

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
DEPARTAMENTO DE AGRONOMIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA

RENAN SOARES DE SOUZA

Fertirrigação com nitrogênio e silicato de potássio na cultura de alface  
(*Lactuca sativa* L.) em ambiente protegido

Maringá

2015

RENAN SOARES DE SOUZA

Fertirrigação com nitrogênio e silicato de potássio na cultura de alface  
(*Lactuca sativa* L.) em ambiente protegido

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia do Departamento de Agronomia, Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Agronomia

Área de concentração: Produção Vegetal

Orientador: Prof. Dr. Roberto Rezende

Coorientador: Prof. Dr. Paulo Sérgio Lourenço de Freitas

Maringá

2015

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
(Biblioteca Central - UEM, Maringá, PR, Brasil)

S729f Souza, Renan Soares de  
Fertirrigação com nitrogênio e silicato de potássio na cultura de alface (*Lactuca sativa* L.) em ambiente protegido / Renan Soares de Souza. -- Maringá, 2015.  
xv, 100 f. : figs. (algumas color.), tabs.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Rezende.

Coorientador: Prof. Dr. Paulo Sérgio Lourenço de Freitas.

Tese (doutorado) - Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Agronomia, Programa de Pós-Graduação em Agronomia, 2015.

1. Olerícola folhosa - Adubação. 2. Quimigação. 3. Irrigação - Casa de vegetação. 4. Massa fresca comercial. 5. Macronutrientes - Acúmulo. I. Rezende, Roberto, orient. II. Freitas, Paulo Sérgio Lourenço de, coorient. III. Universidade Estadual de Maringá. Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Agronomia. Programa de Pós-Graduação em Agronomia. IV. Título.

CDD 21.ed. 631.587

GVS-002634

## FOLHA DE APROVAÇÃO

RENAN SOARES DE SOUZA

Fertirrigação com nitrogênio e silicato de potássio na cultura de alface  
(*Lactuca sativa* L.) em ambiente protegido

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia do Departamento de Agronomia, Centro de Ciências Agrárias da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de Doutor em Agronomia pela Comissão Julgadora composta pelos membros:

### COMISSÃO JULGADORA

Prof. Dr. Roberto Rezende  
Universidade Estadual de Maringá (Presidente)

Prof. Dr. Antônio Carlos Andrade Gonçalves  
Universidade Estadual de Maringá

Prof. Dr. Eduardo Pinheiro de Freitas  
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo

Prof. Dr. José Antônio Frizzone  
Universidade de São Paulo

Prof. Dr. Paulo Sérgio Lourenço de Freitas  
Universidade Estadual de Maringá

Aprovada em: 11 de fevereiro de 2015.

Local de defesa: Anfiteatro II, Bloco J-45, *campus* da Universidade Estadual de Maringá.

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus amados pais, Claudemir e Ciumara, avós, Alcides e Divani (*in memoriam*), irmã, Ariane, e tia, Silvane.

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo Seu grandioso amor, pela Sua maravilhosa presença e pela Sua sábia obra em minha vida.

À minha família, por dividir comigo os meus fardos, com paciência e compreensão, pelas palavras e atitudes de amor, apoio e encorajamento, e por me mostrar, desta forma, a importância da união familiar e de estar ao lado de quem se ama.

À Universidade Estadual de Maringá (UEM) e ao Programa de Pós-graduação em Agronomia (PGA), pela oportunidade de aprimoramento profissional mediante realização do curso de Doutorado.

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), pelo auxílio com a bolsa de estudo.

Ao Prof. Dr. Roberto Rezende, pela orientação, por todo zelo na construção de um relacionamento alicerçado na amizade e no companheirismo, pelos conselhos e por todos os conhecimentos adquiridos, sejam de caráter pessoal ou profissional, ao longo de todo o período de convívio.

Ao Prof. Dr. Paulo Sérgio Lourenço de Freitas, pela prestatividade em sanar dúvidas e pela colaboração com informações que auxiliaram na complementação do estudo realizado.

Ao Prof. Dr. Antônio Carlos Andrade Gonçalves, pela atenção e pelas valorosas contribuições com a melhoria da qualidade deste trabalho.

A todos os professores de graduação e pós-graduação, que, de alguma forma, contribuíram, durante toda a minha formação profissional, com conhecimentos que foram necessários à realização do trabalho.

Aos colegas e amigos de pós-graduação Anderson Takashi Hara, André Maller, André Ribeiro da Costa, Jhonatan Monteiro de Oliveira e Rafael Verri Tavore, e ao estagiário de graduação Rodolfo Antonio Batalini, que auxiliaram, com boa convivência e cada qual do seu modo particular, nas atividades de formação e desenvolvimento do presente estudo.

À Érika Cristina Takamizawa Sato, Secretária do PGA, pela amizade e disposição para ajudar ao longo do curso.

## EPÍGRAFE

Tudo tem o seu tempo determinado, e há tempo para todo propósito debaixo do céu: há tempo de nascer e tempo de morrer; tempo de plantar e tempo de arrancar o que se plantou; tempo de matar e tempo de curar; tempo de derribar e tempo de edificar; tempo de chorar e tempo de rir; tempo de prantear e tempo de saltar de alegria; tempo de espalhar pedras e tempo de ajuntar pedras; tempo de abraçar e tempo de afastar-se de abraçar; tempo de buscar e tempo de perder; tempo de guardar e tempo de deitar fora; tempo de rasgar e tempo de coser; tempo de estar calado e tempo de falar; tempo de amar e tempo de aborrecer; tempo de guerra e tempo de paz.

(Eclesiastes 3: 1-8)

Fertirrigação com nitrogênio e silicato de potássio na cultura de alface  
(*Lactuca sativa* L.) em ambiente protegido

**RESUMO GERAL**

Objetivou-se, com o presente estudo, avaliar a resposta de alface, cultivar Vera, com relação à produção, qualidade comercial, massa seca e acúmulo de macronutrientes (parte aérea), quando cultivada em ambiente protegido e conduzida sob fertirrigação com nitrogênio e silicato de potássio. Dois experimentos, um no período de inverno e primavera do ano de 2012 (IP) e outro no período de outono do ano de 2013 (O), foram avaliados individualmente e, em cada um deles, foram utilizados dez tratamentos, dispostos em um delineamento inteiramente casualizado com três repetições. A composição de nove tratamentos ocorreu mediante a utilização da matriz Plan Puebla III, que combinou cinco doses de N (9; 54; 90; 126 e 171 kg ha<sup>-1</sup>) com cinco doses de potássio (óxido de potássio - K<sub>2</sub>O) e silício (Si) (1,15; 6,90; 11,50; 16,10 e 21,85 kg ha<sup>-1</sup>). As doses foram aplicadas em cobertura e via fertirrigação, mediante operação de um sistema de microirrigação por gotejamento, com a utilização de ureia, como fonte de N, e do produto líquido comercial Fertilício<sup>®</sup> (a base de silicato de potássio), como fonte de potássio e silício, porém na testemunha, que totalizou os tratamentos, não houve fertirrigação. O maior resultado para massa fresca comercial da parte aérea, no período de IP, foi observado na maior dose de Si e K<sub>2</sub>O e na dose zero de N, entretanto, constatou-se interação negativa entre as doses de N, Si e K<sub>2</sub>O a partir de 17,00 kg Si e K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> e 166,66 kg N ha<sup>-1</sup>. Para o experimento de IP, as maiores doses de N e de Si e K<sub>2</sub>O proporcionaram a maior massa seca comercial da parte aérea (MSCPA), e as maiores respostas para acúmulos de magnésio (Mg), cálcio (Ca), potássio (K) e fósforo (P) na MSCPA ocorreram tanto na maior dose de N quanto na maior dose de Si e K<sub>2</sub>O. No período de O, apenas a fertirrigação com nitrogênio favoreceu a massa fresca comercial da parte aérea, a massa seca comercial da parte aérea e os acúmulos de Mg, K, N e P na MSCPA, cujos maiores resultados foram encontrados na maior dose de N. Porém, no experimento de O, tanto a fertirrigação com nitrogênio quanto a fertirrigação com silicato de potássio influenciaram de maneira positiva os acúmulos de cálcio e enxofre (S) na MSCPA, com as maiores respostas observadas tanto na maior dose de N quanto na maior dose de Si e K<sub>2</sub>O.

**Palavras-chave:** Adubação para olerícola folhosa. Quimigação. Irrigação em casa de vegetação. Massa fresca comercial. Massa seca comercial. Acúmulo de macronutrientes.



