pendoamento precoce, tolerância ao calor e a pragas. Melo *et al.* (2007) citam que no estado do Pará, muitos produtores ainda desconhecem a maioria das cultivares de alface, sendo predominante a comercialização de poucas cultivares no mercado local. Entretanto, existem diversos tipos de cultivares de alface disponível para cultivo: lisas (solta, repolhuda manteiga), crespas (solta, repolhuda), mimosa, romana e roxa.

A preferência no Brasil era pra alface tipo repolhuda manteiga. Contudo a produção dos tipos crespa e americana vem aumentando em função da demanda do mercado. Yuri *et al.* (2002) salientam que a alface americana se diferencia dos demais grupos por apresentar folhas externas de coloração verde-escura, folhas internas de coloração amarela ou branca, imbricadas, semelhantes ao repolho e crocantes, o que não ocorre nas nossas condições.

A alface americana tem grande aceitação nas redes de *fast foods*, principalmente por sua capacidade de manter-se crocante no interior do sanduíche, quando em contato com altas temperaturas e também pela resistência ao transporte e a capacidade de armazenamento por mais tempo. (DECOTEAU *et al.*, 1995). A cv. típica é a “*Great Lakes*”, da qual há várias seleções. Outras cultivares tem sido desenvolvidas, ou introduzidas como a “*Tainá*”, “*Iara*”, “*Madona*”, “*Lucy Brown*”, “*Lorca*” e “*Kaesar*” (FILGUEIRA, 2003).

A alface lisa, ideal para o cultivo no verão, tem garantido boa rentabilidade ao produtor. As principais características dessa cultivar são: cabeça grande, uniformidade alta, resistência ao pendoamento e tolerância a doenças, como a podridão da base e a mumificação, além de suportar danos mecânicos provocados pelo clima. Apresenta folhas lisas e soltas, ou seja, não forma cabeça compacta, o que possibilita a comercialização da planta inteira e também de folhas, prolongando o período produtivo (JÚNIOR; VENZON, 2007). A cv. típica é a tradicional “*Babá de Verão*”, bastante cultivada na região Norte, existindo outras cultivares, entre elas “*Monalisa*” e “*Regina*” (FILGUEIRA, 2003).

A alface tipo crespa se apresenta como uma grande opção ao produtor, em virtude da possibilidade de cultivo durante o ano todo. Entretanto, se submetidas a altas temperaturas e longo fotoperíodo, algumas cultivares são mais sensíveis quanto ao pendoamento e início da fase reprodutiva. As folhas são bem consistentes, crespas e soltas, não formando cabeça.

A cv. típica é a “*Grand Rapids*”. Entre as cultivares destacam-se “*Simpson*”, “*Vera*”, “*Marisa*”, “*Vanessa*” e “*Verônica*”. É o grupo líder de mercado em várias regiões do Brasil (FILGUEIRA, 2003). Gusmão *et al.* (2004) ressaltam que os olericultores que abastecem a região metropolitana de Belém com alface hidropônica, praticamente só plantam a cv. Verônica. Entretanto, dezenas de cultivares são oferecidas no mercado de sementes, havendo possibilidade de serem recomendadas cultivares de tipos diversos, para as diferentes condições de cultivo hidropônico regional.

Fernandes e Martins (1999) relatam que com o manejo adequado, quase todas as cultivares de alface podem ser plantadas em ambiente protegido durante todo o ano, sendo importante a correta escolha, devido às diferenças quanto ao ciclo, rendimento, resistência ao frio e tolerância ao calor.

2.4 – Técnica do Fluxo Laminar de Nutrientes.

O sistema NFT consiste em cultivar as plantas sobre uma fina lâmina de solução circulante. Andriolo (1999) salienta que essa modalidade foi aperfeiçoada na Inglaterra, na década de 1970, visando superar algumas das limitações do cultivo em tanques, como a sustentação das plantas e a aeração da solução nutritiva.

As instalações de um sistema NFT para o cultivo de hortaliças de folhas são compostas basicamente por casa de cultivo protegido, bancadas para produção de mudas e de cultivo, sistema hidráulico composto por reservatório para a solução nutritiva, encanamentos e registros para distribuição e retorno da solução nutritiva, conjunto motobomba e temporizador (*timer*) (GRAVES, 1983; CASTELLANE; ARAÚJO, 1994; COOPER, 1996).

O sistema NFT funciona da seguinte maneira: a solução nutritiva é armazenada em um reservatório, de onde é recalçada para a parte superior do leito de cultivo, passando pelos canais, formando uma fina lâmina de solução que irriga as raízes, por gravidade é recolhida na parte inferior do leito, retornando ao tanque (TEIXEIRA, 1996).

Os elementos minerais são fornecidos às plantas pela solução nutritiva que circula continuamente em torno das raízes. Por essa razão, a velocidade de circulação deve ser corretamente ajustada, a fim de evitar a carência mineral e de oxigênio. Este ajuste é feito através de uma declividade adequada dos suportes, que não deve ser inferior a 2% ao longo dos canais. Um fluxo mínimo de 2 Litros/hora é recomendado (JEANNEQUIN, 1987).

Quanto maior o volume de solução nutritiva, maior o estoque de nutrientes disponível para as plantas. À medida que as plantas absorvem os fertilizantes, há uma diminuição dos elementos disponíveis proporcionalmente ao volume do reservatório, ou seja, quanto maior o volume adotado, menor a variação nutricional no reservatório. Podem-se determinar estas variáveis, sempre considerando um número fixo de plantas no sistema e, à medida que se adotam quantidades maiores de plantas ou densidades maiores, há a necessidade de elevar o volume do reservatório, evitando-se, assim, que as concentrações nutricionais alterem-se demasiadamente (MORAES; FURLANI, 1999).

Faquin e Furlani (1999) ressaltam que a capacidade do reservatório depende da espécie e do número de plantas a cultivar. Para a alface, tem sido recomendado o volume de 1 litro/planta (solução nutritiva), evitando uma redução diária muito grande na concentração dos nutrientes e um aquecimento excessivo da solução nutritiva.

O sistema NFT possibilita uma maior eficiência no uso dos elementos minerais e da água sendo facilitado o seu manejo. Dados experimentais indicam que através desse sistema é possível reduzir entre 25% e 45% os gastos com fertilizantes (VAN OS; BENOIT, 1999; GARCIA; URRESTARAZU, 1999; MAGAN-CAÑADAS *et al.*, 1999).

2.5 – Composição da Solução Nutritiva.

A solução nutritiva constitui um dos aspectos mais importantes na produção hidropônica de produtos vegetais de alta qualidade, sendo o meio pelo qual os nutrientes previamente dissolvidos na água são colocados à disposição das plantas. No entanto, se manejada de forma incorreta provoca redução na produtividade e na qualidade do produto. Furlani *et al.* (1999) ressaltam que muitos cultivos hidropônicos não obtêm sucesso, principalmente devido ao desconhecimento dos aspectos nutricionais desse sistema de produção o qual requer formulação e manejo adequados das soluções nutritivas.

Diversas soluções têm sido usadas com sucesso pela pesquisa. Entretanto, não existe uma solução nutritiva ideal para todas as culturas. Segundo Hoagland e Arnon (1950) devido à capacidade das plantas em se adaptarem a diferentes condições nutritivas, nenhuma solução nutritiva é superior a outras no que diz respeito à sua composição. Ressalta ainda que, um adequado fornecimento de nutrientes está diretamente relacionado com o volume de solução, estágio de desenvolvimento das plantas, taxa de absorção de nutrientes, frequência de renovação e reposição de nutrientes na solução nutritiva. Para cada espécie e condições de

cultivo existe uma solução nutritiva mais adequada, dependendo da exigência nutricional. Esta exigência refere-se às quantidades de nutrientes que uma cultura extrai da solução nutritiva para atender suas necessidades fisiológicas.

Na literatura, já foram propostas diversas soluções nutritivas. No entanto, a única diferença marcante entre elas é em relação à concentração dos macronutrientes. Hoagland e Broyer (1936) formularam uma solução nutritiva que, com modificações, ainda é amplamente usada. Essas soluções constituem a base para a formulação de inúmeras soluções nutritivas comerciais existentes em todo o mundo. Além de serem as mais usadas em pesquisa com nutrição mineral de plantas.

Para Barry (1996) a faixa de concentração de nutrientes das soluções nutritivas, de uma maneira geral, é a seguinte (mg/L): N (70-250), P (15-80), K (150-400), Ca (70-200), Mg (15-80), S (20-200), Fe (0,8-6), Mn (0,5-2), B (0,1-0,6), Cu (0,05-0,3), Zn (0,1-0,5) e Mo (0,05-0,15).

No cultivo hidropônico de alface na região Norte, tem sido usada a solução nutritiva proposta por Furlani (1998) para folhosas, cuja composição química é apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 – Quantidades de sais para o preparo de 1.000 L de solução nutritiva para as culturas de hortaliças de folhas, proposta pelo Instituto Agronômico de Campinas, 1998.

Sal/fertilizante	g/1.000 L
Nitrato de cálcio	750
Nitrato de potássio	500
Fosfato monoamônio	150
Sulfato de magnésio	400
Sulfato de cobre	0,15
Sulfato de zinco	0,5
Sulfato de manganês	1,5
Ácido bórico ou Bórax	1,5
Molibdato de sódio ou amônio	0,15
Ferrilene® (FeEDDHA-6%Fe) ou outra fonte quelatizado	30

Fonte: Furlani (1998).

Ressalta-se ainda que durante o preparo da solução nutritiva, as fontes dos nutrientes devem ser dissolvidas separadamente. Nunca se devem misturar na forma concentrada soluções que contenham sulfato, fosfato e cálcio, pois pode ocorrer a precipitação de sulfato de cálcio e fosfato de cálcio insolúvel (MALAVOLTA, 2006).

2.5.1 – Preparo da Solução Nutritiva.

Na produção comercial alguns cuidados devem ser observados. Um aspecto extremamente importante no preparo da solução nutritiva é a qualidade da água, insumo básico na cultura hidropônica. A água deve ser potável e com características químicas adequadas, não devendo conter, por exemplo, mais que 350 ppm de sais (HANGER, 1986). Ao se iniciar um cultivo hidropônico o correto é fazer a análise da água e, quando os teores de alguns macro e/ou micronutrientes forem superiores a 20% da fórmula adotada para o preparo da solução, as quantidades dos sais que fornecem esses nutrientes devem se recalculadas.

Outro aspecto é a relação custo/benefício e solubilidade na escolha dos sais fertilizantes. Douglas (1987) ressalta que se pode utilizar, no preparo da solução nutritiva, qualquer adubo desde que seja solúvel em água. Entretanto, é preciso tomar os devidos cuidados para que os compostos químicos incompatíveis não sejam incluídos na mesma formulação. Deve-se também evitar aqueles que possam produzir efeitos indesejáveis. Seguindo-se essas orientações gerais, o aspecto a ser considerado a seguir é a disponibilidade dos nutrientes no mercado local e os seus respectivos custos. Os sais usados como adubos são costumeiramente mais baratos do que os usados em laboratório, que devem ser puros para análise. Por essa razão, recomenda-se a compra de marcas comerciais próprias para agricultura.

A condutividade elétrica também é um fator determinante no preparo de soluções nutritivas. A quantidade de sais, geralmente, é medida através da condutividade elétrica da solução que nada mais é do que se medir a possibilidade de uma solução em transmitir eletricidade. Teixeira (1996) ressalta que se numa solução a condutividade elétrica for alta, para determinada cultura, as plantas terão dificuldade na absorção de água e, portanto, de nutrientes. E se a concentração de sais for realmente excessiva, os vegetais poderão, até, perder água para o meio e, em consequência, chegar a morrer.

A medida da condutividade da solução é feita diretamente no tanque com um “condutivímetro portátil”. A calibração periódica do condutivímetro é necessária.

Dimenstein (2008) salienta que quando a salinidade aumenta na solução nutritiva há uma maior retenção da água e dificuldade para as raízes absorverem essa água com os sais dissolvidos que formam a solução nutritiva. Isso significa que haverá uma “briga” entre os sais e as raízes para ficar com a água. Se as plantas estão transpirando em um clima de alta insolação e alta temperatura, vai ocorrer déficit na captação de água o que geralmente é

observado no horário entre 10 às 16 horas. As plantas para evitar desidratação, murcham e perdem a turgescência. Fecham os estômatos e voltam a abri-los no final da tarde. Isso implica em perdas de horas preciosas de fotossíntese por excesso de salinidade na solução nutritiva e isso é facilmente controlável através de monitoramento dos níveis de condutividade elétrica.

Na região Norte, comumente, os produtores hidropônicos trabalham com soluções diluídas. Para a produção de alface hidropônica, a condutividade elétrica varia entre 1,0 a 1,3 mS cm⁻¹, ao contrário da região Sul e Sudeste onde a mesma fica entre 2,0 a 2,5 mS cm⁻¹. Furlani *et al.* (1999) ressaltam que em regiões de clima quente e no verão, deve-se trabalhar com soluções mais diluídas, com condutividade elétrica entre 1,0 a 1,5 mS cm⁻¹, pois sabe-se que proporcionalmente as plantas absorvem mais água que nutrientes, devido a alta atividade fisiológica das mesmas.

Muitas vezes, por diferentes condições de cultivo e clima, uma solução nutritiva adequada para o produtor não o é para outro, pois o clima, a topografia e o método de cultivo influenciam no comportamento das plantas. Outro aspecto importante é a época do ano: no verão as plantas requerem mais água do que no inverno, absorvendo, portanto, mais nutrientes. Então, no verão, a solução nutritiva deve ser mais diluída do que no inverno. (DOUGLAS, 1987).

2.6 - Manejo e Renovação da Solução Nutritiva.

Em hidroponia, o manejo e a renovação da solução nutritiva são aspectos importantes a serem considerados. Diversos autores têm contribuído para o desenvolvimento de novas técnicas de manejo da solução nutritiva. No entanto, a escolha depende de uma série de fatores, tais como: número de plantas, volume de solução, sistema de plantio etc. Resh (1997) considera que a vida útil de uma solução nutritiva depende, principalmente, da porcentagem da acumulação de íons não utilizados pelas plantas de forma imediata. Esse acúmulo resulta em elevação da concentração osmótica da solução nutritiva. O autor ressalta ainda que não se devesse utilizar a solução nutritiva por um período superior a três meses, recomendando a renovação completa da mesma após este período. No entanto, Barbosa e Martinez (1996) salientam que em sistemas fechados, ao repor o volume de água consumido diariamente com a adição de solução, ocorrerá crescente salinização do meio de cultivo, o que prejudicará o desenvolvimento radicular e a absorção de água. Então o volume consumido deverá ser

reposto somente com água até o momento em que a capacidade de nutrição da solução se esgota e, nesse ponto a mesma deverá ser renovada. Castellane e Araújo (1994) ressaltam que o período útil da solução nutritiva é de três a quatro semanas, quando se trabalha em sistema fechado. Para Santos (2000) o período útil varia entre 60 e 90 dias.

2.6.1 – Reposição dos Nutrientes.

Considerando que a absorção de nutrientes pelas plantas é seletiva em função da espécie e cultivar, a reposição dos nutrientes durante o desenvolvimento das plantas, sem afetar o balanço entre as suas concentrações na solução nutritiva, é o maior desafio dos produtores hidropônicos. Há várias formas de reposição de nutrientes descritos na literatura. No entanto, as informações sobre o desempenho e a eficiência desses métodos em relação à produção e à resposta das plantas cultivadas são escassas.

Nielsen (1984) propõe um sistema automático de controle de nutrientes com base no ajuste do nível de água, da concentração de nutrientes e do pH. Em soluções nutritivas a queda na concentração de nutrientes é altamente correlacionada com a diminuição da condutividade elétrica, a qual pode ser usada como monitor do nível de nutrientes na solução. Com isso, a reposição de nutrientes pode ser realizada pela adição de soluções de manutenção baseada na proporção de nutrientes extraída na fitomassa seca e pode ser obtida através da análise química da planta. No entanto, Jensen e Collins (1985) desenvolveram uma técnica em que ao iniciar o cultivo com uma nova solução, ao final da primeira semana, está deverá ser reposta com 50% da formulação inicial, a fim de manter um balanço adequado de nutrientes absorvidos pela planta e, assim, sucessivamente até a cultura completar seu ciclo de produção. Furlani (1998) desenvolveu um sistema de ajuste químico da solução nutritiva para o cultivo de folhosas, através do monitoramento da condutividade elétrica, onde se procede a adição de nutrientes na solução nutritiva com soluções estoques sempre que houver queda de $0,25 \text{ mS cm}^{-1}$ na condutividade elétrica inicial.

2.6.2 – Outros Aspectos Importantes.

A temperatura influencia todos os processos vegetais, em algum grau. Temperaturas ótimas para plantas superiores normalmente estão na faixa de 15 °C a 35 °C. O crescimento das plantas pode ser melhorado com o aumento da temperatura até um valor ótimo (EPSTEIN; BLOON, 2004).

A temperatura da própria planta tende a acompanhar a do ambiente, mas pode ser ligeiramente mais alta ou mais baixa devido ao fato de o vegetal responder mais lentamente do que o ar às variações de calor. As alterações diárias são freqüentes e comuns, mas devem ser também consideradas as alterações provocadas pelo vento, nuvens e variações sazonais, as quais podem ser responsáveis por mudanças significativas nas condições de temperatura do ambiente (ANDRIOLO, 1999).

Em hidroponia o nível de oxigênio (O₂) na solução é dependente da sua temperatura. A oxigenação da solução é importante para a respiração das raízes. Quando a solução nutritiva apresenta baixos níveis de O₂, ocorre morte dos meristemas radiculares, pequena ramificação das raízes, e baixa absorção de água e nutrientes (FAQUIN; FURLANI, 1999).

Jensen (1997) ressalta que o conteúdo de O₂ dissolvido na solução nutritiva não deve ser inferior a 5,0 ppm, sendo o valor ótimo em torno de 8,0 ppm. Toda vez que o nível de O₂ atingir valores críticos, o mesmo deverá ser aumentado por meio da turbulência da solução nutritiva no reservatório, através do retorno da solução sob pressão da bomba, em tubulação própria para dentro do depósito ou borbulhamento por ar comprimido.

O nível de O₂ na solução é dependente da sua temperatura. A solução aquecida tende a perder a capacidade de reter O₂. Jensen (1997) salienta que para se evitar o pendoamento e a morte das raízes da alface, a temperatura da solução não deve exceder a 20 °C, principalmente, quando a temperatura do ar estiver acima de 32 °C. Para a maioria das hortaliças, a temperatura das raízes não deve estar abaixo de 13 °C (FAQUIN; FURLANI, 1999).

Segundo Gislard e Adams (1983); Jeannequin (1987), em cultivos sem solo o O₂ é fornecido unicamente através da solução nutritiva. Portanto, deve-se dar especial atenção aos teores existentes, que diminuem com o aumento da temperatura. Temperaturas mais elevadas estão associadas a uma atividade fisiológica mais intensa da planta, o que provoca um aumento da demanda de O₂.