Fertirrigation with nitrogen and potassium silicate in lettuce culture  
(*Lactuca sativa* L.) in protected environment

**GENERAL ABSTRACT**

It was aimed, with the present work, to evaluate the response of lettuce, cultivar Vera, with respect to production, commercial quality, dry mass and accumulation of macronutrients (shoot), when cultivated in protected environment and conducted under fertirrigation with nitrogen and potassium silicate. Two experiments, one in the winter and spring period of the year 2012 (WS) and another in the autumn period of the year 2013 (A), were evaluated individually and, in each one of them, were used ten treatments, arranged in a completely randomized design with three replications. The composition of nine treatments occurred by the use of the Plan Puebla III matrix, which combined five N doses (9; 54; 90; 126 e 171 kg ha<sup>-1</sup>) with five potassium (potassium oxide - K<sub>2</sub>O) and silicon (Si) doses (1.15; 6.90; 11.50; 16.10 e 21.85 kg ha<sup>-1</sup>). The doses were applied in topdressing and by fertirrigation, by operation of a drip micro-irrigation system, with the use of urea, as N source, and of the commercial liquid product Fertilífcio (potassium silicate based), as potassium and silicon source, but in the control, that totalized the treatments, there was not fertirrigation. The highest result for shoot commercial fresh mass, in the WS period, was observed in the major dose of Si and K<sub>2</sub>O and in the zero dose of N, however, it was found negative interaction among the doses of N, Si e K<sub>2</sub>O as from 17.00 kg Si and K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> and 166.66 kg N ha<sup>-1</sup>. For the WS experiment, the major doses of N and of Si and K<sub>2</sub>O provided the highest shoot commercial dry mass (SCDM), and the superior responses for accumulations of magnesium (Mg), calcium (Ca), potassium (K) and phosphorus (P) in the SCDM occurred both in the major dose of N and in the major dose of Si and K<sub>2</sub>O. In the A period, only the fertirrigation with nitrogen favored the shoot commercial fresh mass, the shoot commercial dry mass and the accumulations of Mg, K, N and P in the SCDM, whose superior results were found in the major dose of N. However, in the A experiment, both the fertirrigation with nitrogen and the fertirrigation with potassium silicate influenced of positive manner the accumulations of calcium and sulfur (S) in the SCDM, with the superior responses observed both in the major dose of N and in the major dose of Si and K<sub>2</sub>O.

**Keywords:** Fertilization for leafy vegetable. Chemigation. Irrigation in greenhouse. Commercial fresh mass. Commercial dry mass. Accumulation of macronutrients.

# LISTA DE TABELAS

## CAPÍTULO 1

Tabela 1	Resultados de análise química para caracterização do solo da área experimental, com abordagem para macronutrientes, na profundidade de 0,10 m .....	22
Tabela 2	Resultados de análise química para caracterização do solo da área experimental, com abordagem para micronutrientes, na profundidade de 0,10 m .....	23
Tabela 3	Doses de nitrogênio (N) e de silício (Si) e potássio (K <sub>2</sub> O) aplicadas em cobertura para os tratamentos .....	32
Tabela 4	Estatísticas descritivas para as características massa fresca total da parte aérea (MFTPA), massa fresca comercial da parte aérea (MFCPA), massa fresca não comercial da parte aérea (MFNCPA), número de folhas comerciais por planta (NFC) e índice comercial (IC) de alface Vera, no período de inverno e primavera (2012), Maringá, PR .....	37
Tabela 5	Estatísticas descritivas para as características massa fresca total da parte aérea (MFTPA), massa fresca comercial da parte aérea (MFCPA), massa fresca não comercial da parte aérea (MFNCPA), número de folhas comerciais por planta (NFC) e índice comercial (IC) de alface Vera, no período de outono (2013), Maringá, PR .....	38
Tabela 6	Teste de médias de Tukey para a característica índice comercial (IC) de alface Vera, no período de inverno e primavera (2012) e de outono (2013), Maringá, PR .....	47

## CAPÍTULO 2

Tabela 1	Estatísticas descritivas para massa seca comercial da parte aérea (MSCPA) e acúmulos de magnésio (Mg) e cálcio (Ca) na MSCPA de alface Vera, no período de inverno e primavera (2012), Maringá, PR.....	61
Tabela 2	Estatísticas descritivas para massa seca comercial da parte aérea (MSCPA) e acúmulos de magnésio (Mg) e cálcio (Ca) na MSCPA de alface Vera, no período de outono (2013), Maringá, PR.....	62
Tabela 3	Estatísticas descritivas para acúmulos de potássio (K), nitrogênio (N), fósforo (P) e enxofre (S) na massa seca comercial da parte aérea de alface Vera, no período de inverno e primavera (2012), Maringá, PR .....	69
Tabela 4	Estatísticas descritivas para acúmulos de potássio (K), nitrogênio (N), fósforo (P) e enxofre (S) na massa seca comercial da parte aérea de alface Vera, no período de outono (2013), Maringá, PR .....	70
Tabela 5	Teste de médias de Tukey para acúmulos de nitrogênio (N) e enxofre (S) na massa seca comercial da parte aérea de alface Vera, no período de inverno e primavera (2012), Maringá, PR .....	73

# LISTA DE FIGURAS

## CAPÍTULO 1

Figura 1	Croqui com a disposição espacial dos canteiros, das parcelas experimentais e do sistema de irrigação .....	24
Figura 2	Croqui com maior detalhamento de uma parcela experimental .....	26
Figura 3	Ilustração do sistema de microirrigação por gotejamento instalado na área experimental antes de transplantar as mudas para o solo .....	27
Figura 4	Ilustração da área experimental, no dia do transplântio, com plantas aos 26 dias após a sementeira.....	30
Figura 5	Ilustração da área experimental com plantas aos 50 dias após a sementeira .....	31
Figura 6	Ilustração da área experimental com plantas aos 60 dias após a sementeira .....	31
Figura 7	Temperaturas do ar, mínimas e máximas, e umidades relativas do ar, ocorridas durante os períodos experimentais.....	36
Figura 8	Massa fresca total da parte aérea (MFTPA) (g por planta) de alface Vera, em função de doses de N ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e de Si e $\text{K}_2\text{O}$ ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), no período de inverno e primavera (2012), Maringá, PR. *Significativo pelo teste t de Student ( $p < 0,05$ ); <sup>(a)</sup> Coeficiente de determinação ajustado .....	39
Figura 9	Massa fresca comercial da parte aérea (MFCPA) (g por planta) de alface Vera, em função de doses de N ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e de Si e $\text{K}_2\text{O}$ ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), no período de inverno e primavera (2012), Maringá, PR. *Significativo pelo teste t de Student ( $p < 0,05$ ); <sup>(a)</sup> Coeficiente de determinação ajustado.....	40
Figura 10	Massa fresca total da parte aérea (MFTPA) de alface Vera, em função de doses de N, no período de outono (2013), Maringá, PR. *Significativo pelo teste t de Student ( $p < 0,05$ ); <sup>(a)</sup> Coeficiente de determinação ajustado.....	41
Figura 11	Massa fresca comercial da parte aérea (MFCPA) de alface Vera, em função de doses de N, no período de outono (2013), Maringá, PR. *Significativo pelo teste t de Student ( $p < 0,05$ ); <sup>(a)</sup> Coeficiente de determinação ajustado .....	41

Figura 12	Massa fresca não comercial da parte aérea (MFNCPA) de alface Vera, em função de doses de N, no período experimental de inverno e primavera do ano de 2012, Maringá, PR. *Significativo pelo teste t de Student ( $p < 0,05$ ); <sup>(a)</sup> Coeficiente de determinação ajustado .....	42
Figura 13	Massa fresca não comercial da parte aérea (MFNCPA) de alface Vera, em função de doses de Si e K <sub>2</sub> O, no período experimental de inverno e primavera do ano de 2012, Maringá, PR. *Significativo pelo teste t de Student ( $p < 0,05$ ); <sup>(a)</sup> Coeficiente de determinação ajustado .....	43
Figura 14	Massa fresca não comercial da parte aérea (MFNCPA) de alface Vera, em função de doses de N, no período de outono (2013), Maringá, PR. *Significativo pelo teste t de Student ( $p < 0,05$ ); <sup>(a)</sup> Coeficiente de determinação ajustado .....	43
Figura 15	Massa fresca não comercial da parte aérea (MFNCPA) de alface Vera, em função de doses de Si e K <sub>2</sub> O, no período de outono (2013), Maringá, PR. *Significativo pelo teste t de Student ( $p < 0,05$ ); <sup>(a)</sup> Coeficiente de determinação ajustado .....	44
Figura 16	Número de folhas comerciais por planta (NFC) de alface Vera, em função de doses de N, no período experimental de inverno e primavera do ano de 2012, Maringá, PR. *Significativo pelo teste t de Student ( $p < 0,05$ ); <sup>(a)</sup> Coeficiente de determinação ajustado .....	45
Figura 17	Número de folhas comerciais por planta (NFC) de alface Vera, em função de doses de Si e K <sub>2</sub> O, no período experimental de inverno e primavera do ano de 2012, Maringá, PR. *Significativo pelo teste t de Student ( $p < 0,05$ ); <sup>(a)</sup> Coeficiente de determinação ajustado .....	45
Figura 18	Número de folhas comerciais por planta (NFC) de alface Vera, em função de doses de N, no período de outono (2013), Maringá, PR. *Significativo pelo teste t de Student ( $p < 0,05$ ); <sup>(a)</sup> Coeficiente de determinação ajustado .....	46

## CAPÍTULO 2

- Figura 1 Massa seca comercial da parte aérea (MSCPA) (g por planta) de alface Vera, em função de doses de N ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e de Si e  $\text{K}_2\text{O}$  ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), no período de inverno e primavera (2012), Maringá, PR. \*Significativo pelo teste t de Student ( $p < 0,05$ ); <sup>(a)</sup> Coeficiente de determinação ajustado .....62
- Figura 2 Massa seca comercial da parte aérea (MSCPA) de alface Vera, em função de doses de N, no período de outono (2013), Maringá, PR. \*Significativo pelo teste t de Student ( $p < 0,05$ ); <sup>(a)</sup> Coeficiente de determinação ajustado .....63
- Figura 3 Acúmulo de magnésio (Mg) na massa seca comercial da parte aérea de alface Vera, em função de doses de nitrogênio, no período de inverno e primavera do ano de 2012, Maringá, PR. \*Significativo pelo teste t de Student ( $p < 0,05$ ); <sup>(a)</sup> Coeficiente de determinação ajustado .....64
- Figura 4 Acúmulo de magnésio (Mg) na massa seca comercial da parte aérea de alface Vera, em função de doses de Si e  $\text{K}_2\text{O}$ , no período de inverno e primavera do ano de 2012, Maringá, PR. \*Significativo pelo teste t de Student ( $p < 0,05$ ); <sup>(a)</sup> Coeficiente de determinação ajustado .....64
- Figura 5 Acúmulo de magnésio (Mg) na massa seca comercial da parte aérea de alface Vera, em função de doses de N, no período experimental de outono do ano de 2013, Maringá, PR. \*Significativo pelo teste t de Student ( $p < 0,05$ ); <sup>(a)</sup> Coeficiente de determinação ajustado .....65
- Figura 6 Acúmulo de cálcio (Ca) na massa seca comercial da parte aérea de alface Vera, em função de doses de N, no período experimental de inverno e primavera do ano de 2012, Maringá, PR. \*Significativo pelo teste t de Student ( $p < 0,05$ ); <sup>(a)</sup> Coeficiente de determinação ajustado .....66
- Figura 7 Acúmulo de cálcio (Ca) na massa seca comercial da parte aérea de alface Vera, em função de doses de Si e  $\text{K}_2\text{O}$ , no período experimental de inverno e primavera do ano de 2012, Maringá, PR. \*Significativo pelo teste t de Student ( $p < 0,05$ ); <sup>(a)</sup> Coeficiente de determinação ajustado .....67
- Figura 8 Acúmulo de cálcio (Ca) na massa seca comercial da parte aérea de alface Vera, em função de doses de N, no período experimental de outono do ano de 2013, Maringá, PR. \*Significativo pelo teste t de Student ( $p < 0,05$ ); <sup>(a)</sup> Coeficiente de determinação ajustado .....68

Figura 9	Acúmulo de cálcio (Ca) na massa seca comercial da parte aérea de alface Vera, em função de doses de Si e K <sub>2</sub> O, no período experimental de outono do ano de 2013, Maringá, PR. *Significativo pelo teste t de Student (p<0,05); <sup>(a)</sup> Coeficiente de determinação ajustado .....	68
Figura 10	Acúmulo de potássio (K) na massa seca comercial da parte aérea de alface Vera, em função de doses de N, no período de inverno e primavera (2012), Maringá, PR. *Significativo pelo teste t de Student (p<0,05); <sup>(a)</sup> Coeficiente de determinação ajustado .....	70
Figura 11	Acúmulo de potássio (K) na massa seca comercial da parte aérea de alface Vera, em função de doses de Si e K <sub>2</sub> O, no período de inverno e primavera do ano de 2012, Maringá, PR. *Significativo pelo teste t de Student (p<0,05); <sup>(a)</sup> Coeficiente de determinação ajustado .....	71
Figura 12	Acúmulo de potássio (K) na massa seca comercial da parte aérea de alface Vera, em função de doses de N, no período experimental de outono do ano de 2013, Maringá, PR. *Significativo pelo teste t de Student (p<0,05); <sup>(a)</sup> Coeficiente de determinação ajustado .....	71
Figura 13	Acúmulo de nitrogênio (N) na massa seca comercial da parte aérea de alface Vera, em função de doses de N, no período experimental de outono do ano de 2013, Maringá, PR. *Significativo pelo teste t de Student (p<0,05); <sup>(a)</sup> Coeficiente de determinação ajustado .....	73
Figura 14	Acúmulo de fósforo (P) na massa seca comercial da parte aérea de alface Vera, em função de doses de N, no período de inverno e primavera do ano de 2012, Maringá, PR. *Significativo pelo teste t de Student (p<0,05); <sup>(a)</sup> Coeficiente de determinação ajustado .....	74
Figura 15	Acúmulo de fósforo (P) na massa seca comercial da parte aérea de alface Vera, em função de doses de Si e K <sub>2</sub> O, no período de inverno e primavera do ano de 2012, Maringá, PR. *Significativo pelo teste t de Student (p<0,05); <sup>(a)</sup> Coeficiente de determinação ajustado .....	75
Figura 16	Acúmulo de fósforo (P) na massa seca comercial da parte aérea de alface Vera, em função de doses de N, no período experimental de outono do ano de 2013, Maringá, PR. *Significativo pelo teste t de Student (p<0,05); <sup>(a)</sup> Coeficiente de determinação ajustado .....	76
Figura 17	Acúmulo de enxofre (S) na massa seca comercial da parte aérea de alface Vera, em função de doses de N, no período experimental de outono do ano de 2013, Maringá, PR. *Significativo pelo teste t de Student (p<0,05); <sup>(a)</sup> Coeficiente de determinação ajustado .....	77

Figura 18 Acúmulo de enxofre (S) na massa seca comercial da parte aérea de alface Vera, em função de doses de Si e K<sub>2</sub>O, no período experimental de outono do ano de 2013, Maringá, PR. \*Significativo pelo teste t de Student (p<0,05); <sup>(a)</sup> Coeficiente de determinação ajustado .....77



## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO GERAL.....	1
2	REVISÃO DE LITERATURA GERAL .....	3
2.1	Cultura da alface ( <i>Lactuca sativa</i> L.) .....	3
2.2	Ambiente protegido .....	5
2.3	Irrigação e fertirrigação de hortaliças .....	7
2.4	Nitrogênio (N) .....	9
2.5	Potássio (K) .....	12
2.6	Silício (Si).....	13
2.7	Respostas à adubação com nitrogênio, potássio e silício .....	15
CAPÍTULO 1 - Produção e qualidade comercial de alface ( <i>Lactuca sativa</i> L.) fertirrigada com nitrogênio e silicato de potássio em ambiente protegido.....		
	RESUMO .....	17
	ABSTRACT .....	19
1.1	INTRODUÇÃO .....	20
1.2	MATERIAL E MÉTODOS .....	22
1.2.1	Caracterização e preparo da área experimental .....	22
1.2.2	Sistema de irrigação.....	23
1.2.3	Condução da cultura de alface .....	29
1.2.4	Tratamentos e delineamento experimental .....	30
1.2.5	Fertirrigação.....	32
1.2.6	Colheita.....	33
1.2.7	Características avaliadas e análises estatísticas .....	33
1.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
1.3.1	Condições ambientais .....	36
1.3.2	Massa fresca total e massa fresca comercial da parte aérea .....	37
1.3.3	Massa fresca não comercial da parte aérea.....	42
1.3.4	Número de folhas comerciais por planta .....	44
1.3.5	Índice comercial.....	47
1.3.6	Discussão geral dos resultados .....	47
1.4	CONCLUSÕES .....	54

CAPÍTULO 2 - Massa seca e acúmulo de macronutrientes de alface ( <i>Lactuca sativa</i>	
L.) fertirrigada com nitrogênio e silicato de potássio em ambiente protegido.....55	
RESUMO .....	56
ABSTRACT .....	57
2.1	INTRODUÇÃO .....58
2.2	MATERIAL E MÉTODOS.....60
2.3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....61
2.3.1	Massa seca comercial da parte aérea .....61
2.3.2	Acúmulo de magnésio (Mg) .....63
2.3.3	Acúmulo de cálcio (Ca) .....66
2.3.4	Acúmulo de potássio (K) .....69
2.3.5	Acúmulo de nitrogênio (N).....72
2.3.6	Acúmulo de fósforo (P) .....74
2.3.7	Acúmulo de enxofre (S).....76
2.3.8	Discussão geral dos resultados .....78
2.4	CONCLUSÕES .....84
3	REFERÊNCIAS .....85
4	APÊNDICE A.....94
5	APÊNDICE B.....96

# 1 INTRODUÇÃO GERAL

A alface (*Lactuca sativa* L.) é uma olerícola folhosa que pode ser produzida tanto no campo quanto em ambiente protegido. Conforme FAO (2013), sua produção mundial em 2011 foi estimada juntamente com a da chicória e correspondeu ao valor de 24.489.059 toneladas, em uma área colhida de 1.106.457 ha. Neste ano, os principais países produtores foram a China continental, os EUA e a Índia (FAO, 2013). No Brasil, com uma segunda apuração do Censo Agropecuário de 2006, IBGE (2012) informou que a produção de alface foi de 576.338 toneladas, em 66.301 estabelecimentos, com destaque para as regiões Sudeste e Sul do país. São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Rio Grande do Sul e Paraná foram os estados brasileiros que mais produziram essa hortícola (IBGE, 2012).