O teor de O_2 do meio radicular também afeta indiretamente a absorção mineral, pela influência que exerce sobre o crescimento do sistema radicular. A absorção dos nutrientes inicia pela superfície externa das raízes. Por isso, é necessário que as plantas disponham de um volume radicular adequado. Quando o teor de oxigênio é baixo, a respiração das raízes é afetada, provocando sua morte. Várias moléstias estão também associadas à aeração deficiente do meio radicular, reduzindo a superfície de absorção. É por essa razão que muitos produtores de hortaliças observam o aspecto das raízes como um indicador da habilidade das plantas em absorver nutrientes. Um sistema radicular abundante e de coloração clara é um indicador visual de um teor adequado de O_2 (ANDRIOLO, 1999).

Em cultivos hidropônicos o pH também é um aspecto determinante para o desenvolvimento dessa atividade. Ele é um fator indicativo que dá disponibilidade dos elementos nutricionais às plantas. O pH deve ser monitorado diariamente através de um "peagamêtro portátil", mantendo seu valor na faixa de 5,5 a 6,5, embora variações de uma unidade acima ou abaixo desses valores sejam bem toleradas pelas plantas. A maioria das soluções nutritivas não tem capacidade tampão, dessa forma o pH varia continuamente, não se mantendo dentro de uma faixa ideal. Furlani *et al.* (1999) salientam que variações na faixa de 4,5 a 7,5 são toleradas, sem problemas ao crescimento das plantas. No entanto, valores abaixo de 4,0 afetam a integridade das membranas celulares e valores superiores a 8,0 exigem atenção redobrada com possíveis sintomas de deficiência de ferro, fósforo, boro e manganês.

Na solução nutritiva as variações de pH são devidas a absorção diferenciada de cátions e ânions. Os íons que vão nutrir as plantas possuem faixas de pH em que suas solubilidades e disponibilidade variam. Entretanto valores entre 5,5 e 7,0 satisfazem a todos os elementos essenciais. É importante ressaltar que em cultivos hidropônicos quando o N é fornecido na forma nítrica (NO_3^-), a absorção de ânions é maior que cátions ocorrendo elevação do pH. Por isso recomenda-se o fornecimento de parte do N também na forma amoniacal (NH_4^+). Entretanto, o NH_4^+ só pode ser utilizado em até 20% da quantidade total de N da formulação (FAQUIN; FURLANI, 1999).

Têm sido usados os hidróxidos de sódio e de potássio para a elevação do pH e os ácidos clorídrico, sulfúrico e nítrico para o seu abaixamento. O manuseio desses produtos deve ser bastante cuidadoso, evitando-se o contato direto com a pele e os olhos. Furlani *et al.* (1999) salientam que é mais conveniente manter a solução nutritiva equilibrada em cátions e ânions para atender a demanda da planta, que tentar manter o pH numa faixa estreita de valores através do uso de ácidos/bases, para diminuir ou aumentar o pH do meio de crescimento.

3 – Material e Métodos.

3.1 – Caracterização da Área de Estudo.

A pesquisa de campo foi conduzida no período de 10 de julho a 29 de agosto de 2007, no Núcleo de Horticultura da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Belém/PA; cujas coordenadas geográficas são 01° 28' latitude Sul, 48° 30' longitude Oeste e altitude de 9m.

O clima da região é Tropical Úmido, tipo Afii na classificação climática de *Köppen*. Com precipitação pluviométrica anual elevada, bem distribuída ao longo do ano e inexistência de estação seca definida, sendo que a umidade relativa do ar gira em torno de 65% a 90% e a temperatura média anual varia entre 24 °C e 27 °C, com pequenas oscilações de 1 °C a 3 °C ao longo do ano.

Os dados meteorológicos de temperatura e umidade relativa do ar registrada durante o período de realização do experimento são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Médias mensais de temperatura e umidade relativa do ar registrada na Estação Agroclimatológica da Embrapa Amazônia Oriental. Período: junho-agosto de 2007.

Meses	Temp. Máxima (°C)	Temp. Mínima (°C)	Umid. Rel. Máxima (%)	Umid. Rel. Mínima (%)
Junho	30,3	23	100	66
Julho	31,2	23,4	100	65
Agosto	31,4	23,8	100	63

Fonte: Estação Agroclimatológica da Embrapa Amazônia Oriental.

Foram utilizados 3 conjuntos de casas de cultivo protegido, cada conjunto era composto por 2 casas estruturadas para hidroponia do tipo NFT (Figura 1). As casas de cultivo protegido possuem toda a estrutura em madeira, com semi-lanternim, cobertas com filme de polietileno transparente aditivado contra raio ultravioleta (100 µm) e as seguintes dimensões: 6,0 m de largura, 15 m de comprimento e 4,0 m de pé direito. Os perfis das bancadas possuem diâmetro de 75 mm e declividade de 2%.

Cada conjunto de casas de cultivo protegido era interligado a um reservatório de plástico rígido com capacidade para 1.000 litros e um conjunto motobomba. Um temporizador foi instalado em cada eletrobomba, programado para fornecer a solução nutritiva de forma intermitente com 15 min fornecendo solução e 15 min sem fornecimento. No período noturno, a programação foi de 15 min fornecendo solução após intervalos de 4 h sem fornecimento.

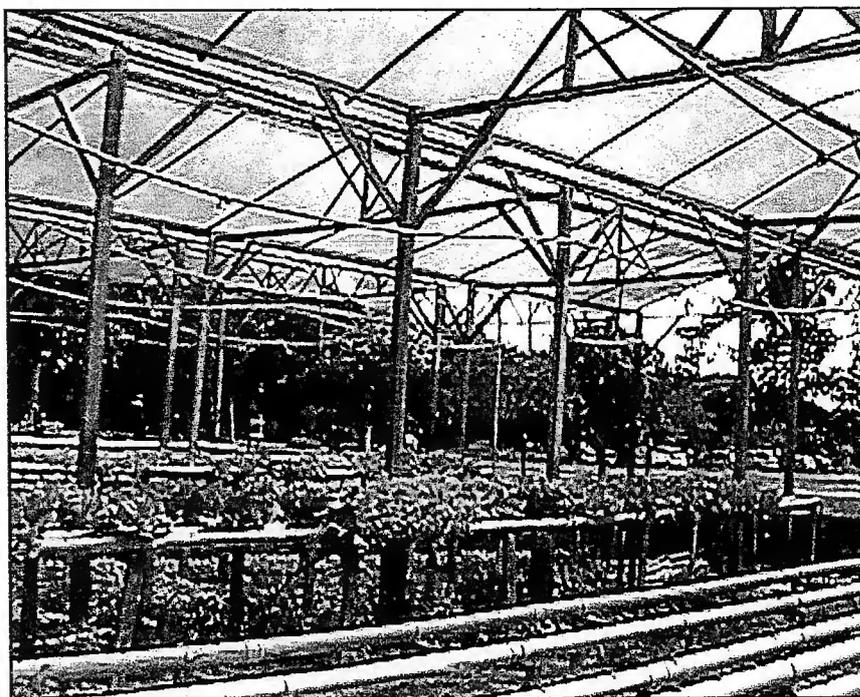


Figura 1 – Casa de cultivo protegido estruturada para hidroponia do tipo NFT, Belém/PA – UFRA. 2007.

3.2 – Delineamento Experimental e Tratamentos.

O delineamento estatístico utilizado foi em blocos casualizados, no esquema fatorial 3x3, com quatro repetições. Cada unidade experimental foi composta por 90 plantas (30 plantas/cultivar) que receberão os métodos em estudo, que são os tratamentos. Os tratamentos resultaram da combinação das cultivares de alface submetida a diferentes formas de reposição de nutrientes da solução nutritiva.

Os dados foram submetidos à análise da variância, sendo as médias comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

As cultivares de alface utilizadas foram Regina do grupo lisa, Kaeser do grupo americana e Verônica do grupo crespa (Figura 2).

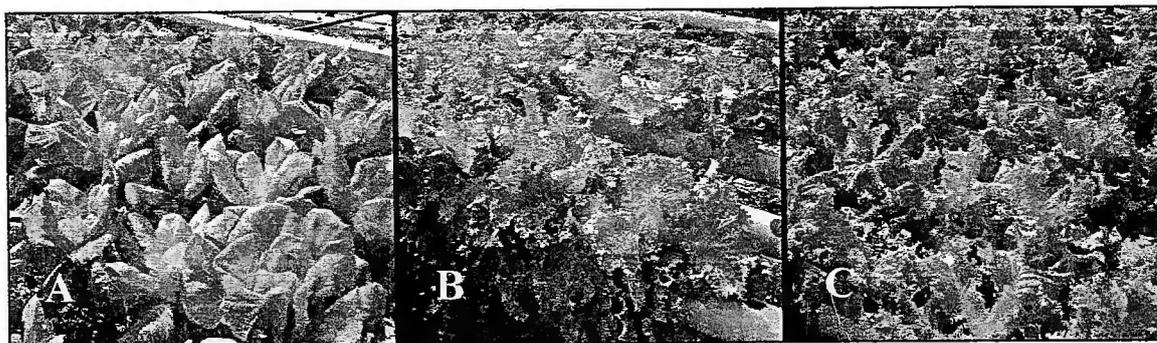


Figura 2 – Cultivares de alface: (A) cv. Regina; (B) cv. Kaeser; (C) cv. Verônica, Belém/PA – UFRA. 2007.

As plantas foram submetidas a 3 formas de reposição de nutrientes da solução nutritiva. No primeiro a reposição foi feita somente com água corrente; no segundo quando a CE apresentava valores abaixo de $1,4 \text{ mS cm}^{-1}$, a reposição era feita com 50% da formulação inicial. Neste tratamento foi totalizada uma única reposição ao longo do ciclo, aos 40 DAS. Por último, a reposição era feita utilizando o critério da manutenção da CE em $2,0 \text{ mS cm}^{-1}$ mediante a adição de soluções de ajuste, de acordo com a recomendação proposta por Furlani (1998). Desse modo era adicionado 1 L da solução “A”, 1 L da solução “B” e 50 ml da solução “C” (Tabela 4) para cada diferença na condutividade inicial de $0,25 \text{ mS cm}^{-1}$. Foram totalizadas três reposições de ajuste da CE desejada, aplicadas em média a cada sete dias de cultivo a partir do transplântio.

Tabela 4 – Composições das soluções de ajuste para as culturas de hortaliças de folhas, proposta pelo Instituto Agronômico de Campinas, 1998.

Solução	Sal/fertilizante	Quantidade
A	Nitrato de potássio	1.200 g/10 L
	Map	200 g/10 L
	Sulfato de magnésio	240 g/10 L
B	Nitrato de cálcio	600 g/10 L
	Sulfato de cobre	1,0 g/1 L
	Sulfato de zinco	2,0 g/1 L
C	Sulfato de manganês	10 g/1 L
	Ácido bórico	5,0 g/1 L
	Molibdato de sódio	1,0 g/1 L
	Ferrilene® (FeEDDHA-6%Fe)	20 g/1 L

Fonte: Furlani (1998).

3.3 – Condução do Experimento e Variáveis Estudadas.

Inicialmente foi feita assepsia das bandejas de germinação e dos perfis de cultivo das bancadas do sistema NFT, com solução de água e hipoclorito de sódio a 2%. Posteriormente esses materiais foram enxaguados em água corrente.

A semeadura foi realizada em bandejas de poliestireno de 128 células, contendo substrato comercial vermiculita, no sistema subsuperficial. Nessa fase a solução nutritiva utilizada foi a recomendada por Furlani (1998) para folhosas, diluída a 25% da formulação inicial. As mudas foram transplantadas para os perfis no 20 DAS, quando atingiram dois pares de folhas definitivas. As plantas foram retiradas das células e passadas para os canais de cultivo, após a lavagem do sistema radicular em água corrente, para a retirada da vermiculita aderida às raízes.

Nos tratamentos foi utilizada a solução nutritiva recomendada por Furlani (1998) para folhosas, a 100% da formulação inicial, cuja composição química é 750g $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}/1000\text{L}$; 500g $\text{KNO}_3/1000\text{L}$; 150g $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4/1000\text{L}$; 400g $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}/1000\text{L}$; 0,15g $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}/1000\text{L}$; 0,5g $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}/1000\text{L}$; 1,5g $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}/1000\text{L}$; 1,5g $\text{H}_3\text{BO}_3/1000\text{L}$; 0,15g $\text{NaMoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}/1000\text{L}$ e 30g Fe EDHHA.

O volume de solução foi ajustado de acordo com a capacidade do reservatório. Sendo o volume adotado neste experimento de 1,5 litros/planta (solução nutritiva). O pH e a CE dos tratamentos foram monitorados diariamente após completado o volume do reservatório com água corrente. O pH foi mantido dentro de uma faixa de 5,5 e 6,5. Posteriormente à leitura, efetuava-se a leitura da CE inicial, sendo esta considerada para a realização das reposições de nutrientes de acordo com os métodos adotados.

No final do ciclo de produção da cultura, foram coletadas dez plantas por parcela e avaliadas as características (g planta^{-1}): matéria fresca total; matéria fresca da parte aérea; matéria fresca da raiz; matéria seca total; matéria seca da parte aérea; matéria seca da raiz; comprimento do sistema radicular (cm planta^{-1}) e número de folhas (planta^{-1}).

A determinação da matéria seca foi realizada secando-se as partes da planta separadamente (raiz, caule e folhas) em estufa de aeração forçada a 75°C até peso constante, realizando-se posteriormente a pesagem das mesmas em balança digital de alta precisão.

Para a avaliação do crescimento das cultivares, realizaram-se coletas semanais de três plantas por parcela para determinação da TCA. Esta taxa representa o ganho de matéria seca de uma planta sem levar em consideração o material inicial existente que deu origem a esse ganho. A TCA fornece uma simples idéia do desenvolvimento pontual individual da planta. Também se determinou a TCR. Esta é a medida mais adequada para avaliar o crescimento de uma planta. Representa a quantidade (área, volume, peso) de material vegetal produzido por determinada quantidade de material existente, durante um intervalo de tempo prefixado. A TCR fornece uma visão instantânea da eficiência de produção de uma planta a partir de uma derivada do crescimento em determinado período.

A TCA e a TCR foram calculadas segundo as equações propostas por Hunt (1990).

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

$$TCR = \frac{(\ln m_2 - \ln m_1)}{(t_2 - t_1)} (g \cdot dia^{-1})$$

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

Posteriormente, procedeu-se a análise foliar para determinação dos teores de macronutrientes (exceção S) de acordo com a metodologia proposta por Tedesco *et al.* (1995). As determinações foram realizadas no Laboratório da Análise de Solos e Plantas da UFRA.

De acordo com a metodologia, após a determinação da MSPA, realizou-se a moagem das mesmas para as determinações analíticas. Foram pesadas 0,1 g de amostra da parte aérea da planta moída para o preparo dos extratos. A digestão sulfúrica foi utilizada para posterior determinação do teor de N, enquanto que a digestão nítrico-perclórica para posterior determinação dos teores de P, K, Ca e Mg.

A determinação analítica do N foi feita pelo método de *Kjeldahl*; a determinação do P pelo espectrofotômetro a 660 nm; K através da fotometria de chama de emissão; Ca e Mg foram processados por espectrofotometria de absorção atômica.

4 – Resultados e Discussão.

4.1 – Variáveis Biométricas.

Durante o período de realização do experimento de campo, compreendido entre os meses de julho e agosto de 2007, as condições climáticas apresentaram temperaturas médias diurna de 28,8 °C, insolação de 12 horas diárias e chuvas ocasionais no final da tarde.

Quanto ao aspecto fitossanitário, não houve problema em relação ao ataque de inseto. As plantas apresentaram sintomas de *Cercospora sp.*, fungo que ataca a parte aérea causando manchas foliares. O controle foi feito através do uso de azoxistrobina (ingrediente ativo), na concentração de 0,1 g/litro de água.

Inicialmente foi feita uma análise da água para determinação dos valores de CE e pH. Os valores encontrados foram 0,5 mS cm⁻¹ e 4,5 respectivamente, valores considerados aceitáveis para o cultivo hidropônico. Hanger (1986) recomenda que a água utilizada no cultivo hidropônico deva ser isenta de patógenos e com características químicas adequadas, não devendo conter, por exemplo, mais que 350 ppm de sais ou 0,5 mS cm⁻¹. Em relação ao pH, variações na faixa de 4,5 a 7,5 são toleradas, sem problemas ao crescimento das plantas. No entanto, valores abaixo de 4,0 afetam a integridade das membranas celulares e valores superiores a 6,5 exigem atenção redobrada com possíveis sintomas de deficiência de Fe, P, B e Mn (FURLANI *et al.*, 1999). Neste experimento, foi utilizado hidróxido de sódio (NaOH, 1N) para correção da acidez da solução nutritiva, toda vez que o pH alcançava valor mínimo de 4,5.

Observou-se que, durante o período experimental, houve uma variação na faixa de pH, com valores mínimos de 4,5 e máximos de 6,0; como mostra a Figura 3. A variação do pH dos tratamentos (reposição de nutrientes) resultou em uma tendência à acidez imposta pela solução nutritiva. Nas duas primeiras semanas após o transplante das mudas para os perfis das bancadas de cultivo, pode-se atribuir a tendência à acidez a própria água acidificada utilizada diariamente para completar o volume do reservatório. A água possuía valores de pH em torno de 4,5.

Por outro lado, essa variação na faixa de pH foi influenciada pelo consumo da solução nutritiva de acordo com as formas de reposição de nutrientes adotadas nessa pesquisa. A partir dos 35 DAS, inicia-se a fase de crescimento constante de uma planta, período de maior absorção de nutrientes, atingindo o seu pleno desenvolvimento e acúmulo de biomassa de acordo com as características específicas de cada cultivar e condições climáticas. Epstein e Bloom (2004) ressaltam que em hidroponia o efeito do pH é duplo: primeiro, influi no equilíbrio oxidação-redução e na solubilidade de vários constituintes, bem como na forma iônica de vários elementos; segundo, influi nas raízes das plantas, especialmente nas membranas transportadoras de íons das células epidérmicas e corticais da raiz.

Foram coletados valores médios de temperatura e oxigênio dissolvido da solução nutritiva (Figura 4). A temperatura influencia todos os processos vegetais, em algum grau. Temperaturas ótimas para as plantas superiores normalmente estão na faixa de 15 °C a 35 °C. Dessa forma, o crescimento das plantas pode ser melhorado com o aumento da temperatura até um valor ótimo (EPSTEIN; BLOON, 2004).

Em hidroponia o nível de O₂ na solução é dependente da sua temperatura. Faquin e Furlani (1999) citam que a oxigenação da solução é importante para a respiração das raízes. Quando a solução nutritiva apresenta baixos níveis de O₂, ocorre morte dos meristemas radiculares, pequena ramificação das raízes, e diminuição da absorção de água e nutrientes. Desse modo, o O₂ deve então estar disponível no meio radicular. Quando esse elemento é fornecido unicamente pela solução nutritiva, deve-se dar especial atenção aos teores existentes que diminuem com o aumento da temperatura. Temperaturas mais elevadas estão associadas a uma atividade fisiológica mais intensa da planta, o que provoca um aumento da demanda de O₂ (GISLEROD; ADAMS, 1983; JEANNEQUIN, 1987) e na medida em que diminui o teor de O₂ na solução, a respiração das raízes é afetada, provocando sua morte. Com a morte das raízes, normalmente ocorre à incidência do fungo *Pythium*.

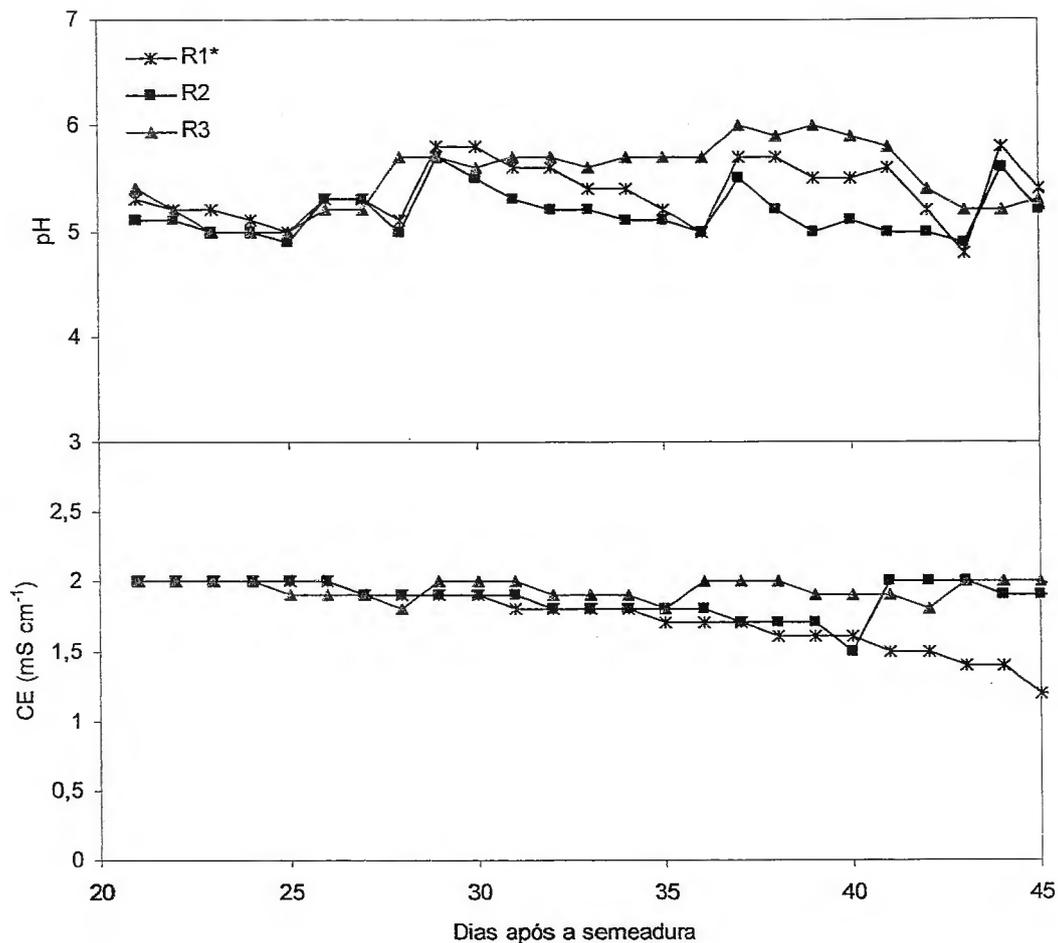


Figura 3 - Valores diários de pH e CE da solução nutritiva considerando três formas de reposição de nutrientes. UFRA, Belém/PA, 2007.

R1* – Reposição feita somente com água; R2 – reposição feita com 50% da formulação inicial; R3 – reposição baseada na manutenção da CE em $2,0 \text{ mS cm}^{-1}$ mediante a adição de soluções de ajuste.

Outro fator que interfere no crescimento das raízes é a temperatura do meio radicular. Os processos bioquímicos que se desenrolam no interior de um vegetal precisam de temperaturas adequadas para poder realizar-se corretamente. No caso específico da absorção mineral, a temperatura das raízes é determinada pelo meio radicular.

A absorção é fortemente reduzida por temperaturas acima de 35°C e abaixo de 15°C . É por essa razão que, no manejo das culturas fora do solo e em ambiente protegido, aconselha-se manter a temperatura do meio radicular nos limites entre 18°C e 25°C (SCHNEIDER *et al.*, 1993). Tanto a absorção mineral como o crescimento da planta são afetados por temperaturas acima ou abaixo de um certo limite.

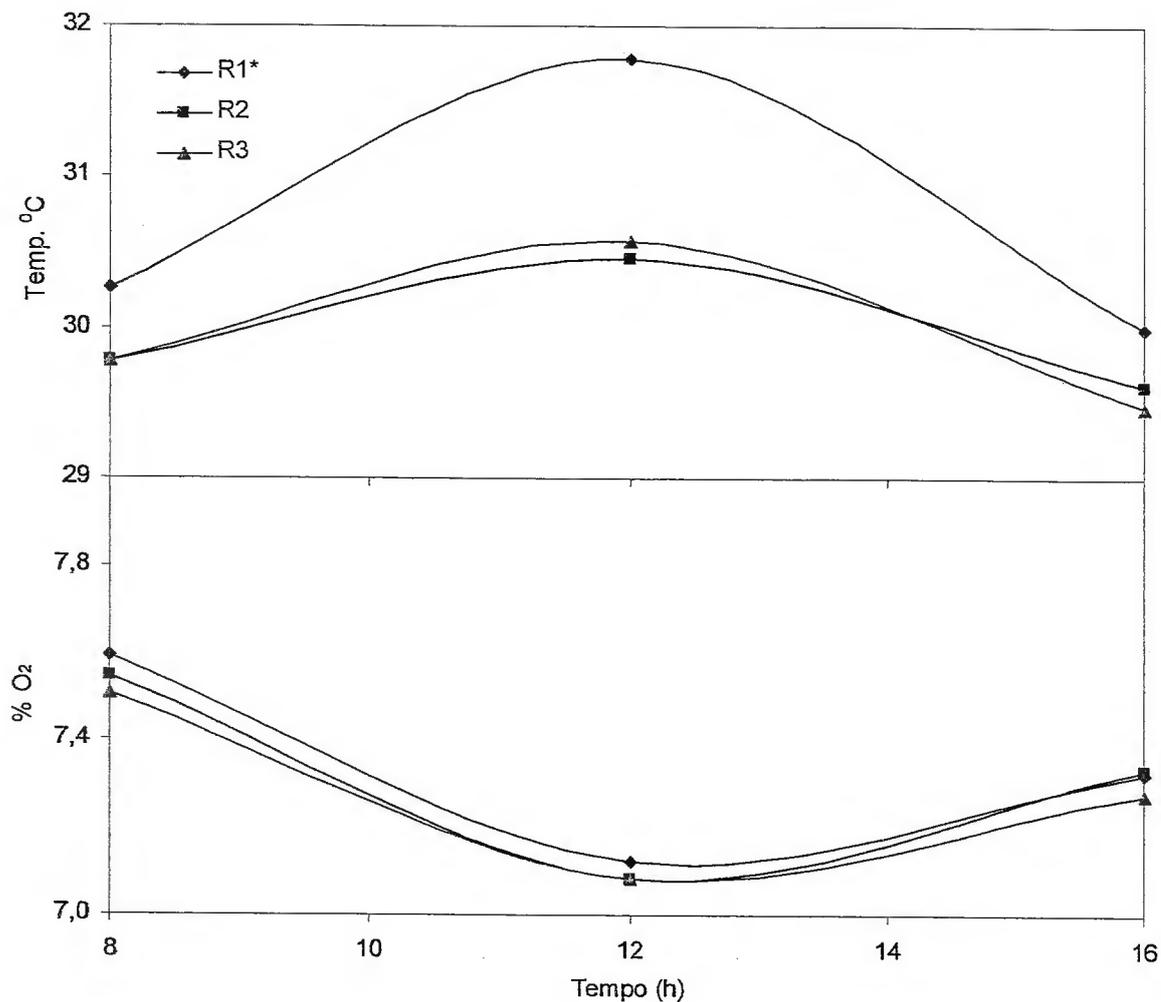


Figura 4 – Valores médios de temperatura e oxigênio dissolvido da solução nutritiva considerando três formas de reposição de nutrientes. UFRA, Belém/PA, 2007.

R1* – Reposição feita somente com água; R2 – reposição feita com 50% da formulação inicial; R3 – reposição baseada na manutenção da CE em $2,0 \text{ mS cm}^{-1}$ mediante a adição de soluções de ajuste.

A partir dos dados apresentados na Figura 4, pode-se afirmar que os valores de temperatura do meio radicular obtidos no experimento, se encontram em níveis mais elevados em comparação aos indicados por autores como: Gislerod e Adams (1983); Jeannequin (1987); Schneider *et al.* (1993).

A análise de variância dos resultados mostrou que não houve interação entre cultivares e diferentes formas de reposição de nutrientes da solução nutritiva (Tabela 5).

Tabela 5 – Resumo da análise de variância das características (g. planta⁻¹): matéria fresca total (MFT); matéria fresca da parte aérea (MFPA); matéria fresca da raiz (MFRA); matéria seca total (MST); matéria seca da parte aérea (MSPA); matéria seca da raiz (MSRA); comprimento do sistema radicular (CRA, cm planta⁻¹) e número de folhas (NF, planta⁻¹) de cultivares de alface submetidas a três formas de reposição de nutrientes da solução nutritiva em sistema NFT. UFRA, Belém/PA, 2007.

Fonte de Variação	Quadrado Médio								
	GL	MFT	MFPA	MFRA	MST	MSPA	MSRA	CRA	NF
Reposição	2	11206,4**	6661,5**	140,5**	21,8**	20,9**	0,31**	129,0**	36,6**
Cultivar	2	13215,6**	11997,2**	135,1**	2,7 ^{ns}	14,3**	0,00 ^{ns}	82,0**	2018,0**
Rep. x cv	4	1308,1 ^{ns}	932,7 ^{ns}	21,2 ^{ns}	1,0 ^{ns}	1,5 ^{ns}	0,03 ^{ns}	1,9 ^{ns}	4,6 ^{ns}
Tratamento	8	6759,6	5131,0	79,5	6,6	9,5	0,09	53,74	516,0
Bloco	3	4188,8*	2621,5*	81,0**	0,9 ^{ns}	3,2 ^{ns}	0,01 ^{ns}	9,3 ^{ns}	13,1 ^{ns}
Resíduo	24	1011,1	632,3	15,9	1,7	1,2	0,01	9,0	5,4
CV (%)		16,76	18,26	16,29	14,59	16,87	10,76	12,78	9,62

** Significativo em nível de 5% de probabilidade.

ns – não significativo

Observa-se pelos resultados apresentados na Tabela 6 que não houve diferença significativa entre a reposição de nutrientes feita com 50% da formulação inicial e a reposição baseada na manutenção da CE em 2,0 mS cm⁻¹, sendo ambas superiores, em todas as variáveis apresentadas na tabela, à reposição feita somente com água, com exceção da variável CRA. Somente nesta variável a reposição feita somente com água obteve desempenho superior.

Tabela 6 – Análise das médias do fator reposição de nutrientes (g planta⁻¹): matéria fresca total (MFT); matéria fresca da parte aérea (MFPA); matéria fresca da raiz (MFRA); matéria seca total (MST); matéria seca da parte aérea (MSPA); matéria seca da raiz (MSRA); comprimento do sistema radicular (CRA, cm planta⁻¹) e número de folhas (NF, planta⁻¹). UFRA, Belém/PA, 2007.

Reposição	MFT	MFPA	MFRA	MST	MSPA	MSRA	CRA	NF
R1	157,0*b	112,0 b	20,5 b	7,4 b	5,2 b	0,9 b	25,7 a	22,3 b
R2	217,5 a	159,3 a	26,4 a	9,8 a	7,6 a	1,1 a	24,9 a	25,3 a
R3	194,3 a	141,0 a	26,5 a	9,7 a	7,3 a	1,2 a	19,7 b	25,2 a
CV%	16,76	18,26	16,29	14,59	16,87	10,76	12,78	9,62

R1 – Reposição feita somente com água; R2 – reposição feita com 50% da formulação inicial; R3 – reposição baseada na manutenção da CE em 2,0 mS cm⁻¹ mediante a adição de soluções de ajuste.

* Valores seguidos da mesma letra na vertical não diferem significativamente entre si ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

Tal fato indica que as reposições feitas no tratamento em que foi mantida a CE no nível mais alto favoreceram o desenvolvimento vegetativo e o acúmulo de matéria seca. Na reposição baseada na manutenção da CE em $2,0 \text{ mS cm}^{-1}$ foram totalizadas três reposições de ajuste da CE desejada, aplicadas em média a cada sete dias de cultivo a partir do transplante. Essas reposições realizadas ao longo do cultivo contribuíram para uma maior disponibilidade dos nutrientes na solução nutritiva, resultando em um aumento de produtividade, que pode ser justificada pela relação entre MFT e MST apresentada na Tabela 6. Nesta relação a percentagem da reposição baseada na manutenção da CE em $2,0 \text{ mS cm}^{-1}$ foi de 4,99%; enquanto que na reposição feita com 50% da formulação inicial de 4,50% e na reposição feita somente com água de 4,71%.

Esta relação indica que a reposição baseada na manutenção da CE em $2,0 \text{ mS cm}^{-1}$ obteve em média 9,7 g (matéria seca) por planta, no ponto de colheita, ou seja, aos 45 DAS. Valor este considerado satisfatório quando comparado à produção de alface em solo. Garcia, Haag e Diehl Neto (1988) obtiveram, trabalhando com alface em solo, 12,5 g de matéria seca por planta apenas aos 72 dias de cultivo. Faquin, Furtini e Vilela (1996) obtiveram plantas com 14,8 g de folhas (base de matéria seca) por planta aos 30 dias após o transplante, no ponto de colheita.

Malavolta (2006) ressalta que cada cultura tem suas próprias exigências nutricionais e a absorção dos nutrientes está condicionada a esses valores máximos para a dosagem de nutrientes requeridas durante as diferentes fases de desenvolvimento. Em hidroponia, essas dosagens devem ser calculadas em função do volume de solução e da densidade das plantas. O autor ainda relata a importância de se encontrar a dosagem máxima econômica, traduzida pela Lei de Mischerlich, pois a manutenção de determinados níveis de concentração de sais da solução nutritiva para certa densidade de plantas poderá implicar em desequilíbrio nutricional com acúmulo ou falta de nutrientes ao longo do período de crescimento e desenvolvimento das plantas.

A análise das médias gerais das variáveis apresentadas na Tabela 6 mostrou não haver diferenças entre a reposição baseada na manutenção da CE em $2,0 \text{ mS cm}^{-1}$ e a reposição feita com 50% da formulação inicial. Isso indica uma vantagem para o produtor do ponto de vista econômico, na medida em que pode optar pela reposição feita com 50% da formulação inicial, cujo investimento econômico é menor, devido exigir um menor número de reposições de nutrientes ao longo do ciclo. Este menor número é possível em virtude da mesma ter sido realizada somente quando a solução nutritiva atingiu valores de CE abaixo de $1,4 \text{ mS cm}^{-1}$.

Os resultados obtidos estão de acordo com os demonstrados por Alfama (2008), que verificou que para a produção de alface hidropônica em regiões de clima tropical, a redução da CE da solução inicial para $1,0 \text{ mS cm}^{-1}$, possibilita uma economia anual de até R\$ 2.300,00 em nutrientes, sem prejuízo da produtividade da cultura. Cometti *et al.* (2008) também recomendam o uso de soluções mais diluídas para a produção de alface em sistema hidropônico NFT, em virtude da racionalização do uso de fertilizantes e diminuição dos custos.

Quando se mantém valores de condutividade elétrica elevados durante o cultivo, a absorção de água pelas plantas, através do sistema radicular, é prejudicada. Bresler e Hoffmann (1986) ressaltam que o potencial osmótico do meio nutritivo aumenta em proporção direta à concentração de sais da solução de modo que há uma maior retenção da água e dificuldade para as raízes absorverem essa água com os sais dissolvidos que formam a solução nutritiva. Epstein e Bloom (2004) citam que as plantas não exigem as altas concentrações de nutrientes encontradas nas formulações usuais de soluções nutritivas. Segundo esses autores, vários estudos sobre potássio, fósforo e nitrogênio têm demonstrado que as plantas crescem normalmente e contêm concentrações normais desses nutrientes em seus tecidos, se os mesmos estão disponíveis na faixa de 0,1 ppm.

Cometti (2003) relata que a utilização de concentrações salinas elevadas nas soluções nutritivas, concomitante às condições ambientais de alta temperatura, alta umidade e elevada luminosidade, pode provocar problemas de desordens nutricionais. Isso é observado na região Norte onde, comumente, os produtores hidropônicos utilizam soluções nutritivas mais diluídas. A condutividade elétrica da solução nutritiva para a produção de alface varia entre $1,0$ a $1,3 \text{ mS cm}^{-1}$, ao contrário da região Sul e Sudeste onde a mesma fica entre $2,0$ a $2,5 \text{ mS cm}^{-1}$.

Portanto, o uso de soluções mais diluídas não deve ser descartada. Têm surgido propostas de baixar a concentração das soluções em regiões de clima quente, através do uso de soluções com CE entre $1,0$ a $1,5 \text{ mS cm}^{-1}$, pois, sabe-se que, proporcionalmente, as plantas absorvem mais água que nutrientes em virtude da alta atividade fisiológica das mesmas (FURLANI *et al.*, 1999).

Em relação à reposição feita somente com água, esta apresentou redução contínua da condutividade elétrica ao longo do ciclo. Tal fato indica que nesse tratamento a solução inicial adotada, proposta por Furlani (1998), a 100% da força iônica, não foi suficiente para que as plantas completassem seu ciclo sem prejuízo da produção final. Entretanto, Faquin e Furlani (1999) ressaltam que, para a alface, tem sido recomendado o volume de 1,0 litro/planta (solução nutritiva), evitando uma redução diária muito grande na concentração dos nutrientes e um aquecimento excessivo da solução nutritiva. Isso indica que o volume aferido de 1,5 litros/planta (solução nutritiva), seria suficiente para que as plantas chegassem ao final do ciclo de produção, sem que houvesse necessidade de reposição de nutrientes na solução nutritiva, o que não foi confirmado nesta pesquisa.