O crescimento populacional no mundo tem resultado em uma maior demanda da produção de alimentos. Porém, esta não é a única preocupação. Há também considerações acerca dos impactos ou danos que os avanços na exploração agrícola podem causar ao meio ambiente e da qualidade com que os alimentos produzidos chegam até a população consumidora. A busca por alimentos *in natura* e saudáveis, do ponto de vista nutricional, em uma época em que muito se consome produtos industrializados, também ocorre. Desta forma, é necessário pesquisar, obter e utilizar estratégias ou novas tecnologias que possam unir as variadas demandas: aumento na produção de alimentos saudáveis e *in natura*, avanço na exploração agrícola com o mínimo de impacto ambiental e incremento na qualidade dos produtos. A produção de hortaliças em ambiente protegido com o uso da fertirrigação pode ser uma dessas estratégias.

O ambiente protegido é uma tecnologia que permite explorar pequenas áreas para a produção de olerícolas, com a vantagem de proteger as culturas de condições ambientais adversas, que garante maior regularidade na obtenção ou oferta de produtos ao longo do ano. Uma das opções de cultivo é a alface, comumente consumida *in natura* e na forma de saladas, que se constitui em alternativa para quem busca uma alimentação mais saudável. A produção de alface em ambiente protegido pode ser promissora para pequenos agricultores, especialmente aqueles de pequenas propriedades localizadas nos cinturões verdes ao redor de grandes cidades.

Associada à escolha de um sistema de irrigação apropriado, como a microirrigação por gotejamento, essa estratégia pode resultar em uma produção de maior qualidade, assim como em menores gastos com água e energia, que são utilizadas de modo mais eficiente. A

utilização da fertirrigação também possibilita o parcelamento da adubação e permite alcançar uma distribuição mais adequada de nutrientes no solo, com melhor aproveitamento de água e nutrientes pela cultura e menos desperdício dos mesmos. Além de reduzir o custo de produção, a economia de água, energia e nutrientes (fertilizantes), na agricultura de pequenas áreas, pode amenizar os impactos ou danos da exploração agrícola ao meio ambiente. Assim, o cultivo de alface, realizado em ambiente protegido e com o uso da fertirrigação, é uma estratégia que pode acarretar benefícios aos diversos pontos de vista: produtivo, social, econômico e ambiental.

Plantas bem nutridas crescem e se desenvolvem melhor, resultando em produtos de melhor qualidade. No caso da alface, conforme Beninni, Takahashi e Neves (2005), os nutrientes mais acumulados pela parte aérea, em sistema convencional de cultivo no solo, são o potássio e o nitrogênio, respectivamente. Este fato ressalta a importância de um fornecimento adequado desses nutrientes à alface, sendo necessária a realização de pesquisas que determinem a melhor forma de aplicá-los, dentro de situações específicas, como as de ambiente protegido e de fertirrigação via sistema de microirrigação por gotejamento.

A intensificação da fotossíntese, a resistência às doenças fúngicas e bacterianas, assim como aos insetos, e a resistência à aridez, baixas temperaturas e salinidade, são alguns exemplos em que o silício está envolvido (EPSTEIN; BLOOM, 2006). Na fertirrigação, é indispensável a utilização de fertilizantes solúveis. No caso do silício, não é diferente. É necessária pesquisa acerca do efeito que a aplicação deste elemento solúvel, aplicado via água de irrigação, pode causar às culturas agrícolas, devido aos seus possíveis benefícios às plantas.

Neste contexto, sabendo-se que o suprimento de potássio e nitrogênio é importante para a alface, e considerando-se os possíveis benefícios que a adubação com silício pode oferecer a esta cultura, objetivou-se, com este trabalho, avaliar o efeito da aplicação em cobertura de nitrogênio e silicato de potássio, via fertirrigação e mediante uso de sistema de microirrigação por gotejamento, sobre a produção, qualidade comercial, massa seca e acúmulo de macronutrientes (parte aérea) da cultura de alface crespa, cultivar Vera, em ambiente protegido.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA GERAL

### 2.1 Cultura da alface (*Lactuca sativa* L.)

A alface é uma hortaliça herbácea, que pertence à família Asterácea, originária de espécies silvestres que ainda encontram-se, atualmente, em regiões de clima temperado, e cujas partes comerciáveis são as folhas. Estas crescem em roseta em volta de um caule diminuto, podem ser lisas ou crespas, formarem ou não uma “cabeça” e apresentarem, de acordo com cada cultivar, coloração variada de verde, ou roxa. Por ocasião do transplântio, a planta explora, com seu sistema radicular muito ramificado, apenas os primeiros 25 cm de profundidade do solo, sendo considerado, desta forma, superficial (FILGUEIRA, 2008).

O cultivo de alface ocorre em praticamente todas as regiões do Brasil e, no âmbito econômico, é a cultura mais importante (CARVALHO FILHO; GOMES; MALUF, 2009). Devido ao seu sabor, qualidade nutricional e preço reduzido, é a principal salada consumida pela população brasileira (RESENDE et al., 2007). A concentração das zonas produtoras dessa hortaliça folhosa ocorre próxima a áreas metropolitanas, isto é, nos “cinturões verdes”, em razão de sua curta vida pós-colheita (HENZ; SUINAGA, 2009), alta perecibilidade e baixa resistência ao transporte (VIDIGAL et al., 1995).

Conforme o tipo de folhas e a formação de “cabeça” pelas mesmas, as cultivares de alface podem ser reunidas nos seguintes grupos principais: repolhuda crespa ou americana, cujas folhas crespas, consistentes e crocantes formam uma “cabeça” grande e bem compacta; repolhuda lisa, com “cabeça” compacta, constituída por folhas lisas, delicadas, macias, de nervuras pouco salientes e com aspecto de “manteiga”; solta lisa, cujas folhas lisas e soltas não formam cabeça compacta; solta crespa, que não apresenta “cabeça” e é constituída por folhas grandes, crespas, macias, consistentes, verdes ou roxas; e romana, cujas folhas alongadas, duras e com nervuras claras constituem uma “cabeça” fofa e alongada (HENZ; SUINAGA, 2009).

As plantas de alface de cultivar Vera são caracterizadas pelas suas folhas crespas, de coloração verde-clara brilhante, e por serem vigorosas, com um ciclo que varia de 50 a 70 dias, da sementeira ao ponto ideal de colheita para o mercado, de acordo com a região e época de cultivo. Durante o verão, apresenta excelente resistência ao florescimento prematuro e também uma excelente performance em cultivo de inverno a campo aberto e em cultivo hidropônico durante todo o ano (DELLA VECCHIA; KOCH; KIKUCHI, 1999).

A produção de alface é melhor quando o clima é ameno, isto é, sob temperaturas amenas. Apesar disto, apresenta cultivares de “verão”, com adaptação às temperaturas cálidas. Há tolerância às temperaturas mais baixas, próximas e acima de 0 °C, e até mesmo às geadas leves. O florescimento, iniciado com o pendoamento, ocorre em condições de dias longos e temperaturas cálidas. Assim, dias curtos e temperaturas amenas favorecem a etapa vegetativa do ciclo desta cultura e a produção de todas as suas cultivares (FILGUEIRA, 2008).

O cultivo da alface sob temperaturas acima de 25 °C e dias longos pode acarretar em redução da fase vegetativa e ocorrência de pendoamento precoce (RESENDE et al., 2007), que torna a hortaliça inadequada para consumo, pois suas folhas ficam amargas devido à produção de látex (CARVALHO FILHO; GOMES; MALUF, 2009). A adaptação da alface ocorre com um menor fluxo de energia radiante, e quando exposta a uma variação ótima de luminosidade, associada aos outros fatores favoráveis, há elevação da fotossíntese e um alto acúmulo de matéria seca (BEZERRA NETO et al., 2005).

A germinação da alface depende da temperatura, que é ótima aos 20 °C, enquanto que acima dos 30 °C as sementes da maioria das cultivares não germinam (NASCIMENTO, 2002). De acordo com Brunini et al. (1976), o elemento climático que representa a principal causa do crescimento e desenvolvimento vegetal é a temperatura do ar, cuja média mensal deve variar entre 15 e 18 °C e a máxima entre 21 e 24 °C, com uma mínima de 7 °C, para o bom desenvolvimento e boa produção de alface. Estes autores ainda verificaram, para a cultivar de alface White Boston, uma temperatura mínima de desenvolvimento de 6 °C, na fase germinação-transplante, e de 10 °C, na fase transplante-colheita.