Os resultados obtidos indicam que a faixa da concentração da solução para produção de alface, pode variar de 100 a 50% da concentração inicialmente proposta, sem prejuízo da produtividade da cultura. Entretanto, maiores diluições podem causar diminuição na produtividade proporcionalmente a concentração da solução nutritiva. Convém salientar que na reposição feita somente com água, foram obtidos níveis de produção aceitáveis pelo consumidor. No entanto, as plantas encontravam-se menos desenvolvidas, depreciando a qualidade do produto. Portanto, a necessidade de reposição de nutrientes ao longo do ciclo vegetativo se mostra imprescindível na produção comercial de alface em sistema NFT na Amazônia.

Moraes e Furlani (1999) citam que a capacidade do reservatório depende da espécie e do número de plantas a cultivar, e à medida que as plantas absorvem os fertilizantes, há uma diminuição dos elementos disponíveis proporcionalmente ao volume do reservatório, ou seja, quanto maior o volume adotado, menor a variação nutricional no reservatório.

É importante ressaltar que na reposição feita somente com água, a variável CRA obteve comportamento diferente em relação as demais formas de reposição.

Observa-se que o uso de soluções mais diluídas resulta no crescimento em comprimento das raízes. No entanto, esse crescimento não traduz em um aumento de volume de raízes. A partir dos resultados obtidos com matéria fresca e seca de raízes (Tabela 6), pode-se afirmar que na reposição feita somente com água houve uma expansão no comprimento em detrimento da formação de pêlos radiculares e apêndices laterais.

Tal fato indica que na reposição feita somente com água a redução contínua da CE resultou em um desequilíbrio nutricional da solução nutritiva. Desse modo, as plantas estavam submetidas a uma condição de estresse nutricional. Tal condição estimula a extensão em comprimento do sistema radicular em áreas com maior disponibilidade de nutrientes. Gahoonia, Nielsen e Lyshede (1999) ressaltam que a exposição a baixos níveis de nutrientes pode estimular a extensão de pêlos radiculares.

Em condições naturais e agricultáveis, as plantas estão freqüentemente expostas ao estresse ambiental e as resposta fisiológicas das plantas aos estresses ambientais são multifacetadas: diferentes estresses podem invocar mecanismos similares de tolerância e, assim, a exposição a um estresse confere tolerância aumentada a outro (GRIERSON, 1999). Nesse sentido, a característica CRA pode ser utilizada como um indicador visual de desequilíbrio nutricional da solução nutritiva.

Clarkson (1985); Jungk (2001) citam que alguns pêlos não acentuam a absorção de nutrientes. Eles podem estar situados onde o ápice da raiz já exauriu a rizosfera de água e nutrientes ou podem crescer tão lentamente e tão perto um dos outros que suas próprias zonas de esgotamento se sobrepõem. Na reposição baseada na manutenção da CE em $2,0 \text{ mS cm}^{-1}$ foram formados densos aglomerados laterais de raízes.

No que se refere ao comportamento das cultivares (Tabela 7), Kaeser não diferiu significativamente de Regina para produção de MFT, apresentando a cv. Verônica desempenho inferior. Entretanto, para produção de MFPA, Kaeser apresentou desempenho superior em relação às demais cultivares de alface. Já na característica MFRA, Regina obteve desempenho superior em relação às demais cultivares que não diferiram significativamente entre si.

Tabela 7 – Análise das médias do fator cultivares de alface (g planta^{-1}): matéria fresca total (MFT); matéria fresca da parte aérea (MFPA); matéria fresca da raiz (MFRA); matéria seca total (MST); matéria seca da parte aérea (MSPA); matéria seca da raiz (MSRA); comprimento do sistema radicular (CRA, cm planta^{-1}) e número de folhas (NF, planta^{-1}). UFRA, Belém/PA, 2007.

Cultivares	MFT	MFPA	MFRA	MST	MSPA	MSRA	CRA	NF
Verônica	151,0*b	105,0 c	23,0 b	9,5 a	6,1 b	1,1 a	20,6 b	16,4 b
Kaeser	212,7 a	168,5 a	22,1 b	9,5 a	7,9 a	1,1 a	23,8 a	17,2 b
Regina	204,5 a	139,0 b	28,3 a	9,0 a	6,0 b	1,1 a	25,8 a	39,2 a
CV%	16,76	18,26	16,29	14,59	16,87	10,76	12,78	9,62

* Valores seguidos da mesma letra na vertical não diferem significativamente entre si ao nível de 5% pelo teste de Tukey

Verifica-se que, em geral, as cultivares dos grupos lisa e americana apresentaram melhor adaptação às condições de clima, no que se refere às altas temperaturas e fotoperíodo, na medida em que não houve diferença significativa entre as mesmas para produção de matéria fresca. Este comportamento observado na relação entre as cultivares pode ser justificado pela própria técnica de cultivo em filme nutritivo, já que nesta técnica a solução nutritiva sofre maior influência de fatores como: salinidade, pH, oxigenação, temperatura do ar e da própria solução, fatores estes que influenciam acentuadamente no crescimento e no desenvolvimento das cultivares.

Por outro lado, a diferença significativa no acúmulo de matéria fresca entre as cultivares pode estar relacionada ao fator genético da própria cultivar e a sua interação com o ambiente. Figueiredo, Malheiros e Braz (2004) estudando a interação genótipo x ambiente de cultivares de alface do grupo lisa, crespa e americana em Jaboticabal (SP), ressaltam a ocorrência de uma elevada interação genótipo x ambiente. Martins *et al.* (1999) relatam que o cultivo em ambiente protegido é uma importante alternativa para superar limitações climáticas, especialmente considerando sua eficiência quanto à captação de energia radiante e aproveitamento pelas plantas da temperatura, água e nutrientes disponíveis.

Para a escolha da melhor forma de reposição de nutrientes, além do ambiente, o fator cultivar também influencia nessa tomada de decisão. A relevância deste fator para a escolha da forma de reposição está no fato de que cada cultivar apresenta características específicas no que se refere à duração do ciclo vegetativo, exigências nutricionais, taxas de extração de nutrientes diferentes e estágio fenológico.

Becker (1990) relata que o crescimento vegetativo da alface é definido como o período que abrange desde a emergência das plântulas até a iniciação floral, sendo que da semeadura até o transplante das mudas, o crescimento da parte aérea e do sistema radicular é lento. Após essa fase, inicia-se uma etapa de intensa emissão de folhas e acúmulo de matéria seca, atingindo seu máximo em função das cultivares e condições climáticas.

Os resultados obtidos estão de acordo com os demonstrados por Alfama (2008), o qual ressalta que cada cultivar tem uma taxa de crescimento diferenciada, de acordo com o ciclo vegetativo. Cultivares mais precoces possuem tendência em atingir seu peso fresco máximo aos 45 DAS, sendo que a partir deste momento diminuem as taxas de crescimento. Cultivares mais tardias apresentam comportamento linear ao longo do ciclo, com valores crescentes aos 50 DAS.

Observou-se uma diferença significativa, entre as cultivares estudadas, no que se refere à produção de MFPA. Kaeser apresentou desempenho superior em relação às demais cultivares. Este fato é relevante para o produtor visto que, muitos vêm oferecendo o produto minimamente processado, na forma de folhas destacadas, higienizadas e embaladas. Nesse sentido, o que importa não é a produção de “cabeça” de alface (o que não ocorre nas nossas condições de clima) mais sim de matéria fresca de folha. Portanto, a cv. Kaeser é uma alternativa para o produtor quando o objetivo do mesmo for produção de alface minimamente processada.

Para variável MFRA, a alface do grupo lisa apresentou desempenho superior em relação às demais que não diferiram significativamente entre si. Esse comportamento da cv. Regina pode ser explicado pelo sucesso adaptativo do ambiente radicular a variações de pH, salinização, oxigenação e temperatura ocorridas na solução nutritiva. Sucesso adaptativo implica que o organismo usa o ambiente de forma vantajosa para suas necessidades fisiológicas e que ele enfrenta aquelas características ambientais que são prejudiciais a ele. Alfama (2008) ressalta que a cv. Regina apresentou melhor adequação ao sistema de cultivo NFT. Contudo, a escolha de cultivares do grupo lisa deve ser de acordo com as exigências de mercado, quanto à qualidade e preferência do tipo de planta ou folha.

No que se refere ao acúmulo de matéria seca das cultivares, para a variável MSPA, Kaeser obteve desempenho superior em relação às demais cultivares que não diferiram significativamente entre si. Entretanto, para produção de MST e MSRA, não houve diferença significativa entre as cultivares (Tabela 7).

Este comportamento é devido à própria característica botânica da alface tipo americana que normalmente produz folhas grandes e pelo maior porte da planta. Entretanto, os resultados obtidos se mostram diferentes dos demonstrados por Alfama (2008) que relata que as médias gerais obtidas para o comportamento das cultivares demonstraram que a cv. Regina apresentou maiores teores de MSPA do que as demais cultivares, na ordem de 42,63% a mais do que a cv. Kaeser e 52,48% superior a cv. Verônica, justificado pelo hábito de crescimento da mesma, que normalmente produz maior número de folhas.

Para variável CRA, Verônica obteve desempenho inferior em relação às demais cultivares que não diferiram significativamente entre si (Tabela 7).

Observa-se que, em geral, a alface do grupo crespa obteve desempenho inferior em quase todas as variáveis analisadas na Tabela 7. Tal fato indica que a cv. Verônica não está totalmente adaptada as condições de cultivo em regiões de clima quente, com temperatura e luminosidade altas. Nessas regiões, as altas temperaturas podem acelerar o ciclo da cultura, resultando em plantas menores, floração prematura e indução do sabor amargo. Além do mais, as altas temperaturas fazem com que ocorra variação nos teores de oxigênio dissolvido e na temperatura do meio radicular ao longo do dia.

Por outro lado, o comportamento da cv. Verônica pode ser explicado em virtude da maior perda de matéria fresca e seca. Esta perda ocorreu devido a cultivar verônica apresentar precocemente abscisão das folhas mais velhas e senescentes. Outro fator que interferiu na perda de matéria fresca e seca foi o ciclo vegetativo mais curto dessa cultivar em relação as demais cultivares. Tais resultados têm grande efeito na produção regional uma vez que os produtores dão preferência ao cultivo desse grupo.

Para o fator NF, Regina obteve desempenho superior em relação às demais cultivares que não diferiram significativamente entre si (Tabela 7). Esse resultado deve-se à própria característica genética e botânica da alface do grupo lisa que normalmente produz maior número de folhas (FILGUEIRA, 2003), embora nem sempre o maior número de folhas represente maior rendimento, haja vista que esse acontecimento dependerá das cultivares que estão sendo estudadas e comparadas e também das condições de manejo e ambientais, conforme foi constatado por Silva *et al.*, (2008a, 2008b).

4.2 – Análise de Crescimento.

4.2.1 – Taxa de Crescimento Absoluto.

Observou-se que as cultivares de alface obtiveram taxas de crescimento diferenciadas nas três formas de reposições de nutrientes adotadas neste experimento (Figura 5).

Em relação à reposição feita somente com água, observou-se que no período compreendido entre 20 e 32 DAS, não houve diferenças entre as TCAs de nenhuma das cultivares de alface, apresentando valores em torno de $0,1 \text{ g dia}^{-1}$. Somente a partir dos 32 DAS as diferenças se acentuaram.

Observou-se também que a partir dos 32 DAS houve um aumento na velocidade média de crescimento das cultivares de alface, que perdurou até os 36 DAS. No entanto, a partir dos 36 DAS às cultivares Kaeser e Regina obtiveram uma queda acentuada na TCA.

Os resultados obtidos neste experimento apresentam-se contrários aos indicados anteriormente por Alfama (2008) que ressalta que cada cultivar tem uma taxa de crescimento diferenciada, de acordo com o ciclo vegetativo. Desse modo, cultivares mais precoces possuem tendência em atingir seu peso fresco máximo aos 40 DAS, sendo que a partir deste momento diminuem as taxas de crescimento. Cultivares mais tardias apresenta comportamento linear ao longo do ciclo, com valores crescentes aos 50 DAS. Este fato é relevante em virtude do autor ter trabalhado nas mesmas condições em que o experimento adotado nesta pesquisa foi conduzido

As cultivares menos precoces adotadas neste experimento (Kaeser e Regina) não obtiveram taxas de crescimento com valores crescentes ao longo do ciclo de produção. Tal fato pode indicar a aproximação do estágio de reprodução da cultura. Nessa etapa a cultura diminui o acúmulo de biomassa. Nos sistemas naturais o crescimento não se apresenta infinitamente exponencial, na medida em que o ambiente se torna aos poucos limitante, restringindo o crescimento (BENINCASA, 1988). No presente trabalho, a mudança de estágio de desenvolvimento, de fase vegetativa para a reprodutiva, é o fator que afetou o acúmulo de matéria seca das plantas. Nesse estágio parece haver uma redução na atividade metabólica das plantas, interferindo no acúmulo de matéria seca.

Por outro lado, esse resultado apresentado acima pode indicar que o período de maior exigência nutricional da cultura é a partir dos 36 DAS, em virtude do menor ciclo vegetativo da alface. Desse modo, níveis de nutrientes são definidos de forma insuficiente neste tratamento. Terra *et al.* (2001) citam que o período de maior consumo de nutrientes é na fase final de produção, devido ao ciclo curto da alface.

A cv. Verônica obteve, a partir dos 36 DAS, valores crescentes de TCA na ordem de $0,1 \text{ g dia}^{-1}$. Esse crescimento perdurou até o momento da colheita realizada aos 45 DAS. Isso pode indicar que a cv. Verônica, quando nutrida com solução mais diluída, apresenta uma tendência de atingir a TCA mais tardiamente. No entanto, esse prolongamento do ciclo vegetativo expõe as plantas a uma condição de estresse nutricional. Grierson (1999) ressalta que as resposta fisiológicas das plantas aos estresses ambientais são multifacetadas: diferentes estresses podem invocar mecanismos similares de tolerância e, assim, a exposição a um estresse confere tolerância aumentada a outro. Portanto, a exposição da cv. Verônica a uma condição de estresse nutricional conferiu um prolongamento do ciclo vegetativo.

Em relação à reposição feita com 50% da formulação inicial, a cv. Verônica obteve, no período entre 32 e 36 DAS, picos máximo e mínimo de crescimento, com valor máximo de $0,8 \text{ g dia}^{-1}$, enquanto que as cultivares Kaeser e Regina obtiveram TCA na ordem de $0,2 \text{ g dia}^{-1}$ durante todo o período produtivo. Faquin, Furtini e Vilela (1996) trabalhando com alface do grupo crespa, em sistema NFT, encontraram máximo de TCA em torno de $1,4 \text{ g dia}^{-1}$ por planta, no período compreendido entre 15 e 20 dias após o transplante, mas a maioria dos períodos entre as colheitas apresentou TCA em torno de $0,5 \text{ g dia}^{-1}$.

Os resultados obtidos no presente experimento confirmam que a temperatura do ar e fotoperíodo elevados são fatores limitantes para o cultivo hidropônico de alface do grupo crespa na região Norte. Quando submetida a essas condições, a alface emitirá o pendão floral precocemente, tornando-se imprópria para comercialização. Nagai (1980) relata que temperaturas acima de $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ estimulam o pendoamento que é acelerado à medida que a temperatura aumenta. Desse modo, dias longos associados às temperaturas elevadas, aceleram o processo, o qual é também dependente da cultivar, enquanto que Mallar (1978) salienta que as altas temperaturas aceleram o ciclo da cultura, resultando em plantas menores, com pouca firmeza nas cultivares de formação de cabeça, floração prematura e queimadura nos bordos das folhas, além da indução do sabor amargo. Portanto, as altas temperaturas, aliadas a falta de cultivares selecionadas ou melhoradas para esses ambientes, têm se constituído obstáculo ao desenvolvimento desta modalidade de exploração.

Na reposição baseada na manutenção da CE em $2,0 \text{ mS cm}^{-1}$, observa-se que, em geral, as cultivares de alface alcançaram máxima TCA de $0,7 \text{ g dia}^{-1}$ aos 32 DAS. Observa-se também que a partir dos 32 DAS, há uma mudança no comportamento das cultivares em relação à velocidade média de crescimento, a saber: Kaeser e Regina obtiveram um crescimento em um ritmo menor, enquanto que, a cv. Verônica descreveu uma tendência de queda da TCA.

Tal fato indica que as freqüentes reposições de nutrientes realizadas ao longo do cultivo, que representam um total de três reposições de ajuste da CE desejada, aplicadas em média a cada sete dias de cultivo a partir do transplante, podem ter contribuído para uma maior disponibilidade dos nutrientes às plantas. Por essa razão, as cultivares de alface alcançaram precocemente acúmulo de matéria seca aos 32 DAS.

A tendência de queda apresentada pela cv. Verônica pode ser também justificada pelas variáveis de temperatura e fotoperíodo que se tem constituído em fatores limitantes ao desenvolvimento dessa atividade na região Amazônica. Melo *et al.* (2008) citam que nos cultivos hidropônicos localizados na região metropolitana de Belém, a alface é o produto de maior expressão. No entanto, a maioria dos produtores não disponibiliza de técnicas adaptadas às condições de clima regional, ocasionando ineficiência desses sistemas.

4.2.2 – Taxa de Crescimento Relativo.

Observou-se que não houve diferença nas coletas entre as TCRs de nenhum dos tratamentos, apresentando valores em torno de $0,1 \text{ g dia}^{-1}$ (Figura 6), obtendo o mesmo valor quando comparado à produção de alface em solo. Garcia *et al.* (1982) encontraram valores de TCR em torno de $0,1 \text{ g dia}^{-1}$ aos 41 dias da cultura de alface cultivada em solo.

No entanto, observou-se também uma variação na TCR ao longo do ciclo de produção da cultura. A análise de crescimento estabelece que a taxa de crescimento de uma planta ou de qualquer órgão da planta é uma função do tamanho inicial, isto é, o aumento em gramas, no caso de matéria seca, está relacionado ao peso de matéria seca no instante em que se inicia o período de observação (BENINCASA, 1988).

Em relação à cv. Regina observou-se de uma maneira geral que mesma obteve um comportamento diferente em relação as demais cultivares de alface. Apesar de o incremento inicial ser maior do que nas demais cultivares, no que se refere à matéria seca, a cv. Regina apresentou na primeira semana após o transplante uma queda na TCR.

As causas dessa variação na TCR entre as cultivares de alface podem ser explicadas pela própria característica de crescimento da cultura. Conforme já sinalizado anteriormente, Becker (1990) afirma que o crescimento vegetativo da alface é definido como o período que abrange desde a emergência das plântulas até a iniciação floral, sendo que da semente até o transplante das mudas, o crescimento da parte aérea e do sistema radicular é lento. Após essa fase, inicia-se uma etapa de intensa emissão de folhas e acúmulo de matéria seca, atingindo seu máximo em função das cultivares e condições climáticas.

Desse modo, nas primeiras duas semanas após o transplante a velocidade de crescimento das cultivares de alface é lenta (BECKER, 1990). Após essa etapa, inicia-se a fase linear que se refere à taxa de crescimento constante de uma planta madura atingindo o seu pleno desenvolvimento e acúmulo de biomassa de acordo com as características específicas de cada cultivar e condições climáticas. Cada cultivar tem uma taxa de crescimento diferenciada, de acordo com o ciclo vegetativo

Além do mais, Hunt (1990) salienta que a TCR está muito mais relacionada às características genéticas da planta do que as modificações ambientais. Essa taxa indica uma vantagem na interpretação de mudanças no crescimento por não sofrer grandes variações com diferentes períodos analisados.

Por outro lado esta variação na TCR pode estar relacionada ao fator genético da própria cultivar e a sua interação com o ambiente. Essa adaptabilidade é uma propriedade do fenótipo; é o fenótipo que é diretamente exposto a, e testado por, uma dada condição de vida. Neste experimento, observou-se que mesmo nas cultivares mais adaptadas às condições de clima quente, os efeitos do ambiente interferem significativamente na manifestação do fenótipo.

Desse modo as condições de cultivo adotadas neste experimento favoreceram respostas diferenciadas das cultivares de alface em relação à velocidade média de crescimento.

Os resultados obtidos estão de acordo com os demonstrados por Queiroga *et al.* (2000) que citam que o comportamento de uma cultivar é dependente da sua interação com o ambiente. Figueiredo, Malheiros e Braz (2004), estudando a interação genótipo x ambiente de cultivares de alface do grupo lisa, crespa e americana em Jaboticabal (SP), ressaltam a ocorrência de uma elevada interação genótipo x ambiente.

Logo, todo crescimento resultará da produção de material suficiente para atender às necessidades metabólicas do material já existente e ainda para armazenar ou construir novo material estrutural. Portanto, qualquer incremento em peso, altura ou área foliar ao longo de um determinado período, estará diretamente relacionado ao tamanho alcançado ao longo do período anterior (BENINCASA, 1988).

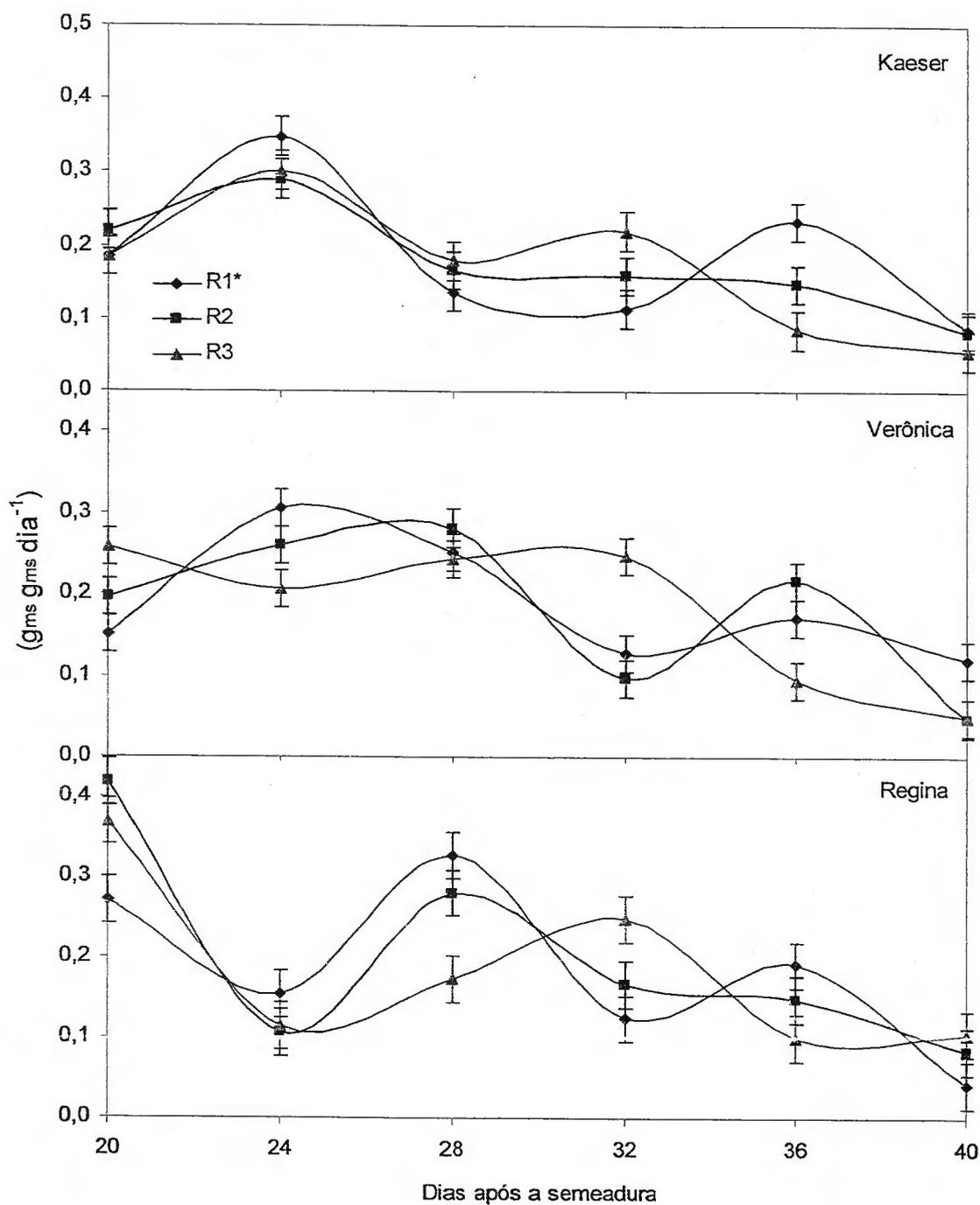


Figura 6 – Taxa de crescimento relativo de três cultivares de alface em sistema hidropônico-NFT, considerando três formas de reposição de nutrientes da solução nutritiva. UFRA, Belém/PA, 2007.

Cada ponto representa a média de quatro repetições. As barras de erro indicam desvio padrão.

R1* – Reposição feita somente com água; R2 – reposição feita com 50% da formulação inicial;

R3 – reposição baseada na manutenção da CE em 2,0 mS cm⁻¹ mediante a adição de soluções de ajuste.

4.2.2 – Fitomassa.

As maiores produções de matéria seca de folha e de caule foram obtidas quando foram feitas reposições de nutrientes baseadas na manutenção da CE em $2,0 \text{ mS cm}^{-1}$ ou com 50% da formulação inicial. Nestes tratamentos, observou-se que as cultivares Kaeser e Regina obtiveram as maiores produções de fitomassa, alcançando em torno de 7,0 g de folha por planta aos 40 DAS (Figuras 7, 8 e 9).

A não significância entre os valores da reposição baseada na manutenção da CE em $2,0 \text{ mS cm}^{-1}$ e a reposição feita com 50% da formulação inicial, indica que é perfeitamente viável a utilização da solução nutritiva à metade da sua força iônica sem prejuízo da produção final.

Esse resultado obtido está de acordo com o demonstrado por Cometti *et al.* (2008) que avaliando diferentes concentrações da solução nutritiva no crescimento da alface em Seropédica (RJ), ressaltam que a utilização da solução nutritiva proposta por Furlani (1998) a 50% da concentração original, com CE em torno de $0,98 \text{ mS cm}^{-1}$, resultou na produção da mesma massa de parte aérea (parte comercial) do que a solução a 100% da força iônica, com condutividade elétrica em torno de $1,84 \text{ mS cm}^{-1}$. Desse modo, verificaram que é viável o uso da solução nutritiva à metade da sua força iônica.

A utilização de soluções nutritivas mais diluídas para regiões de clima quente também foi constatado por Alfama (2008) que cita em uma pesquisa realizada nas mesmas condições de clima em que foi conduzido o experimento adotado nesta pesquisa, que é possível utilizar a solução nutritiva à metade de sua força iônica ($\text{CE} = 0,98 \text{ mS cm}^{-1}$) sem qualquer prejuízo para a produção final.

Dimenstein (2008) salienta que à medida que aumenta a salinidade na solução nutritiva ocorrerá uma maior retenção da água e dificuldade para as raízes absorverem essa água com os sais dissolvidos que formam a solução nutritiva. Isso significa que haverá uma competição entre os sais e as raízes por água. Considerando que em regiões de clima quente, as plantas transpiram mais intensamente, haverá déficit na captação de água que geralmente é observado no horário entre 10 às 16 horas. Para evitar a desidratação, as plantas fecham os estômatos, murcham e perdem a turgescência. Somente a partir do final da tarde as plantas voltam a abrir os estômatos. Isso implica em perdas de horas preciosas de fotossíntese por excesso de salinidade na solução nutritiva.

Observa-se que a cv. Regina obteve um incremento significativo de fitomassa de caule na reposição feita somente com água aos 40 DAS. Este comportamento apresentado (Figura 9) pode ser explicado pelo próprio hábito de crescimento da cultivar. Neste grupo, é possível que o aumento se dê no diâmetro, permitindo maior inserção de folhas. Esta característica possibilita uma maior percentagem de matéria seca de caule em relação as demais cultivares de alface.

Por outro lado, esse incremento significativo de fitomassa de caule pode indicar que a cv. Regina possui uma maior susceptibilidade quanto ao pendoamento precoce e início da fase reprodutiva ou até mesmo uma maior exigência por luz em relação as demais cultivares de alface, já que em regiões de clima com elevadas temperaturas do ar e elevada intensidade da radiação solar há favorecimento do pendoamento precoce das plantas. Portanto, a maior disponibilidade de radiação solar na região Amazônica, pode ter induzido o pendoamento precoce da cv. Regina e conseqüentemente o alongamento do caule.

Em relação à produção de fitomassa de raiz o efeito dos diferentes formas de reposição mostra-se linear, com diferenças entre os tratamentos e cultivares. Conforme já sinalizado anteriormente neste experimento, observa-se que, em geral, em regiões de clima quente o uso de soluções mais diluídas resulta no crescimento em comprimento das raízes. No entanto, esse crescimento não traduz em um aumento de volume das raízes. Portanto, há uma expansão no comprimento em detrimento da formação de pêlos radiculares e apêndices laterais.

Estes resultados obtidos são diferentes dos demonstrados por Cometti *et al.* (2008) que ressaltam que o crescimento do sistema radicular é reduzido com a diluição da solução nutritiva, porém sem afetar a produção de fitomassa, até a CE de $1,0 \text{ mS cm}^{-1}$, aparentando uma economia de carbono utilizado para crescimento do sistema radicular. Do ponto de vista comercial, esse efeito é vantajoso para a produção de folhosas como a alface.

Analisando de modo geral o comportamento das cultivares observado no experimento adotado nesta pesquisa, percebe-se que as mesmas têm tendência em acumular, gradativamente, biomassa ao longo do ciclo de produção, de acordo com as características específicas de cada cultivar. Nas primeiras duas semanas após o transplântio a velocidade de crescimento das cultivares de alface é lenta (BECKER, 1990). Após essa etapa, inicia-se a fase linear que se refere à taxa de crescimento constante de uma planta madura atingindo o seu pleno desenvolvimento e acúmulo de biomassa de acordo com as características específicas de cada cultivar e condições climáticas.

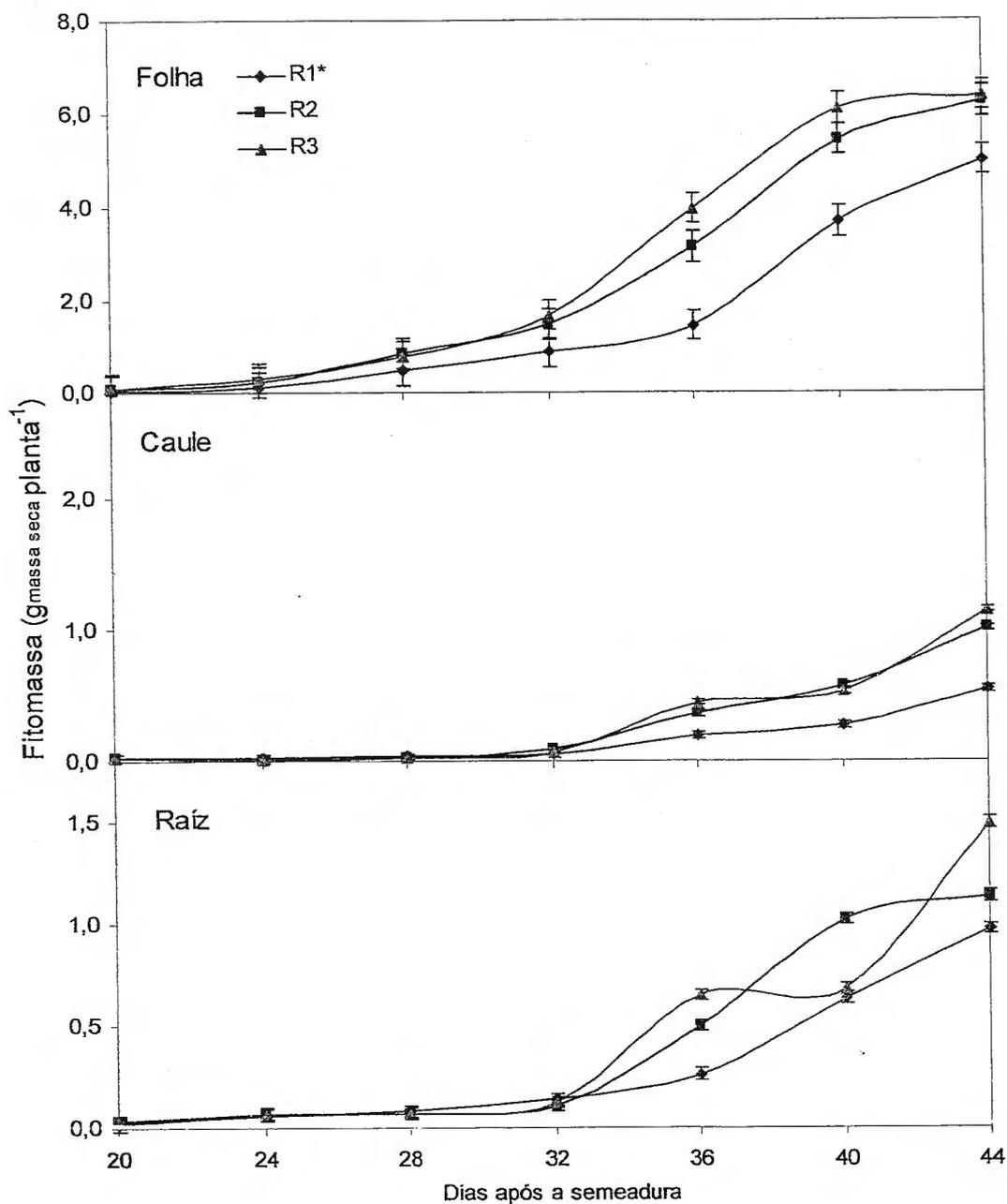


Figura 7 – Produção de fitomassa pela alface, cv. Kaeser, cultivada em sistema hidropônico-NFT, considerando três formas de reposição de nutrientes da solução nutritiva. UFRA, Belém/PA, 2007.

Cada ponto representa a média de quatro repetições. As barras de erro indicam desvio padrão.

R1* – Reposição feita somente com água; R2 – reposição feita com 50% da formulação inicial; R3 – reposição baseada na manutenção da CE em 2,0 mS cm⁻¹ mediante a adição de soluções de ajuste.

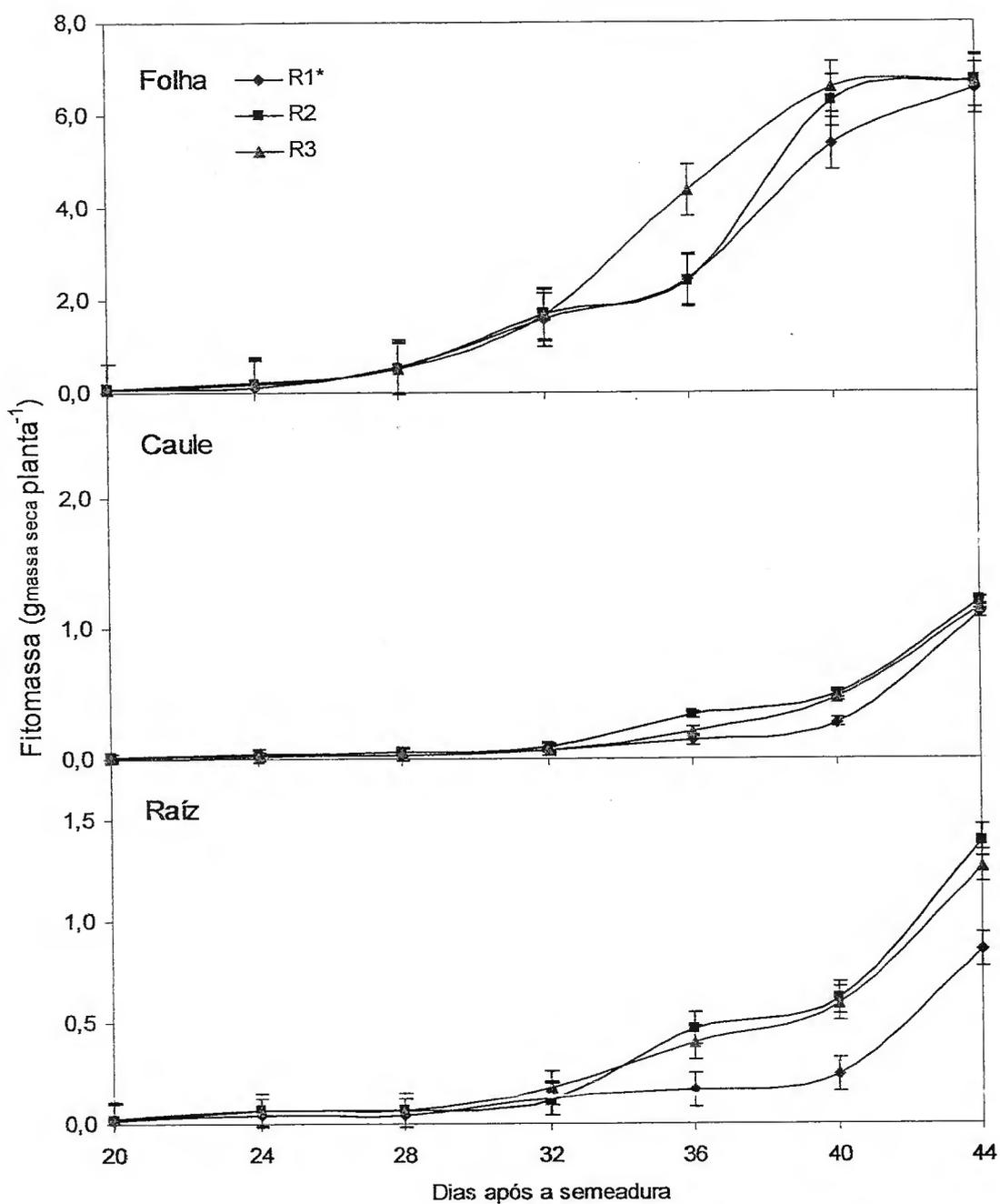


Figura 8 – Produção de fitomassa pela alface, cv. Verônica, cultivada em sistema hidropônico-NFT, considerando três formas de reposição de nutrientes da solução nutritiva. UFRA, Belém/PA, 2007.