Em experimento conduzido na Paraíba, com alface americana (Irene) semeada em maio, Araújo, T. et al. (2010) observaram maior acúmulo de graus-dia para o cultivo em ambiente protegido do que no cultivo em ambiente natural, que acarretou em redução do ciclo (35 dias após o transplante das mudas) e nos valores de fitomassa seca total, atribuindo estes resultados a maior amplitude térmica obtida no interior do ambiente protegido.

Por sua vez, Segovia et al. (1997), ao estudarem três cultivares de alface (Brasil-202, White Boston e Regina), no Rio Grande do Sul, constataram maior taxa de crescimento com o cultivo no interior de estufa e atribuíram a causa das diferenças entre cultivares à grande amplitude térmica diária nas estufas. Estes autores ainda informaram a grande ação das temperaturas noturnas sobre a taxa respiratória, o transporte de carboidratos e a absorção hídrica e mineral, e que as plantas que se adaptam às baixas temperaturas noturnas possuem

capacidade de permanecer com uma atividade fisiológica intensa no interior de limites térmicos mais amplos.

No contexto das hortaliças, Filgueira (2008) relatou que a umidade do ar afeta a transpiração das plantas e um teor elevado pode afetar o estado fitossanitário das culturas, devido ao ataque de fungos e bactérias fitopatogênicos, ao passo em que um baixo teor pode favorecer o aparecimento de ácaros e certos insetos. No que diz respeito à umidade do ar em ambiente protegido, Tivelli (1998) ressalta que é acima de 80% que a maioria das doenças ocorre, que abaixo deste valor encontra-se a faixa ótima de desenvolvimento das culturas e que o problema mais frequente está relacionado às baixas umidades, inferiores a 50%.

A melhor textura de solo para o cultivo da alface é a média, com boa retenção de água (FILGUEIRA, 2008), uma vez que esta cultura é hidricamente exigente (KOETZ et al., 2006). Devido à suscetibilidade da alface à acidez do solo, a aplicação de corretivos visa atingir um pH em água de 6,0 a 6,8 (FERNANDES; MARTINS, 1999), assim como um V% (saturação por bases) de 70 a 80%, recomendado para hortaliças, de maneira geral (TRANI, 2012), que indica a alta exigência da alface quanto à fertilidade do solo. Há uma boa resposta da alface quanto à adubação orgânica, com variação relacionada à cultivar e à fonte de adubo aplicada (FONTANÉTTI et al., 2006).

Há relação direta entre o acúmulo de nutrientes e o de matéria seca em alface cultivada em sistema convencional (solo) e, neste caso, o acúmulo de macronutrientes pela parte aérea ocorre na ordem a seguir:  $K > N > Ca > P > S > Mg$  (BENINNI; TAKAHASHI; NEVES, 2005). Em estudo realizado por Garcia et al. (1982), a acumulação de macronutrientes pela alface seguiu a produção de matéria seca, em linhas gerais, e, assim como o crescimento, foi lenta no início, até os 30 dias de ciclo, porém, posteriormente, sofreu aceleração, com absorção contínua e sem ponto de máxima acumulação até a colheita. Ainda de acordo com estes autores, houve a constatação de que de 50 a 69% (cultivar Brasil 48) e de 43 a 65% (cultivar Clause's Aurélia) do total acumulado de cada nutriente é absorvido nos 20 dias finais do ciclo da alface.

## **2.2 Ambiente protegido**

As denominações de cultivo protegido ou cultivo em ambiente protegido são atribuídas à produção hortícola, com ou sem controle ambiental, que ocorre sob alguma estrutura metálica ou de madeira coberta, principalmente, com filmes de plástico (polietileno

de baixa densidade ou PEBD) (TIVELLI, 1998). A necessidade de fornecimento de produtos *in natura* e de boa qualidade, durante todo o ano, contribuiu com a difusão do sistema de produção baseado na proteção de culturas, com crescimento na utilização de ambiente protegido para produção de hortaliças e flores. A importância alimentar das hortaliças, assim como seu custo de produção e elevado valor econômico justificam a busca por tecnologias que objetivam aumento de produtividade e redução de riscos (MAGGI et al., 2006).

A casa de vegetação, conhecida no Brasil, de maneira popular e errônea, como estufa, é o termo preferível, de acordo com a condição agroclimática brasileira, para se referir à estrutura sob a qual se cultiva plantas. O incremento na utilização de agrofilme na mesma proporcionou maior versatilidade, disponibilidade, leveza e baixo custo em relação ao vidro, material utilizado, inicialmente, como cobertura das casas de vegetação. Isto resultou na possibilidade de utilização de estruturas mais simples, leves e baratas. A estrutura conhecida como teto em arco favorece a fixação do filme, a resistência ao vento e a captação de luz solar, porém, em dias quentes, pode haver elevado aquecimento interno. Se o efeito esperado da casa de vegetação é o de guarda-chuva, apenas o teto deve ser coberto e as laterais devem ficar abertas (MARTINS, 2008).

O período compreendido entre os meses de abril e dezembro é responsável pela maior produção de alface, que resulta em redução de preços. Por outro lado, a incidência de chuvas que ocorre entre os meses de janeiro a março acarreta em redução da disponibilidade da hortaliça e em seu consequente aumento de preço (MORETTI; MATTOS, 2006). Devido ao efeito guarda-chuva, quando a alface é cultivada em casa de vegetação, no período primavera-verão, há obtenção de folhas mais macias, redução substancial no ciclo, aumento da produção na época chuvosa e regularidade da oferta ao longo do ano (FILGUEIRA, 2008). A proteção contra chuvas de granizo, geadas, chuvas e vento contribui com o aumento do cultivo protegido no país (ZAMBOLIM et al., 1999).

Algumas das vantagens da utilização do ambiente protegido, conforme Martins (2008) são: aumento de produtividade; melhoria na qualidade dos produtos; redução da sazonalidade na oferta, que permite disponibilidade até mesmo na entressafra; melhor aproveitamento de adubos, defensivos e água; e controle total ou parcial dos fatores climáticos. Oliveira (1995) relatou algumas outras vantagens do uso da casa de vegetação, tais como menor incidência de pragas, menos mão de obra e menor lixiviação do solo.

Quando comparados, há diferenças entre o cultivo protegido e o convencional e, dentre elas, pode-se citar as maiores temperatura do ar e solo, umidade do ar e solo, população



de plantas, produtividade, qualidade visual e precocidade e menor intensidade de luz no cultivo protegido em relação ao convencional (ZAMBOLIM et al., 1999).

A pouca divulgação sobre o manejo de casas de vegetação foi uma das desvantagens relatadas por Oliveira (1995) quanto ao uso das mesmas e, conforme Vida et al. (2004), as informações técnicas acerca da performance das plantas em ambiente protegido são insuficientes, havendo necessidade de mais pesquisa que contribua com recomendações para maiores expansão e tecnificação da atividade.

### **2.3 Irrigação e fertirrigação de hortaliças**

O alto teor de água das partes comerciáveis das hortaliças (80-95%), na sua maioria, faz com que haja demanda por solos com alta disponibilidade de água. Desta forma, a prática da irrigação é importante para o sucesso da olericultura (MAROUELLI; CALBO, 2009). Em cultivo protegido, a única forma de repor a água consumida pela cultura é pela irrigação, que, manejada adequadamente, supre as suas necessidades hídricas (SANTOS; PEREIRA, 2004). Irrigações adequadas também proporcionam aumento de produtividade e produtos de melhor qualidade, além de reduzir o gasto com água e energia, a lixiviação de nutrientes e a incidência de doenças (MAROUELLI, 2008). Outras vantagens da irrigação são a segurança na safra contra secas, a possibilidade de se cultivar e colher fora da época tradicional e maior eficiência na utilização de fertilizantes (MANTOVANI; BERNARDO; PALARETTI, 2009).

Há comprometimento da produtividade e qualidade das hortaliças em caso de déficit hídrico (MAROUELLI, 2008). Nas hortaliças herbáceas, o que se busca são tecidos macios e túrgidos e, por serem mais exigentes em água, uma ligeira deficiência hídrica contribui com a formação de tecidos grosseiros (FILGUEIRA, 2008).

O método apropriado de irrigação é uma das limitações no cultivo sob ambiente protegido e uma das alternativas é a irrigação localizada por gotejamento. Entretanto, é necessário conhecimento sobre o adequado manejo de irrigação devido à falta de muita experiência e tradição com este método de irrigação por parcela dos produtores de alface (ANDRADE JÚNIOR; KLAR, 1997). Em ambiente protegido, o sistema de irrigação mais recomendado e utilizado é o por gotejamento (CARRIJO; MAROUELLI; SILVA, 1999).