Cada ponto representa a média de quatro repetições. As barras de erro indicam desvio padrão.

R1* – Reposição feita somente com água; R2 – reposição feita com 50% da formulação inicial;

R3 – reposição baseada na manutenção da CE em 2,0 mS cm⁻¹ mediante a adição de soluções de ajuste.

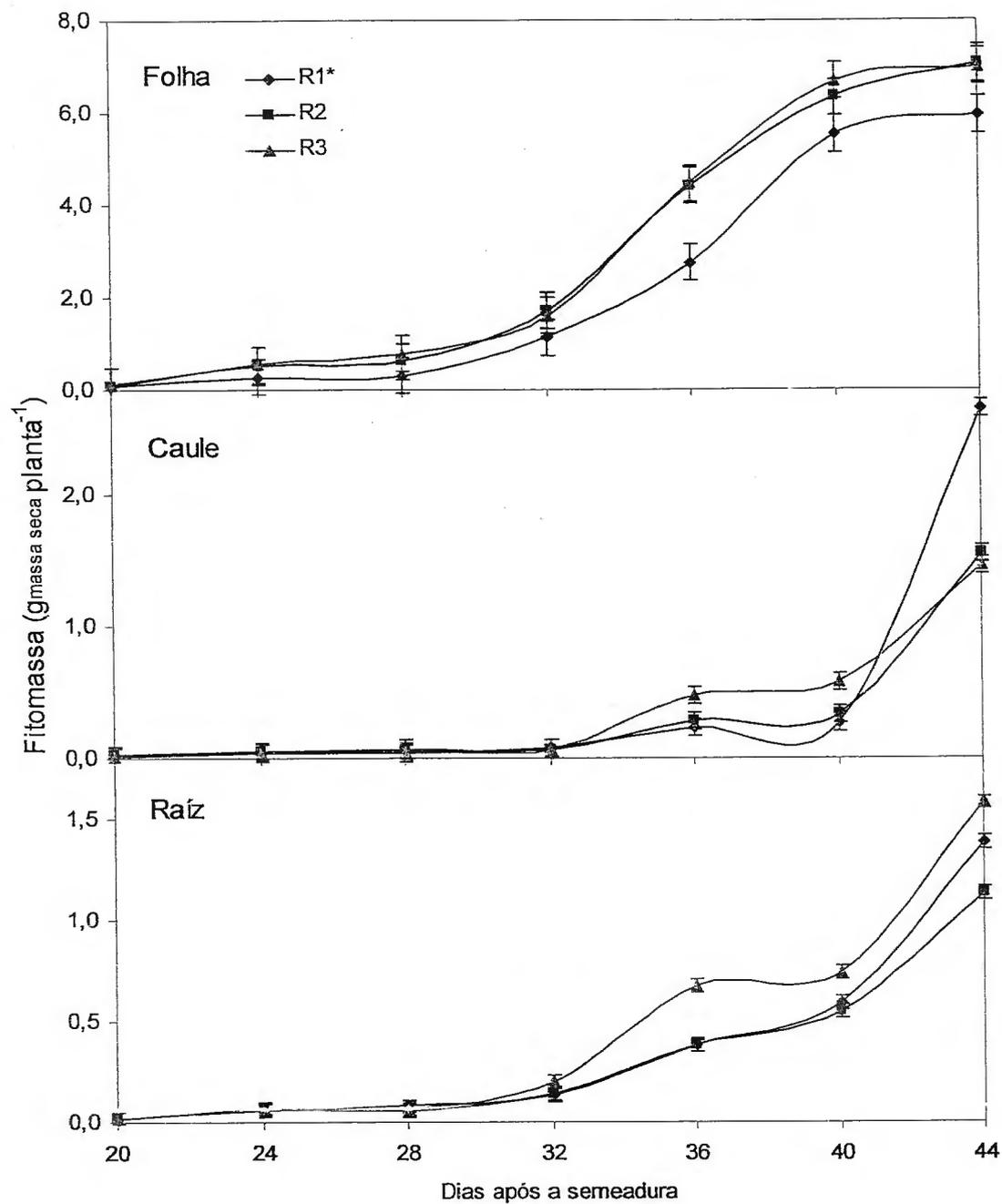


Figura 9 – Produção de fitomassa pela alface, cv. Regina, cultivada em sistema hidropônico-NFT, considerando três formas de reposição de nutrientes da solução nutritiva. UFRA, Belém/PA, 2007.

Cada ponto representa a média de quatro repetições. As barras de erro indicam desvio padrão.

R1* – Reposição feita somente com água; R2 – reposição feita com 50% da formulação inicial;

R3 – reposição baseada na manutenção da CE em $2,0 \text{ mS cm}^{-1}$ mediante a adição de soluções de ajuste.

4.3 – Acúmulo de Macronutrientes.

Na Tabela 8 observa-se o resumo da análise de variância dos teores dos macronutrientes N, P, K, Ca e Mg na matéria seca da parte aérea de cultivares de alface, evidenciando diferenças significativas entre as espécies estudadas.

Tabela 8 – Resumo da análise de variância dos teores dos macronutrientes N, P, K, Ca e Mg na matéria seca da parte aérea de cultivares de alface submetidas a formas de reposição de nutrientes da solução nutritiva em sistema NFT. UFRA. Belém/PA, 2007.

Fonte de Variação	GL	Quadrado Médio				
		N	P	K	Ca	Mg
Reposição	2	32,17 ^{ns}	2,39*	492,33**	14,34 ^{ns}	5,34*
Cultivares	2	271,65**	5,14**	1332,82**	140,14**	9,48**
Rep. X Cul.	4	11,94 ^{ns}	0,13 ^{ns}	123,52*	66,86**	2,41 ^{ns}
Tratamentos	8	81,93	1,95	518,05	72,05	4,91
Bloco	3	7,43 ^{ns}	13,16**	43,17 ^{ns}	8,38 ^{ns}	1,79 ^{ns}
Resíduo	24	20,85	0,46	42,78	5,69	1,54
CV (%)		10,07	11,19	10,50	14,80	15,57

** Significativo em nível de 5% de probabilidade

ns – não significativo

4.3.1 – Nitrogênio.

Em relação ao N, este é o nutriente que mais interfere no crescimento vegetativo da alface. A alface apresenta boa resposta à adubação nitrogenada, com efeitos na produção, aumentando o tamanho e melhorando o aspecto das plantas (SANTOS *et al.*, 2001).

Observou-se neste experimento que não houve interação entre os fatores reposição de nutrientes e cultivares para absorção de N. Não houve diferença significativa entre as formas de reposição de nutrientes adotadas nesta pesquisa. Kaeser não diferiu da Regina, sendo ambas, superiores a cv. Verônica no acúmulo de N (Figura 10).

A não significância entre as formas de reposição de nutrientes pode ser justificada pela própria influência do ambiente na absorção de nutrientes pelas plantas. Andriolo (1999) ressalta que o controle fisiológico é exercido pelos mecanismos de regulação interna, responsáveis pelo controle da entrada dos nutrientes na planta. Porém, o ambiente externo influencia a absorção, porque dele dependem tanto as condições necessárias ao bom funcionamento das raízes (temperatura, teor de oxigênio, concentração salina) como também

a disponibilidade de elementos minerais. Além do mais, os elementos N, P e K são ativamente absorvidos pelas raízes e podem ser removidos da solução nutritiva em poucas horas.

O nitrogênio mineral absorvido pelas raízes é assimilado para satisfazer as necessidades de compostos nitrogenados da planta. Na escala do ciclo, há, portanto, uma ligação entre a absorção e o crescimento em matéria seca. Salette e Lemaire (1981) analisando populações de gramíneas forrageiras constataram que, *para uma determinada oferta de nitrogênio no meio radicular, existe um ajustamento recíproco das velocidades de crescimento e de absorção de nitrogênio e uma diminuição progressiva das necessidades desse elemento para a elaboração da matéria seca no decorrer do ciclo de desenvolvimento*. Portanto, a alface absorve rapidamente do meio de cultivo o N necessário para satisfazer as necessidades de compostos nitrogenados da planta. Após a fase de crescimento exponencial da cultura, há uma diminuição progressiva da velocidade de crescimento.

Kaeser e Regina não diferiram entre si no acúmulo de N. Analisando a relação entre absorção de N e produção de matéria fresca, observa-se que a cv. Kaeser não diferiu da Regina, sendo ambas, superiores a cv. Verônica tanto para acúmulo de N quanto para produção de matéria fresca. Isto indica que há uma correlação entre esses fatores. As cultivares que obtiveram as maiores produções de matéria fresca foram as mesmas que acumularam valores mais elevados de N em seus tecidos.

O N é encontrado em muitos compostos orgânicos, incluindo todos os aminoácidos e ácidos nucleicos. Conseqüentemente, plantas requerem quantidades maiores de N do que de qualquer outro nutriente e a disponibilidade deste nutriente geralmente limita a produtividade das plantas em ecossistemas naturais e agrícolas (ANDRIOLO, 1999).

O teor médio de N extraído pelas cultivares neste experimento foi de 48 g kg⁻¹ base matéria seca aos 45 DAS. Valor esse 23% superior a cv. Verônica. Os teores de N constatados neste experimento estão de acordo os encontrados por Fontes, Pereira e Conde (1997) determinaram o teor de 37,5 g kg⁻¹ de N na matéria seca como nível crítico para alface Brasil 202, colhida aos 45 dias após o transplântio. Mantovani, Ferreira e Cruz (2005) citam que os teores de N-orgânico+N-NH₄⁺ na parte aérea das cultivares de alface aumentaram com as doses de N variando de 18,2 a 30,5 na cv. *Lucy Brown*; 19,3 a 31,5 na cv. Tainá; 17,9 a 35,8 na cv. Vera; 17,5 a 32,9 na cv. Verônica, e de 16,8 a 32,5 g kg⁻¹ na cv. Elisa. Trani e Raij (1997) consideram teores de N entre 30 e 50 g kg⁻¹ adequados para a alface.

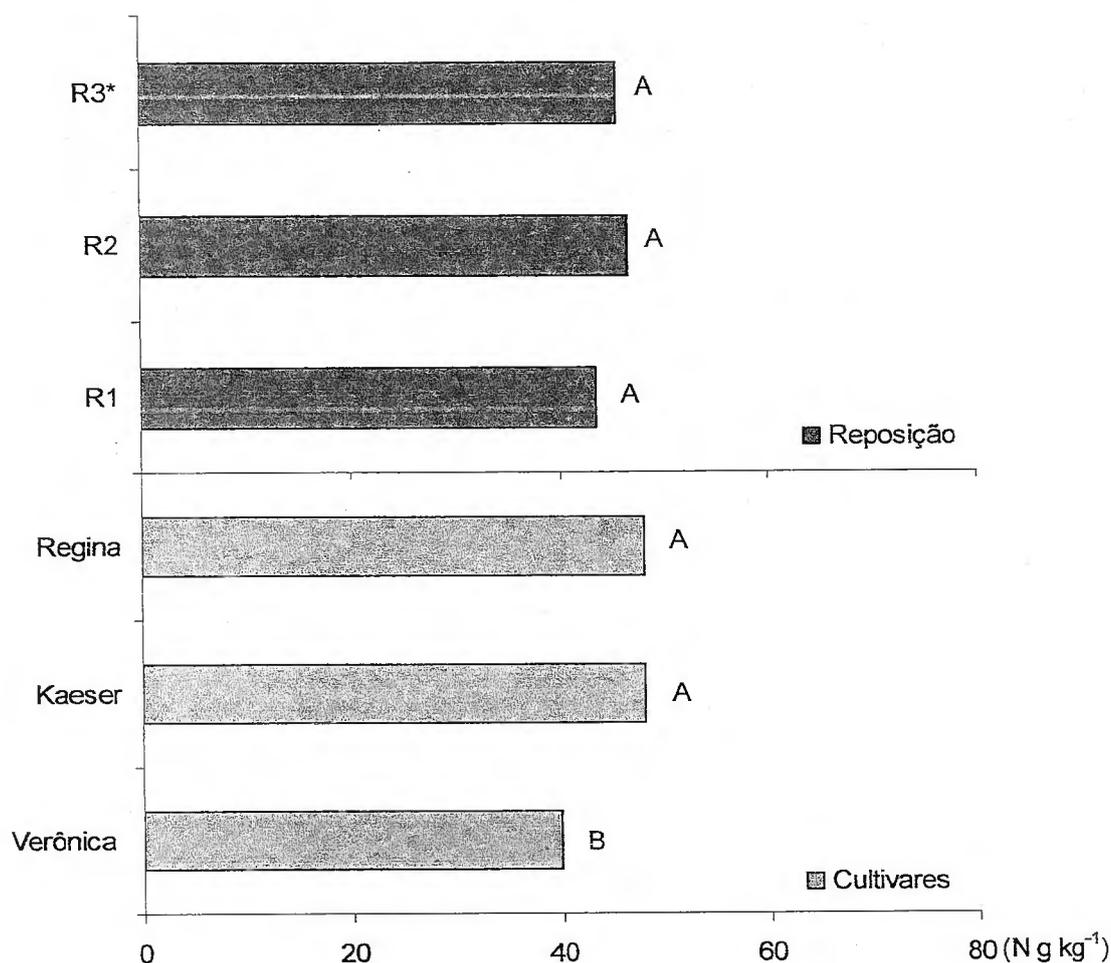


Figura 10 – Teores médios de N de cultivares de alface submetidas a três formas de reposição de nutrientes da solução nutritiva em sistema hidropônico NFT. UFRA, Belém/PA, 2007.

R1* – Reposição feita somente com água; R2 – reposição feita com 50% da formulação inicial; R3 – reposição baseada na manutenção da CE em $2,0 \text{ mS cm}^{-1}$ mediante a adição de soluções de ajuste.

Valores seguidos da mesma letra na vertical não diferem significativamente entre si ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

O elevado teor de N observado nas cultivares Kaeser e Regina em relação à cv. Verônica deve-se, provavelmente, a capacidade diferenciada das cultivares na absorção dos nutrientes pelas raízes. A absorção iônica é influenciada por fatores externos e internos. No primeiro, a concentração iônica externa aumentando, aumenta também a absorção até se estabilizar. Entretanto, os diversos íons em igualdade de concentração externa, são absorvidos com velocidade diferente e as diferenças podem ser devidas a características do próprio íon (carga + ou -, valência, diâmetro e grau de hidratação); e no segundo, cada espécie e variedade apresentam capacidade diferente para absorver tanto macro quanto micronutrientes o que, em parte, pode estar relacionado com o controle genético (MALAVOLTA, 2006).

Os resultados obtidos na pesquisa indicam, de uma maneira geral, que a absorção de N pelas cultivares é feita em doses elevadas, em média com valores acima dos 40 g kg⁻¹, apresentando boa resposta a adubação nitrogenada. Alvarenga (1999) observou em diversos trabalhos que a aplicação de N tem uma resposta quadrática e que a partir de uma determinada dose há um decréscimo na produção. Alfama (2008) ressalta que a análise da curva de absorção de N, revela um comportamento polinomial, para todas as cultivares avaliada com absorção de teores elevados desde o início do ciclo de cultivo, atingindo o estágio de maior extração média aos 40 DAS.

4.3.2 – Fósforo.

Observou-se neste experimento que não houve interação entre os fatores reposição de nutrientes e cultivares para absorção de P. A reposição feita com 50% da formulação inicial não diferiu da reposição feita somente com água e nem da reposição baseada na manutenção da CE em 2,0 mS cm⁻¹. No entanto, a reposição baseada na manutenção da CE no nível mais alto obteve desempenho superior (acúmulo de P) em relação à reposição feita somente com água. Em relação às cultivares, Regina obteve desempenho superior em relação as demais cultivares de alface que não diferiram significativamente entre si na absorção de P (Figura 11).

O resultado obtido no experimento mostrou que a reposição de nutrientes baseada na manutenção da CE em 2,0 mS cm⁻¹ disponibilizou maiores teores de P às plantas, com valores em torno de 12,5% acima das médias obtidas pela reposição feita somente com água. Neste tratamento (reposição) a frequência de reposição pode ter contribuído para uma maior disponibilidade de P na solução nutritiva em relação à reposição feita somente com água. Em hidroponia, o P pode ser absorvido pelas plantas em poucas horas e na ausência de reposição a concentração de P da solução pode chegar à zero (SCHWARZ, 1995).

Além do mais, a maior disponibilidade de P comumente observada em condições de cultivo hidropônico, deve-se a fonte deste nutriente utilizada no preparo das soluções nutritivas. Geralmente os produtores hidropônicos utilizam o fosfato monoamônio (MAP) como principal fonte de P na solução na medida em que o mesmo apresenta alta solubilidade em água, sendo prontamente disponível para as plantas. Por ser monovalente, este íon é absorvido com predominância pelas raízes em relação ao fosfato bivalente (SCHWARZ, 1995).