A irrigação localizada aplica água diretamente na região radicular, em pequenas intensidades ou baixa vazão e alta frequência, com distribuição da água sob baixa pressão (MANTOVANI; BERNARDO; PALARETTI, 2009) e algumas das vantagens da irrigação

por gotejamento são: economia de água e aumento da eficiência de irrigação; favorecimento do controle de plantas invasoras; economia de mão de obra; favorecimento da utilização da fertirrigação e alta eficiência no aproveitamento de nutrientes; aumento da produtividade em culturas oleráceas quando comparado aos demais métodos; e redução dos problemas fitossanitários (FILGUEIRA, 2008).

Ao estudarem duas cultivares de alface, Verônica e Hortênciã, conduzidas em casa de vegetação e sob quatro lâminas de irrigação, aplicadas via gotejamento e que corresponderam a 75%, 100%, 125% e 150% da reposição de água, sendo a lâmina de irrigação de 100% correspondente à tensão de água no solo de 15 kPa (referencial para se irrigar), Vilas Boas et al. (2007) concluíram que as cultivares responderam igualmente à aplicação das lâminas, com os valores máximos de massa fresca total e comercial estimados com 125,8% e 123,7% da reposição de água, respectivamente. Por sua vez, ao avaliar a produção de alface de cultivar Verônica, sob ambiente protegido e seis lâminas de irrigação, com base em frações de evaporação do tanque Classe A (20%, 40%, 60%, 80%, 100% e 120%), aplicadas mediante utilização de fita-gotejantes, Araújo, W. et al. (2010) observaram que a aplicação até 120% proporcionou um aumento linear na produção de alface.

A fertirrigação corresponde à dissolução de certos fertilizantes na água de irrigação e a aplicação pode ser efetuada por gotejamento e em cobertura (FILGUEIRA, 2008), constituindo-se em uma maneira mais eficiente de aumentar a disponibilidade e absorção de nutrientes (FERNANDES; MARTINS, 1999). Há maior eficiência para a fertirrigação quando se utiliza sistemas de irrigação pressurizados (TRANI; TIVELLI; CARRIJO, 2011). O aumento da utilização do gotejamento, por exemplo, permite que a fertirrigação seja importante para o aumento de produtividade e redução do custo de produção e, nesta técnica, os nutrientes mais utilizados são os de maior mobilidade no solo, como o nitrogênio e o potássio (CARRIJO et al., 2004).

A aplicação de fertilizantes via água de irrigação oferece algumas vantagens, tais como: ausência de compactação e injúrias mecânicas às plantas, causadas pela entrada de equipamentos pesados; menor exigência de equipamento e gasto de energia (COELHO; SILVA, 2005); adubações que podem ser parceladas (DUENHAS et al., 2002); ajuste de acordo com as fases fenológicas da cultura, que acarreta em maior eficiência de uso e economia de fertilizantes; adubos que podem ser distribuídos e posicionados no local de maior densidade de raízes; controle da profundidade em que ocorre a aplicação dos fertilizantes, que proporciona redução da perda de nutrientes por lixiviação, assim como a de

nitrogênio, por volatilização, devido à dissolução dos adubos em água; e moderação no uso de mão de obra (CARRIJO et al., 2004).

Alguns dos pontos que devem ser observados na fertirrigação quanto à escolha do produto a ser aplicado são as características relacionadas à sua solubilidade, uma vez que produtos pouco solúveis ou insolúveis podem causar obstrução de tubulações e emissores, e a sua compatibilidade com outros produtos, que está relacionada aos problemas de precipitação e entupimento. A uniformidade de distribuição da solução na água de irrigação é um fator que contribui para a eficiência da fertirrigação, de modo que se não há boa uniformidade de distribuição de água, pelo sistema de irrigação, também não há boa uniformidade de distribuição da solução (PINTO; FEITOSA FILHO, 2009).

Em hortaliças, geralmente, aplicam-se os fertilizantes menos solúveis e parte dos solúveis em momento de pré-plantio e o restante em cobertura no decorrer do ciclo da cultura. Quando a irrigação é por gotejamento, as adubações das hortaliças, em momento de pós-plantio, devem ser efetuadas, de preferência, mediante uso da fertirrigação (CARRIJO et al., 2004). Os fertilizantes ricos em nitrogênio e potássio, bem como os micronutrientes, apresentam, na sua maioria, solubilidade em água e, desta forma, não há problemas com a sua utilização (PINTO; FEITOSA FILHO, 2009).

Há pouco conhecimento experimental sobre a fertirrigação em condições brasileiras, devendo-se incluir em pesquisas pontos relacionados aos nutrientes a se aplicar e suas melhores fontes, assim como dosagens adequadas e intervalo entre as aplicações (FILGUEIRA, 2008). Em ambiente protegido, o ciclo da alface é mais curto e, portanto, há necessidade de um melhor controle da dosagem e da fonte que será utilizada (GOTO, 1998). De acordo com Duenhas et al. (2002), dentro do contexto da fertirrigação, ainda há necessidade de pesquisa sobre doses, concentração e parcelamento de adubos para as culturas.

## **2.4 Nitrogênio (N)**

No solo, aproximadamente 98% do nitrogênio está presente na forma orgânica e 2% na forma mineral, e 5% da matéria orgânica são constituídas por nitrogênio. Este elemento mineral pode ser adicionado ao solo por meio de fertilizante mineral, restos orgânicos, água da chuva (combinação do N<sub>2</sub> e oxigênio atmosféricos mediante descargas elétricas) e fixação biológica (MALAVOLTA, 2006). No solo, a disponibilidade de nitrogênio para as plantas

está relacionada a duas fontes gerais, uma inorgânica ( $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$ ) e outra representada pela matéria orgânica (RAIJ, 1991).

A cultura da alface é altamente beneficiada com a adubação orgânica (FILGUEIRA, 2008), sendo que algumas fontes de matéria orgânica, recomendadas para essa olerícola folhosa, são o esterco bovino bem curtido, o esterco de galinha/frango, suínos e ovinos, o húmus de minhoca, a torta de mamona (TRANI, 2012) e o composto orgânico (GOTO, 1998). Além de disponibilizar, de maneira gradual, os nutrientes para as plantas, principalmente quando há umidade e calor, e fornecer nutrientes para os micro-organismos do terreno, a matéria orgânica melhora a estrutura do solo, que resulta em aumento da capacidade de reter água pelo mesmo e em aumento do arejamento do terreno (MALAVOLTA, 1989).

No solo, quando o nitrogênio é fornecido na forma orgânica, este passa por um processo conhecido como mineralização, em que micro-organismos heterotróficos utilizam os compostos orgânicos como fonte de energia e transformam o nitrogênio orgânico em inorgânico ( $\text{NH}_4^+$  ou  $\text{NH}_3$ ), para poder ser disponibilizado às plantas. Na sequência do processo, ocorre a nitrificação, em que o  $\text{NH}_4^+$  é convertido, primeiramente, em  $\text{NO}_2^-$ , por bactérias do gênero *Nitrosomonas*, por exemplo, e, posteriormente, o  $\text{NO}_2^-$  é convertido em  $\text{NO}_3^-$ , por bactérias do gênero *Nitrobacter*. Ainda pode ocorrer a imobilização de nitrogênio, principalmente em materiais orgânicos pobres deste elemento, que é o inverso da mineralização e que corresponde à incorporação de nitrogênio inorgânico por micro-organismos, que só ao morrerem permitem que o elemento assimilado possa voltar a ser mineralizado (CANTARELLA, 2007). A desnitrificação também é uma possibilidade quando as condições do solo são anaeróbicas, havendo a produção, por meio de micro-organismos, de N na forma gasosa,  $\text{N}_2$  e óxidos, a partir de nitrito e nitrato (MALAVOLTA, 2006).

Na técnica da fertirrigação em hortaliças, os adubos nitrogenados mais utilizados são o nitrato de cálcio (14 a 15,5% N), o nitrato de potássio (13% N), o nitrato de amônio (34% N), a ureia (45% N), o MAP purificado (11% N), o DAP (16% N) e o sulfato de amônio (21% N) (CARRIJO et al., 2004). A fonte de nitrogênio mais difundida é a ureia, devido ao seu baixo custo e à alta concentração desse elemento mineral no fertilizante (URQUIAGA; MALAVOLTA, 2002).

No que diz respeito à adubação com ureia ( $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ), esta sofre hidrólise e transformação em sal de amônio e transformação do amônio em nitrato (RAIJ, 1991). A hidrólise ocorre por meio de uma enzima conhecida como urease, que está presente em micro-organismos, plantas e animais (CANTARELLA, 2007). Na fase aquosa do solo, o íon amônio

( $\text{NH}_4^+$ ) permanece em equilíbrio com a amônia ( $\text{NH}_3$ ), a qual está sujeita à volatilização (MATTOS JUNIOR; CANTARELLA; QUAGGIO, 2002), que é uma possibilidade de perda de nitrogênio, especialmente com a aplicação de ureia na superfície do solo (CANTARELLA, 2007). A dissolução dos adubos em água, que corresponde à prática da fertirrigação, é alternativa para amenizar a perda de nitrogênio por volatilização (CARRIJO et al., 2004).

O nitrogênio também pode ser perdido do sistema solo-planta, por exemplo, mediante lixiviação do nitrato, por apresentar baixa interação com os minerais do solo e devido à predominância de cargas negativas no mesmo, pelo menos nas camadas superficiais em solos tropicais, e ainda pela desnitrificação em solos inundados (CANTARELLA, 2007).

No solo, devido ao amônio ser um cátion, este permanece adsorvido pelas cargas negativas na forma trocável, enquanto que o nitrato, por ter carga negativa, é repelido pelas partículas, permanece em solução e é muito móvel (RAIJ, 1991). A absorção radicular de nitrogênio pelas plantas se dá na forma de  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$  (EPSTEIN; BLOOM, 2006). Quanto à interação do nitrogênio com outros nutrientes, no processo de absorção, Malavolta (2006) cita os casos mais frequentes de inibição não competitiva do nitrogênio com o magnésio e com o boro. Há também a possibilidade de competição entre  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{K}^+$  (MARSCHNER, 1995; FOLONI; ROSOLEM; GARCIA, 2006). Cantarella (2007), por sua vez, atribui o tipo não-competitivo à forma como o nitrogênio e o potássio interagem, normalmente, e ainda informa que o aumento da demanda de um nutriente ocorre com a absorção do outro.

Na planta, a ação de enzimas específicas, para cada etapa, permite que o nitrato seja assimilado e convertido a nitrito, que o nitrito seja convertido em amônio e que o amônio, o qual também pode derivar da absorção radicular, seja convertido em glutamina ou glutamato e, por fim, o nitrogênio contido nestas pode ser transferido para muitos outros compostos orgânicos mediante diversas reações. O nitrogênio é classificado como móvel na planta e funciona como constituinte de muitos componentes celulares, tais como aminoácidos e ácidos nucleicos (TAIZ; ZEIGER, 2004).

A adubação com nitrogênio tem efeito direto na produtividade de hortaliças herbáceas e, quando este elemento mineral é fornecido de maneira adequada, há favorecimento do crescimento vegetativo, expansão da área fotossinteticamente ativa e elevação do potencial produtivo da cultura. Entretanto, se houver excesso do mesmo, pode haver, por exemplo, crescimento vegetativo demasiado, ciclo prolongado e colheita atrasada, dificuldade na absorção de outros nutrientes e as plantas mais novas podem apresentar folhas queimadas. Há aumento da eficiência de uso de nitrogênio quando a aplicação de sua

quantidade total necessária é parcelada (FILGUEIRA, 2008). Em tratamento com omissão de nitrogênio, Garcia, Haag e Diehl Neto (1982) observaram que o desenvolvimento de alface estacionou e houve intensa queda de folhas.

## 2.5 Potássio (K)

Há abundância de potássio em rochas e solos, sendo que grande parte está contido em estruturas cristalinas. Este elemento está presente em minerais primários, como os feldspatos e micas (muscovita e biotita) e em minerais secundários, como as argilas do tipo 2:1, ilita e vermiculita (RAIJ, 1991). A dinâmica de disponibilidade de potássio no solo relaciona-se com a composição mineralógica do mesmo e os minerais secundários, que resultam da ação do intemperismo sobre os primários, são fontes potenciais deste elemento (MELO; MEURER; PINTO, 2004).

No solo, o potássio pode apresentar-se na forma estrutural, quando presente na estrutura de minerais primários e secundários, na forma trocável, quando ligado eletrostaticamente às cargas negativas da superfície dos componentes da fase sólida e em solução, quando dissolvido na mesma (ERNANI; ALMEIDA; SANTOS, 2007), da qual as plantas o absorvem na forma iônica de  $K^+$  (RAIJ, 1991). Há também o potássio na forma não-trocável, que pode ser extraído por meio de ácido nítrico fervente e obtido pela diferença em relação ao potássio trocável, cuja liberação será a médio prazo (VILLA; FERNANDES; FAQUIN, 2004). Este nutriente ainda pode estar presente na matéria orgânica do solo (MALAVOLTA, 2006).

As formas de potássio não trocável, trocável e em solução permanecem em equilíbrio no solo (RAIJ; QUAGGIO, 1984). O potássio trocável é o que mais contribui com a reposição do potássio em solução, constituindo-se em reserva imediata para a planta (ERNANI; ALMEIDA; SANTOS, 2007). A liberação de potássio das formas não-trocáveis pode ocorrer a partir de solos com reserva do elemento nos minerais primários, conforme as plantas absorvem o nutriente (JORGE; GARGANTINI, 1963). O intemperismo é o responsável por liberar este elemento da sua forma estrutural, gradualmente, para formas disponíveis às plantas (FARIA et al., 2012).

O potássio é móvel no solo (MIRANDA et al., 2010) e sua mobilidade supera a de nitrogênio e é inferior à de fósforo (ERNANI et al., 2007). Esse nutriente ainda está sujeito à lixiviação do solo e do adubo aplicado, entendida quando sob condições de baixas capacidade

de troca e de fixação em formas não trocável e chuvas pesadas. Há casos em que ocorre relação de inibição competitiva entre o  $K^+$  e outros íons presentes no solo, como o  $Mg^{+2}$  e o  $Ca^{+2}$  (MALAVOLTA, 2006).

Na planta, o potássio é considerado um elemento móvel e participa da ativação de muitas enzimas associadas aos processos de fotossíntese e respiração (TAIZ; ZEIGER, 2004). Este nutriente não desempenha função estrutural no vegetal e além de atuar como ativador de enzimas do metabolismo, que se relacionam à síntese de amido e proteínas e à absorção iônica ativa, por exemplo, é regulador do potencial osmótico e do turgor celular, do qual dependem a alongação de células meristemáticas e a abertura e fechamento de estômatos. O controle da abertura e fechamento dos estômatos permite que o potássio exerça efeito sobre a assimilação de gás carbônico e, conseqüentemente, sobre a fotossíntese, cujo produto também tem seu transporte influenciado por este nutriente (FAQUIN; ANDRADE, 2004).

No cultivo de hortaliças, os fertilizantes potássicos mais utilizados são o cloreto de potássio (50% K), o nitrato de potássio (36% K), o sulfato de potássio (41% K) e o fosfato monopotássico (28% K) (CARRIJO et al., 2004). Entretanto, em fertirrigação, outra opção é o uso de formulação comercial líquida, que, mesmo com recomendação para aplicação foliar, pela possibilidade de solubilização em água, pode constituir-se em uma estratégia alternativa de fertilização, a qual deve ser pesquisada. Este é o caso do produto Fertisilício<sup>®</sup>, que contém garantias de 12% de óxido de potássio e 12% de silício solúveis em água e é apresentado como fertilizante foliar, cuja utilização na fertirrigação é passível de pesquisa.

Em oleráceas, algumas das vantagens da realização de uma adubação potássica adequada são o favorecimento da formação e translocação de carboidratos, uma adubação nitrogenada equilibrada, um uso eficiente de água e a melhoria da qualidade do produto, porém, se o nutriente é aplicado excessivamente, pode haver prejuízos na absorção de outros nutrientes, como o cálcio, por exemplo. É recomendável que a adubação com potássio seja realizada de maneira parcelada, em cobertura ou pela fertirrigação (FILGUEIRA, 2008).

## **2.6 Silício (Si)**

O silício compõe 28% da litosfera e é, desta forma, o segundo elemento mais abundante da mesma, apresentando-se no solo na forma de silicatos, isto é, minerais primários, que, ao sofrerem a ação do intemperismo, dão origem aos minerais secundários, como as argilas, por exemplo, as quais são consideradas fitossilicatos estruturados em

camadas. A ocorrência deste processo conduz à disponibilização de nutrientes para as plantas. No solo, o silício pode estar disponível quando em solução ou adsorvido e aquele que está presente nos minerais só é liberado por ação do intemperismo (MALAVOLTA, 2006).

Na solução do solo, a sílica apresenta-se, presumivelmente, na forma de  $\text{Si}(\text{OH})_4$  (McKEAGUE; CLINE, 1963), conhecida como ácido monossilícico (BARBOSA FILHO; PRABHU, 2002) e que também pode ser representada por  $\text{H}_4\text{SiO}_4$  (CARVALHO et al., 2003). Esta é a forma em que ocorre absorção radicular, por processo ativo ou passivo, e o seu transporte é efetuado via xilema, ocorrendo depósito nas paredes das células epidérmicas, principalmente (RODRIGUES et al., 2011). O depósito ocorre conforme as plantas transpiram (BARBOSA FILHO; PRABHU, 2002) e devido ao depósito ocorrer na forma de sílica amorfa ( $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ , “opala”), o elemento é impedido de se mover no floema (MALAVOLTA, 2006).