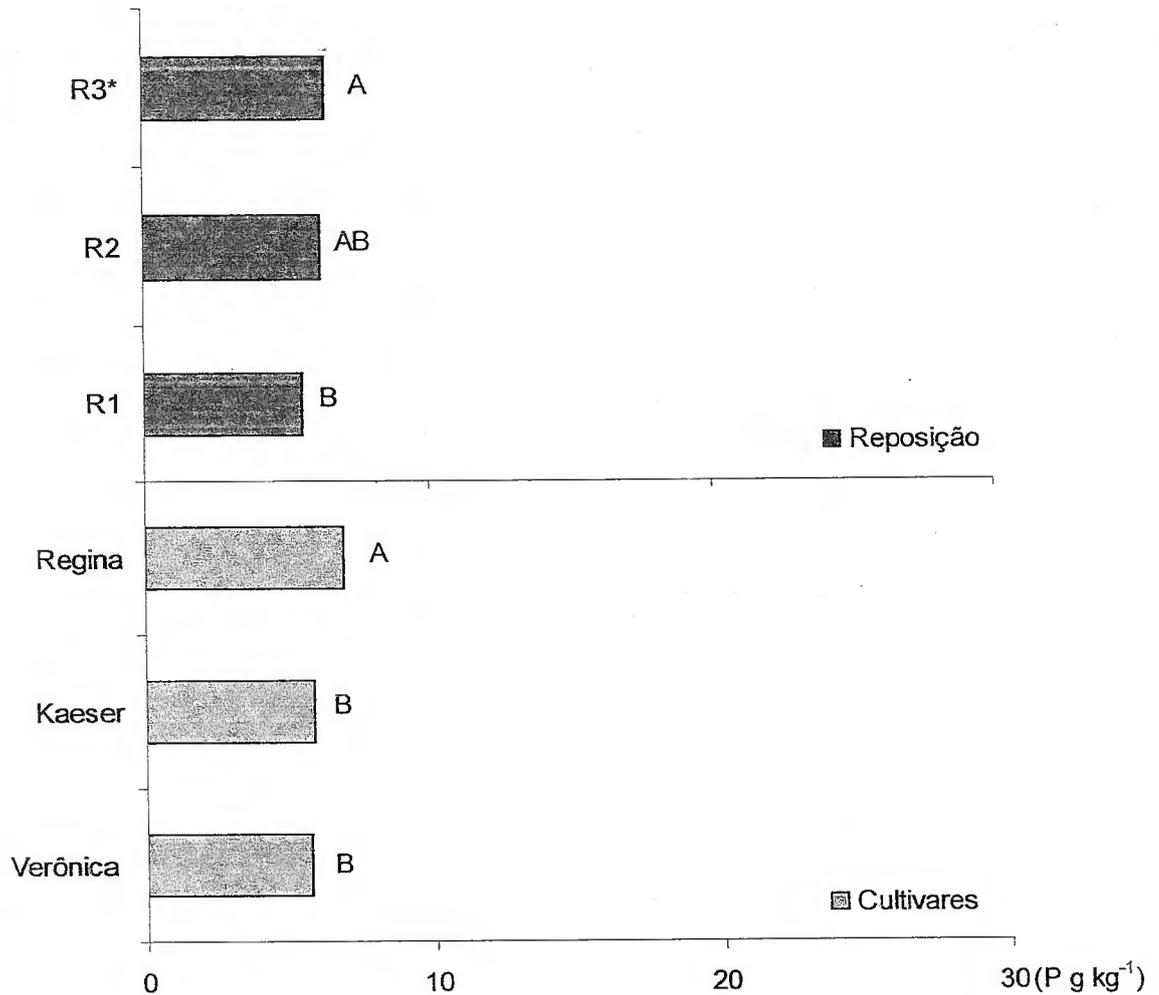


Figura 11 – Teores médios de P de cultivares de alface submetidas a três formas de reposição de nutrientes da solução nutritiva em sistema hidropônico NFT. UFRA, Belém/PA, 2007.

R1* – Reposição feita somente com água; R2 – reposição feita com 50% da formulação inicial; R3 – reposição baseada na manutenção da CE em $2,0 \text{ mS cm}^{-1}$ mediante a adição de soluções de ajuste.

Valores seguidos da mesma letra na vertical não diferem significativamente entre si ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

Martinez (1997) comparando as composições químicas de extratos de solo e de solução nutritivas, cita que as maiores diferenças referem-se à concentração de P. Enquanto na solução de um solo fértil essa concentração é de $0,004 \text{ mmol/L}$ ($0,12 \text{ mg/L}$), nas soluções nutritivas é 125 a 675 vezes maior, isto é, entre $0,5$ e $2,7 \text{ mmol/L}$ (15 e 84 mg/L).

O teor médio de P extraído pela cv. Regina neste experimento foi de $6,83 \text{ g kg}^{-1}$ base matéria seca aos 45 DAS. Se comparado este teor em relação as demais cultivares; Regina obteve em percentagem 18,16% acima da cv. Kaeser e 21,31% da cv. Verônica. Os teores de P constatados neste experimento estão de acordo os encontrados por Cometti (2003) o qual determinou teores de P em torno de $8,0 \text{ g/Kg} \pm 1,0 \text{ g kg}^{-1}$ em alface cultivada em sistema hidropônico NFT. Mendonça *et al.* (2003) determinaram valores de P no tecido foliar, cv. Regina, em torno de $6,66 \text{ g kg}^{-1}$. Costa *et al.* (1997) obtiveram valores um pouco mais elevados ($8,90$ a $11,30 \text{ g kg}^{-1}$) em alface cultivada em solução nutritiva.

O maior teor de P observado na cv. Regina em relação as demais cultivares de alface pode ser correlacionada com a produção de MFRA, na medida em que a mesma obteve desempenho superior em relação as outras cultivares, com média em torno de $28,3 \text{ g kg}^{-1}$. Na nutrição mineral de plantas, o P tem função de destaque no metabolismo da planta, com ênfase no controle da atividade enzimática. Malavolta (2006) relata que o P é fundamental para o crescimento das plantas, principalmente, do sistema radicular. De resto as suas funções na parte aérea da planta são reveladas como facilitadoras de processos metabólicos com destaque para o armazenamento e transferência de energia.

Por outro lado, a variação ocorrida na absorção de P pelas cultivares de alface pode ter ocorrido em virtude da interação entre os íons que compõem a solução nutritiva, influenciando a sua absorção pela planta. Malavolta (2006) cita que a absorção do H_2PO_4 é máxima na presença do Mg^{+2} : esse papel de “carreador do fósforo” se explica, possivelmente pela sua participação na ativação de ATPase da membrana implicada na absorção iônica e na própria geração do ATP na fotossíntese e na respiração.

Pode-se afirmar que neste experimento os níveis de P encontrados estão dentro do padrão para a exigência da cultura. Além do mais, a alface pode ser considerada como bastante exigente em P, principalmente na fase final de seu ciclo. Desse modo, utilizando-se dos resultados obtidos com base no trabalho demonstrado por Alfama (2008) que ressalta a marcha de absorção de P revelou certa homogeneidade nos teores absorvidos pelas cultivares ao longo do ciclo de cultivo.

4.3.3 – Potássio.

Observou-se neste experimento que houve interação entre os fatores reposição de nutrientes e cultivares para absorção de K. Desse modo, a análise das médias das cultivares dentro do fator reposição, revelou que na reposição baseada na manutenção da CE em $2,0 \text{ mS cm}^{-1}$ não houve diferença significativa entre as cultivares. No entanto, nas demais formas de reposição de nutrientes adotadas nesta pesquisa, Kaeser obteve desempenho superior em relação as demais cultivares no acúmulo de K. Já a análise dos tratamentos dentro do fator cultivar revelou que houve interação entre a cv. Kaeser e as três formas de reposição de nutrientes (Figura 12).

A não diferença significativa entre as cultivares na reposição baseada na manutenção da CE no nível mais alto deve-se a boa disponibilidade de K na solução nutritiva. Neste tratamento (reposição) a frequência de reposição, independentemente de cultivar, permitiu alcançar valores de 70 g kg^{-1} na matéria seca das cultivares de alface. Observou-se também que a absorção de nitrogênio, fósforo e potássio ocorre, na maior parte, na fase final de produção. Certamente esta resposta está relacionada com a produção de matéria verde e, portanto com transpiração das plantas.

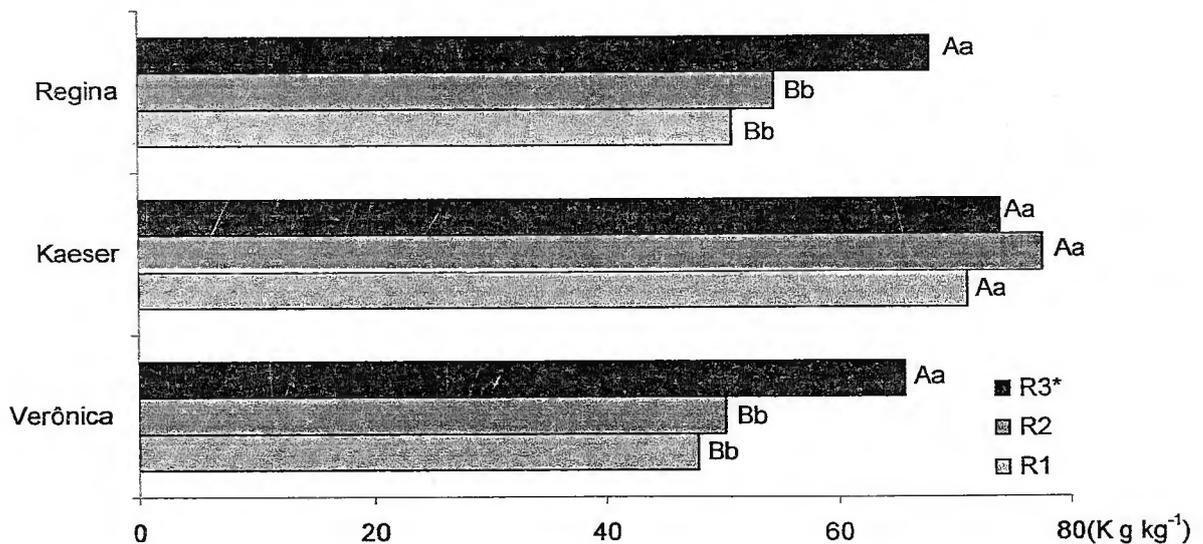


Figura 12 – Teores médios de K de cultivares de alface submetidas a três formas de reposição de nutrientes da solução nutritiva em sistema hidropônico NFT. UFRA, Belém/PA, 2007.

R1* – Reposição feita somente com água; R2 – reposição feita com 50% da formulação inicial; R3 – reposição baseada na manutenção da CE em $2,0 \text{ mS cm}^{-1}$ mediante a adição de soluções de ajuste.

Letras minúsculas: comparações entre médias das reposições; letras maiúsculas: comparação entre cultivares (teste de Tukey, 5% de probabilidade).

O K é normalmente o nutriente mais exigido pelas culturas, depois do N (FAQUIN, 1997). É considerado um ativador enzimático; regulador da turgidez do tecido; controlador da abertura e do fechamento de estômatos, possibilitando o controle da concentração de CO₂ na câmara sub-estomática, a qual afeta diretamente a atividade fotossintética e a transpiração (HOPKINS, 1995).

O teor médio de K extraído pela cv. Kaeser neste experimento foi de 74,27 g kg⁻¹ base matéria seca aos 45 DAS. Se comparado este teor em relação as demais cultivares; Kaeser obteve em percentagem 28,60% acima da cv. Regina e 35,82% da cv. Verônica. Os teores de K constatados neste experimento estão de acordo os encontrados por Roorda Van Eysinga e Smilde (1981) determinaram o nível de K considerado ótimo nas folhas de alface está afixado entre 40 e 100 g kg⁻¹. Garcia *et al.* (1988) ressaltam que plantas em condições de boa disponibilidade de K, podem alcançar valores próximos a 80 g kg⁻¹. Malavolta *et al.* (1989) citam o valor de 50 g kg⁻¹ como teor adequado de K em folhas recém maduras, coletadas na época da formação da cabeça.

As variações nos teores de K na matéria seca da parte aérea da cv. Kaeser pode ter ocorrido em virtude da própria genética da cultivar. Pois, cada cultivar apresenta características específicas no que se referem à duração do ciclo vegetativo, exigências nutricionais, taxas de extração de nutrientes diferentes e estágio fenológico; influenciando a absorção de nutrientes pelas raízes das plantas.

Por outro lado, as variações dos teores de K podem ser explicadas pelas altas concentrações vacuolares do mesmo comumente observado em cultivos hidropônicos. O K, embora seja o mais abundante mineral catiônico constituinte das plantas e possa constituir até 10% do peso seco de uma planta, não é um constituinte integral de qualquer metabólito que pode ser isolado de material vegetal. Ao contrário, ele está presente no citosol e no vacúolo como íon livre (K⁺) a altas concentrações. No citosol, na maioria das situações, as concentrações de K são homeostaticamente controladas a um nível de cerca de 120 mM. (EPSTEIN; BLOOM, 2004).

As concentrações vacuolares de K podem variar amplamente. Quando sua concentração externa é alta, promovendo o consumo excessivo, o K é estocado ali e, suas concentrações nas células-guardas podem alcançar valores de várias centenas de mM. Quando as concentrações externas de K se tornam baixas, as concentrações citoplasmáticas do elemento tendem a ser mantidas pela retirada do reservatório vacuolar (EPSTEIN; BLOOM, 2004).

Convém salientar que a cv. Verônica, de modo geral, obteve os menores teores dos macronutrientes (matéria seca) em relação as demais cultivares. Esse fato pode ter sido devido as características botânica da alface tipo crespa que normalmente produz folhas menores, pelo menor porte da planta e duração do ciclo vegetativo (curto) em relação as outras cultivares de alface.

Os níveis de K encontrados neste experimento estão dentro do padrão para a exigência da cultura. Alfama (2008) ressalta que a análise das curvas de absorção de K, determinou um comportamento polinomial, aonde o teor máximo absorvido para as médias avaliadas se afixou aos 40 DAS. Este fato é relevante em virtude do autor ter trabalhado nas mesmas condições em que o experimento adotado nesta pesquisa foi conduzido.

4.3.3 – Cálcio.

Observou-se neste experimento que também houve interação entre os fatores reposição de nutrientes e cultivares para absorção de Ca. Desse modo, a análise das médias das cultivares dentro do fator reposição, revelou que na reposição feita somente com água não houve interação significativa entre as cultivares. Entretanto, nas demais formas de reposição de nutrientes adotadas nesta pesquisa, a cultivar Kaeser obteve desempenho superior em relação as demais cultivares no acúmulo de Ca. Já a análise dos tratamentos dentro do fator cultivar mostrou que não houve diferença significativa entre estes fatores (Figura 13).

A análise das médias das cultivares dentro do fator reposição revelou que a cv. Kaeser apresentou comportamento diferente das demais cultivares de alface para absorção de Ca. Na reposição baseada na manutenção da CE em $2,0 \text{ mS cm}^{-1}$ a absorção de Ca pela cv. Kaeser diminuiu o acúmulo de K nos seus tecidos. Entretanto, na reposição feita com 50% da formulação inicial (solução diluída) ocorreu o inverso, a absorção de K diminuiu o acúmulo de Ca. Já na reposição feita somente com água tanto a absorção de Ca quanto K obtiveram valores inferiores em relação as demais formas de reposição de nutrientes (Figuras 12 e 13). Este comportamento pode ser explicado pela interação ocorrida entre os íons que compõe a solução nutritiva. Na medida em que, a proporção entre os íons que compõem a solução influencia a sua absorção pela planta, devido ao antagonismo que pode existir entre eles.

A principal função do Ca na planta é manter a integridade da parede celular (MALAVOLTA, 2006). O Ca é essencial para a integridade da membrana plasmática das células vegetais, especificamente para a seletividade do transporte de íons que elas realizam. Ele também protege a membrana plasmática dos efeitos deletérios dos íons hidrogênio que prejudicam as funções da membrana tão rapidamente quanto íons de sódio quando Ca está ausente (RAINS; SCHMID; EPSTEIN, 1964).

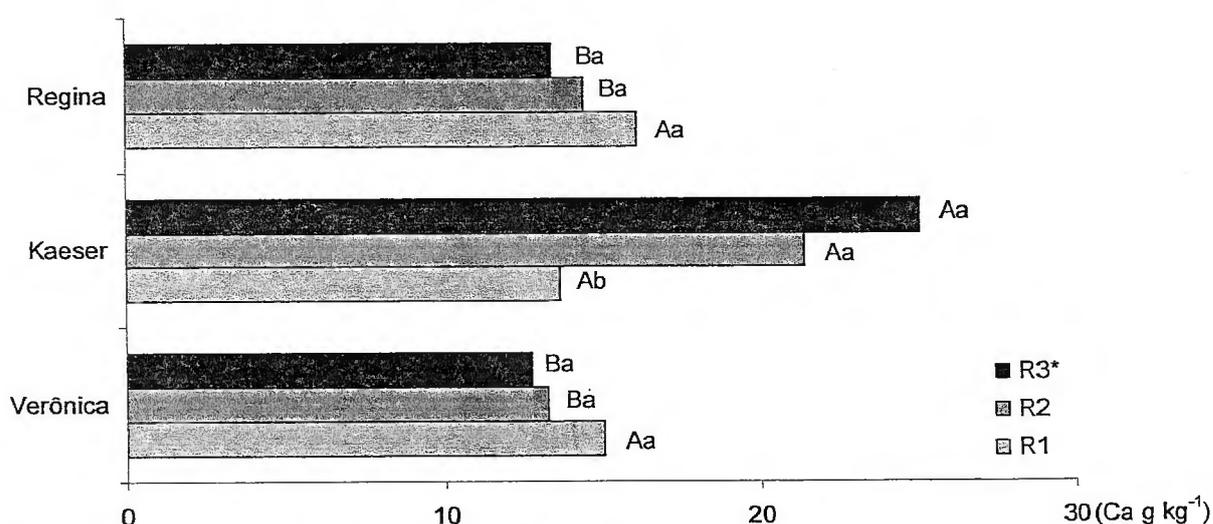


Figura 13 – Teores médios de Ca de cultivares de alface submetidas a três formas de reposição de nutrientes da solução nutritiva em sistema hidropônico NFT. UFRA, Belém/PA, 2007.

R1* – Reposição feita somente com água; R2 – reposição feita com 50% da formulação inicial; R3 – reposição baseada na manutenção da CE em $2,0 \text{ mS cm}^{-1}$ mediante a adição de soluções de ajuste.

Letras minúsculas: comparações entre médias das reposições; letras maiúsculas: comparação entre cultivares (teste de Tukey, 5% de probabilidade).

O teor médio de Ca extraído pela cv. Kaeser neste experimento foi de $20,02 \text{ g kg}^{-1}$ base matéria seca aos 45 DAS. Valor este 37,74% superior a cv. Regina e 46,45% a cv. Verônica. Os teores de Ca constatados neste experimento foram semelhantes os encontrados por Cometti (2003) o qual determinou teores de Ca em torno de $18 \text{ g kg}^{-1} \pm 2 \text{ g kg}^{-1}$ em folhas de alface cultivada em sistema hidropônico NFT. Roorda Van Eysinga e Smilde (1981) consideram plantas de alface como deficientes quando os teores de Ca estão abaixo de 8 g kg^{-1} nas folhas. Fonseca, Fernandes e Martinez (2000) obtiveram valores entre $14,30$ e $21,20 \text{ g kg}^{-1}$ em alface cultivada em solução nutritiva.

Além da carga genética da cultivar e a sua interação com o ambiente, conforme sinalizado anteriormente para K. A variação nos teores de Ca na matéria seca da parte aérea das cultivares pode ter sido, em parte, pelo efeito do pH no meio de cultivo. A variação na acidez ou alcalinidade está associada com variações para mais ou para menos na disponibilidade dos elementos (MALAVOLTA, 2006). Neste experimento, observou-se que a manutenção do pH dentro de uma faixa entre 5,5 e 6,5 favoreceu a absorção de cátions durante o ciclo de produção da cultura.

Por outro lado, a absorção de Ca pode ter sido favorecida pelo próprio ambiente de cultivo. Nesse sentido, muitos dos sinais ambientais mediados pelo Ca estão na natureza do estresse, tanto biótico como abiótico. Entre as condições abióticas estressantes que envolvem Ca estão salinidade, hipoxia, choques de frio e calor, distúrbios mecânicos como toque ou vento e elevadas concentrações de metais como alumínio. Fatores bióticos incluem patógenos e nodulação de raízes de leguminosas por *Rhizobium*. Quase sem exceção, esses estresses causam um aumento na concentração de cálcio, $[Ca^{+2}]$, no citoplasma (SANDERS; BROWNLEE; HARPER, 1999; REDDY, 2001).

Os níveis de Ca encontrados neste experimento estão dentro do padrão para a exigência da cultura. A absorção de Ca pode ter sido favorecida pelo próprio ambiente de cultivo, na medida em que estresses ambientais causam um aumento na concentração de cálcio, $[Ca^{+2}]$, no citoplasma. Alfama (2008) ressalta que a marcha de absorção de Ca de forma geral demonstrou um comportamento bastante heterogêneo ao longo das semanas de cultivo, com bastantes oscilações entre os pontos de alta e baixa extração.

4.3.4 – Magnésio.

Observou-se neste experimento que não houve interação entre os fatores reposição de nutrientes e cultivares para absorção de Mg. A reposição feita com 50% da formulação inicial não diferiu da reposição feita somente com água e nem da reposição baseada na manutenção da CE em $2,0 \text{ mS cm}^{-1}$. No entanto, a reposição feita somente com água obteve desempenho superior em relação à reposição baseada na manutenção da CE em $2,0 \text{ mS cm}^{-1}$ no acúmulo de Mg. Em relação às cultivares, Kaeser não diferiu da Regina, sendo ambas, superiores a cv. Verônica (Figura 14).

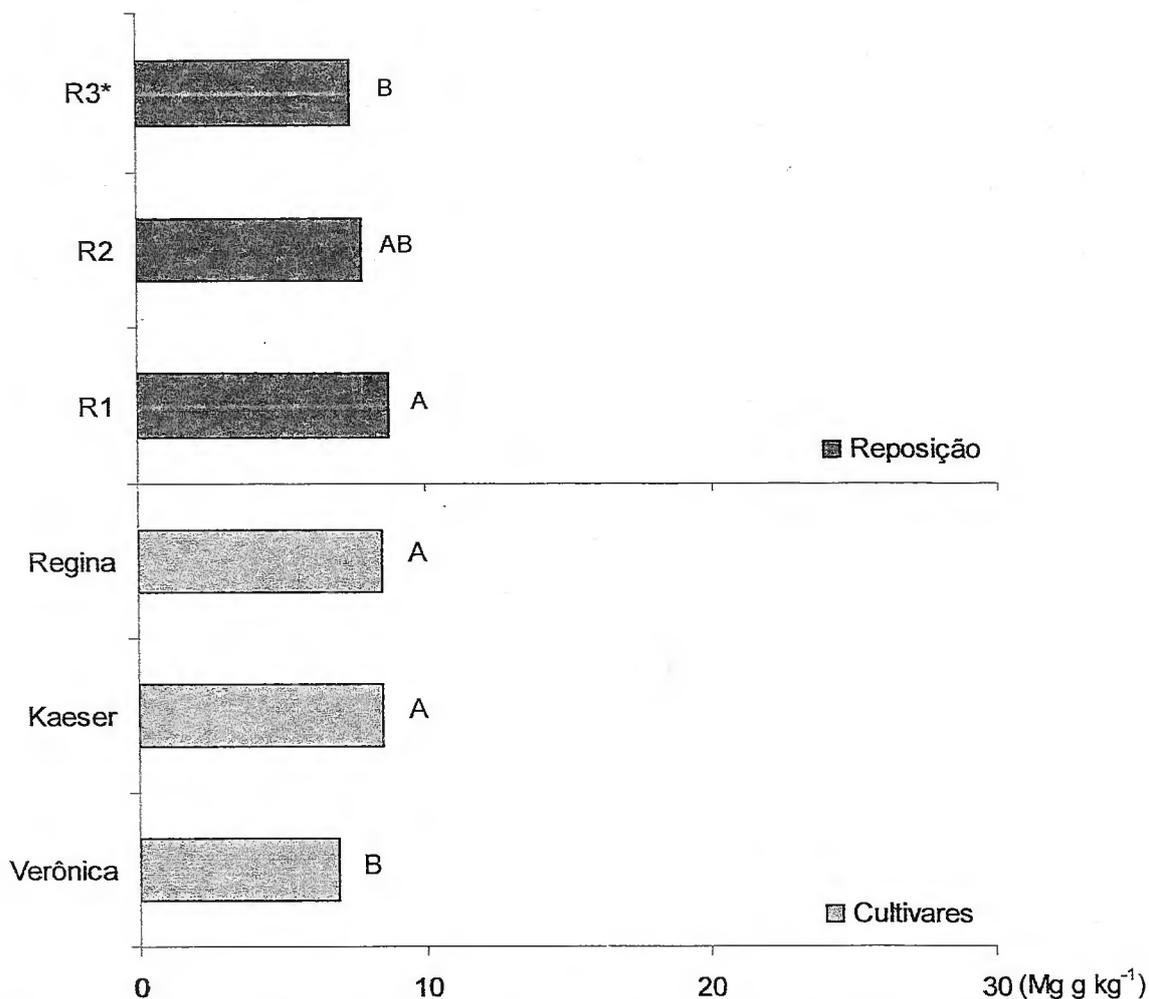


Figura 14 – Teores médios de Mg de cultivares de alface submetidas a três formas de reposição de nutrientes da solução nutritiva em sistema hidropônico NFT. UFRA, Belém/PA, 2007.

R1* – Reposição feita somente com água; R2 – reposição feita com 50% da formulação inicial; R3 – reposição baseada na manutenção da CE em 2,0 mS cm⁻¹ mediante a adição de soluções de ajuste.

Valores seguidos da mesma letra na vertical não diferem significativamente entre si ao nível de 5% pelo teste de Tukey.

O Mg é fundamental para a fotossíntese, sendo constituinte da molécula de clorofila e participando de inúmeras reações como ativador enzimático, na respiração, absorção iônica e transporte de energia, bem como no balanço eletrolítico e conferindo estabilidade aos ribossomos (MALAVOLTA, 2006).

O teor médio de Mg extraído pelas cultivares Kaeser e Regina neste experimento foi de $8,50 \text{ g kg}^{-1}$ base matéria seca aos 45 DAS. Valor este 22% superior a cv. Verônica. Os resultados obtidos neste experimento estão de acordo os demonstrados por Cometti (2003) o qual determinou teores de Mg em torno de $3,0 \text{ g kg}^{-1} \pm 0,5 \text{ g kg}^{-1}$ em folhas de alface cultivada em sistema hidropônico NFT. Garcia *et al.* (1988) encontraram valores de Mg em torno de 3,5 a $5,0 \text{ g kg}^{-1}$ em folhas de alface, com boa disponibilidade do mesmo no meio de cultivo; enquanto que Costa *et al.* (1997) obtiveram valores um pouco mais elevados (6,60 a $10,30 \text{ g kg}^{-1}$) cultivando plantas de alface em solução nutritiva, o mesmo ocorrendo com Fonseca, Fernandes e Martinez (2000) obtiveram plantas variando de 6,0 a $6,6 \text{ g kg}^{-1}$ de Mg; sendo esses últimos valores semelhantes aos deste experimento. Todos estes resultados corroboram com os resultados encontrados no experimento adotado nesta pesquisa.

Nesse sentido, pode-se afirmar que os níveis de Mg encontrados na pesquisa estão dentro do padrão para a exigência da cultura. Desse modo, utilizando-se dos resultados obtidos com base no trabalho demonstrado por Alfama (2008) ressalta que as curvas de absorção de Mg determinaram um comportamento polinomial para todas as interações analisadas. Este fato é relevante em virtude do autor ter trabalhado nas mesmas condições em que o experimento adotado nesta pesquisa foi conduzido.

5 – Conclusões.

De acordo com os resultados obtidos e nas condições de realização desta pesquisa é possível concluir que:

- A faixa de concentração da solução nutritiva pode variar de 100% a 50% da concentração inicial proposta, sem prejuízo da produtividade da cultura. No entanto, maiores diluições podem causar diminuição na produtividade proporcionalmente a concentração da solução nutritiva.
- As cultivares de alface adotadas na pesquisa obtiveram níveis de produção aceitáveis pelo consumidor. Contudo, a escolha deve ser de acordo com as exigências de mercado.
- As cultivares de alface obtiveram taxas de crescimento diferenciadas.
- O acúmulo de macronutrientes na matéria seca das cultivares de alface está dentro do padrão para a exigência da cultura.

Referências.

- ALFAMA, P.J.B. da C. **Avaliação de cultivares de alface hidropônica em duas concentrações de soluções nutritivas no Trópico Úmido com ênfase na extração de nutrientes.** 2008. 115p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém. 2008.
- ALVARENGA, M.A.R. **Crescimento, teor e acúmulo de nutrientes em alface americana (*Lactuca sativa* L.) sob doses de nitrogênio aplicadas no solo e níveis de cálcio aplicados via foliar.** 1999. 117p. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras. 1999.
- ANDRIOLO, J.L. **Fisiologia das culturas protegidas.** Santa Maria: UFSM, 1999. 142p.
- ARNON, D.I; STOUT, P.R. Molybdenum as essential element for higher plants. *Plant Physiology*, v.14, p.599-602. 1939.
- ARNON, D.I. (1950). Dennis Robert Hoagland: 1884-1949. *Science* 112: 739-742.
- BACKES, F.A.A.L.; SANTOS, O.; SCHMIDT, D.; NOGUEIRA FILHO, H.; MANFRON, P.A.; CASAROLI, D. Reposição de nutrientes durante três cultivos de alface em hidroponia. *Horticultura Brasileira*, Brasília, v.21, n.4, p.590-596. 2003.
- BARBOSA, J.G.; MARTINEZ, H.E.P. **O cultivo hidropônico do crisântemo.** Viçosa: UFV, 1996. 9p.
- BARROS, A.P.; ALVES, J.E.; SILVA, J.N.P. **Situação e perspectiva da cadeia produtiva da alface hidropônica (*Lactuca sativa* L.) no Estado do Pará.** 2001. 27p. Monografia (Especialização em Agricultura Integrada na Amazônia) – Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, Belém. 2001.
- BARRY, C. **Nutrients: the handbook to hydroponic nutrient solutions.** Narrabeen, Australia: Casper, 1996. 55p.
- BECKER, A.F. **Consumo de água e coeficiente de cultura, de duas cultivares de alface (*Lactuca sativa* L.) cultivada em Santa Maria.** 1990. 51p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria. 1990.
- BENINCASA, M.M.P. **Análise de crescimento de plantas,** Jaboticabal: FUNEP, 1988. 42p.
- BENOIT, F.; CEUSTERMANS, N. Horticultural aspects of ecological soilless growing methods. *Acta Horticulturae*, v.1, n.396, p.11-24. 1995.

- MARTINS, S.R.; FERNANDEZ, H.S.; ASSIS, F.N.; MENDEZ, M.E.G. Caracterização climática e manejo de ambientes protegidos: a experiência brasileira. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.20, n.200/201, p.15-23, set/dez. 1999.
- MELO, D.M.; GUSMÃO, S.A.L de; LIMA, R.T. de; TORRES, G.I.O.P.S. Produção de cultivares de alface hidropônica em dois modelos de casa de cultivo protegido em Belém-PA. In: SEMANA DE INTEGRAÇÃO DAS CIÊNCIAS AGRÁRIAS, VII, 2007, Altamira. **Anais...** Belém: Universidade Federal do Pará/ Campos Altamira. 2007. 333p. il.
- MELO, D.M.; GUSMÃO, S.A.L. de; LIMA, R.T. de; TORRES, G.I.O.P.S. Concentração da solução nutritiva na produtividade de cultivares de alface hidropônica. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, V, 2008, Belém. **Anais...** Belém: Universidade Federal Rural da Amazônia. 2008. (CD-ROM).
- MENDONÇA, I.F. de; MARROCOS, N.R.M.; NETO, E.B.; BARRETO, L.P. Teor de macronutrientes em plantas de alface, em função do pH da solução nutritiva. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.21. 2003. (CD-ROM).
- MILLAWAY, R.M.; WIERSHOLM, L. Calcium and metabolic disorders. **Soil Science and Plant Analysis**, v.10, p.1-28. 1979.
- MORAES, C.A.G.; FURLANI, P.R. Cultivo de hortaliças de frutos em hidroponia em ambiente protegido. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.20, n.200/201, p.105-113, set/dez. 1999.
- MULLER, A.G. **Comportamento térmico do solo e do ar em alface em diferentes tipos de cobertura do solo**. 1991. 77p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba. 1991.
- NAGAI, H. Obtenção de novos cultivares de alface (*Lactuca sativa* L.) resistentes ao mosaico e ao calor – Brasil 303 e 311. **Revista de Olericultura**, São Paulo, v.18, n.1, p.14-21, 1980.
- NIELSEN, N. E. Crop production in recirculating nutrient solution according to the principle of regeneration. In: INTERNATIONAL CONGRESSO ON SOILLES CULTURE, 6th, 1984, Lunteren, The Netherlands. **Proceedings...** Lunteren: International Society for Soilless Culture, 1984. p.421-446.
- PANDURO, A.M.R. **Análise do comportamento da alface (*Lactuca sativa* L.) sob diferentes condições de iluminação**. 1986. 129p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba. 1986.
- QUEIROGA, R.C.F. **Produção de alface em função de cultivares e tipos de tela de sombreamento nas condições de Mossoró – RN**. 2000. 28 f. (Tese mestrado) – ESAM, Mossoró.

RAINS, D.W.; SCHMID, W.E.; EPSTEIN, E. Absorption of cations by roots. Effects of hydrogen ions and essential role of calcium. **Plant Physiology**, v.39, n.2, p.274-278, 1964.

REDDY, A.S.N. Cálcium: silver bullet in signaling. **Plant Science**, v.160, n.3, p.381-404, 2001.

RESH, H.M. **Hydroponic food production**. 5.ed. Califórnia: Woodbridge Press, 1996. 527p.

RESH, H.M. **Cultivos hidropônicos: nuevas técnicas de producción**. 4.ed. Madrid: Ed. Mundi-Prensa, 1997. 509p.

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. 56p.

SALETTE, J.; LEMAIRE, G. Sur la variation de la teneur en azote de graminées fourragères pendant leur croissance: formulation d'une lois de dilution. **C R Acad. Sc. Paris**, v.292, p.875-878, 1981.

SANDERS, D.; BROWNEE, C.; HARPER, J.F. Communicating with calcium. **Plant Cell**, v.11, p.691-706, 1999.

SANTANA, L.F da S.; GUSMÃO, S.A.L de; SILVESTRE, W.V.D.; LOPES, P.R de A.; GUSMÃO, M.T de A.; SILVA, C.L.P da; PEGADO, D.S.; FERREIRA, S.G. Avaliação de cultivares de alface em hidroponia, sistema NFT, em Belém – PA. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.22. 2004. (CR-ROM).

SANTOS, O.S. **Soluções nutritivas para alface**. Santa Maria: UFSM, 2000. 150p.

SANTOS, R.H.S.; SILVA, F.; CASALI, V.W.D.; CONDER, A.R. Efeito residual da adubação com composto orgânico sobre o crescimento e produção de alface. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.36, n.11, p.1395-1398. 2001.

SILVA, S.P. da; MELO, D.M.; LIMA, R.T. de; TORRES, G.I.O.P.S.; GUSMÃO, S.A.L. de. Efeito da adubação foliar com Ca e B na produtividade, em cultivares de alface, produzidas em sistema hidropônico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 48, 2008, Maringá. **Resumos...** Maringá: ABH. 2008 a. (CD-ROM): Disponível em www.abhorticultura.com.br/

SILVA, S.P. da; MELO, D.M.; LIMA, R.T. de; TORRES, G.I.O.P.S.; GUSMÃO, S.A.L. de. Produção e aparência de cultivares de alface, cultivadas em sistema hidropônico, no município de Altamira-PA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE OLERICULTURA, 48, 2008, Maringá. **Resumos...** Maringá: ABH. 2008 b. (CD-ROM): Disponível em www.abhorticultura.com.br/

SCHNEIDER, F.M.; BURIOL, G.A.; ANDRIOLO, J.L.; ESTEFANEL, V.; STRECK, N.A. Modificação na temperatura do solo causada por estufas de polietileno transparente de baixa densidade em Santa Maria, RS. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.1, n.1, p.37-42. 1993.

SCHWARZ, M. Soilles culture management. [S.L.]: Springer-Verlag, 1995. 195p.

SHEAR, C.B. Calcium related disorders of fruits and vegetables. **Horticultural Science**, v.10, p.361-365, 1975.

TRANI, P.E.; RAIJ, B. Hortaliças. In: RAIJ, B.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J.A.; FURLANI, A.M.C. (Eds.). **Recomendações de adubação e calagem para o estado de São Paulo**. 2nd. ed. rev. Campinas: Instituto Agrônômico/ Fundação IAC, 1997. cap.18, p.157-185. (Boletim Técnico, 100).

TEDESCO, M.J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C.A.; BOHNEN, H.; VOLKWEISS, S.J. **Análises de solo, plantas e outros materiais**. 2nd. ed. Porto Alegre: UFRGS, 1995. 174p.

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

TERRA, S.B.; MARTINS, S.R.; FERNANDES, H.S.; DUARTE, G.B. Exportação de macronutrientes em alface cultivada no outono-inverno e na primavera com adubação orgânica em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.19. 2001. (CD-ROM).

VAN OS, E.A.; BENOIT, F. State of the art of dutch and belgian greenhouse horticulture and hydroponics. **Acta Horticulturae**, v.481, p.765-767, 1999.

VERDADE, S.B.; BOLONHEZI, D.; FURLANI, P.R.; OLIVEIRA, M.V. Estimativa de consumo de água e extração de nutrientes em cultivares de alface no sistema hidropônico NFT. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 29, 2003, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: Universidade de São Paulo. 2003 (CD-ROM).

WITTEWER, H.S.; CASTILHA, N. Protected cultivation of horticultural crops worldwide. **Hort Technology**, v.5, p.6-23. 1995.

YURI, J.E.; MOTA, J.H.; SOUZA, R.J.; RESENDE, G.M.; FREITAS, S.A.C.; RODRIGUES JÚNIOR, J.C. **Alface americana: cultivo comercial**. Lavras: UFLA, 2002. 51p.