O silício é classificado como benéfico, pois seu fornecimento pode favorecer o vegetal, porém, pode ser não essencial ou essencial para algumas espécies, ou dependendo das condições (MARSCHNER, 1995). Uma planta pode ser prejudicada caso haja falta de silício, quando há estresse, entretanto, se este é mínimo, o elemento pode apresentar-se como não essencial (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

As plantas se diferenciam quanto à presença de  $\text{SiO}_2$  no peso seco da parte aérea, e, desta forma, há a possibilidade de classificação em três grupos: de 10 a 15%, como gramíneas de áreas úmidas (arroz), por exemplo; de 1 a 3%, como gramíneas de sequeiro, nas quais estão inseridos a cana-de-açúcar e a maior parte dos cereais e algumas dicotiledôneas; e menor que 0,5%, que corresponde à maioria das dicotiledôneas, principalmente leguminosas (MARSCHNER, 1995).

Alguns exemplos de plantas acumuladoras de silício são o arroz, a cana-de-açúcar, o trigo, o sorgo e as gramíneas em geral, de intermediárias são as cucurbitáceas e a soja, e de não acumuladoras são o morango, o tomateiro, o cafeeiro e as dicotiledôneas em geral (REIS et al., 2007). Ferreira et al. (2010), ao avaliarem três cultivares de alface, Raider, Regina e Vera, sob aplicação de doses crescentes de silicato de cálcio, concluíram que elas demonstraram ser não acumuladoras de silício.

A escória de siderurgia, cuja origem se dá com a produção do ferro-gusa e do aço (CHAVES; FARIAS, 2008), pode ser utilizada na correção da acidez do solo (VIDAL; PRADO, 2011) e além de apresentar silício em sua composição, como fonte de silicatos, é utilizada como fornecedora de magnésio e cálcio para as plantas (DEMATTÊ et al., 2011). Também há a possibilidade da escória de siderurgia beneficiar a disponibilidade de fósforo no



solo (PRADO; FERNANDES, 2001). O silício ainda pode auxiliar na tolerância ao manganês e sua toxidez (HORST; MARSCHNER, 1978), e na redução dos teores de metais pesados no solo (PAIM et al., 2006).

O depósito de silício no vegetal resulta em fortalecimento da sua estrutura, aumento na resistência ao acamamento e ao ataque de pragas e doenças e redução da transpiração, além de proporcionar benefícios com aumentos na produtividade e amenização dos estresses hídrico e salino (RODRIGUES et al., 2011). O silício também pode contribuir com a obtenção de folhas mais eretas, que resulta em maior eficiência fotossintética (PEREIRA; VITTI; KORNDORFER, 2003).

A redução da quantidade de silício no solo, causada por cultivos consecutivos, pode requerer a realização de adubação com este elemento. Para a fertirrigação, hidroponia ou aplicação foliar, uma opção promissora é a utilização de silicatos solúveis, que são completamente solúveis e podem fornecer silício na maneira imediata em que as plantas o absorvem. Estes são originários da fusão entre sílica e hidróxidos ou carbonatos de sódio ou potássio em fornos pressurizados, e os principais são o silicato de sódio e de potássio, porém apenas o silicato de potássio é regulamentado para fim agrícola (REIS et al., 2007).

## **2.7 Respostas à adubação com nitrogênio, potássio e silício**

A resposta de alface, cultivar Raider, conduzida sob quatro doses de adubação em cobertura de nitrogênio (0, 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup>), adicionais à dose de 60 kg N ha<sup>-1</sup> aplicada pelo produtor, e cinco doses de molibdênio via foliar (0,0; 35,1; 70,2; 105,3 e 140,4 g ha<sup>-1</sup>), foi avaliada por Resende et al. (2012). Estes autores constataram que, na ausência de molibdênio, a maior massa fresca comercial ocorreu com a dose de 66,4 kg N ha<sup>-1</sup>, e que, na dose de 140,4 g ha<sup>-1</sup> de molibdênio, obteve-se a melhor resposta dessa característica com a dose de 102,8 kg N ha<sup>-1</sup>.

No estudo realizado com quatro lâminas de água, de 91,99 mm, 142,79 mm, 186,34 mm e 237,14 mm, combinadas com quatro doses de nitrogênio, de 0 kg ha<sup>-1</sup>, 80 kg ha<sup>-1</sup>, 160 kg ha<sup>-1</sup> e 320 kg ha<sup>-1</sup>, em alface americana de cultivar Raider, sob casa de vegetação, Silva et al. (2008) concluíram que a produtividade física máxima estimada ocorreu com 208,03 mm e 290,5 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio.

Na realização de um experimento em casa de vegetação, avaliando-se cinco doses de nitrogênio (0; 141,5; 283; 566 e 1.132 mg por vaso), combinadas com cinco cultivares de

alface (Lucy Brown, Tainá, Vera, Verônica e Elisa), Mantovani, Ferreira e Cruz (2005) observaram que, para a cultivar Vera, a produção (matéria fresca da parte aérea) máxima foi obtida com a aplicação de 770 mg por vaso de nitrogênio. Segundo estes autores, a dose de 770 mg por vaso de nitrogênio corresponde a, aproximadamente, 163 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio.

A produtividade de alface, cultivar Raider, foi avaliada por Koetz et al. (2006), ao estudarem diferentes turnos de rega, associados a quatro doses de cloreto de potássio (100, 150, 200 e 250 kg ha<sup>-1</sup>), aplicadas via fertirrigação, em casa de vegetação. Estes autores constataram que a produtividade foi influenciada pelas doses de potássio e que a melhor produtividade ocorreu na dose ótima de 119,36 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O ou 198,93 kg ha<sup>-1</sup> de KCl.

Yuri (2004) estudou a resposta de alface americana, cultivar Raider, conduzida sob a aplicação de quatro doses de nitrogênio (0, 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup>) e quatro doses de K<sub>2</sub>O (0, 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup>) em cobertura, adicionais às aplicações efetuadas pelo produtor mediante uso da fertirrigação (30 kg ha<sup>-1</sup> de N e 60 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O), em condições de inverno. Neste caso, este autor observou significância do efeito do nitrogênio em todas as doses de K<sub>2</sub>O e que a maior massa fresca da parte comercial ocorreu com as doses de 92,1 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio e 60 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O.

Ao avaliar o efeito de doses de silicato de cálcio (0; 0,67; 1,35; 2,67 e 4 t ha<sup>-1</sup>) sobre a alface de cultivar Vanda (grupo Solta-Crespa), em casa de vegetação, Andrade (2012) constatou maior rendimento de massa fresca da parte aérea com a dose de 4 t ha<sup>-1</sup>.

No estudo da aplicação de doses crescentes de silicato de cálcio em três cultivares de alface, Raider, Regina e Vera, conduzidas em vasos e casa de vegetação, Ferreira et al. (2010) observaram que não houve aumento do crescimento das plantas por meio do fornecimento de silicato de cálcio, mas que, ao incrementar as doses deste, houve redução na porcentagem de massa fresca de folhas senescentes e doentes.

Em hidroponia, Luz, Guimarães e Korndörfer (2006) estudaram a resposta de nove cultivares de alface (Vera, Verônica, Elisa, Regina, Aurélia, Tainá, Lucy Brown, UDIA 10000 e Mimosa Salad Bowl) conduzidas mediante uso de solução nutritiva com silício (1,5 mmol L<sup>-1</sup>) e sem adição de silício e observaram menor massa fresca de parte aérea quando se acrescentou este elemento na solução. Entretanto, os mesmos autores também constataram que as cultivares Tainá, Lucy Brown, UDIA 10000 e Aurélia foram mais atingidas com sintomas de queima dos bordos quando a solução nutritiva não continha silício.

## **CAPÍTULO 1**

Produção e qualidade comercial de alface (*Lactuca sativa* L.) fertirrigada com nitrogênio e silicato de potássio em ambiente protegido

## Produção e qualidade comercial de alface (*Lactuca sativa* L.) fertirrigada com nitrogênio e silicato de potássio em ambiente protegido

### RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da fertirrigação com nitrogênio e silicato de potássio sobre a produção e qualidade comercial de alface Vera conduzida em ambiente protegido. Dois períodos de cultivo, correspondentes a dois experimentos realizados em casa de vegetação, foram utilizados: inverno e primavera de 2012 (IP) e outono de 2013 (O). Após a fase de produção de mudas, estas foram transplantadas para o solo da área experimental, no espaçamento de 0,20 m x 0,20 m. Foram alocadas duas linhas laterais de microirrigação por gotejamento, cada uma com 12 gotejadores, para três fileiras de plantio com 12 plantas cada. Os espaçamentos entre as linhas laterais de irrigação e entre os gotejadores foram de 0,20 m. Utilizou-se 10 m.c.a. como pressão de operação do sistema de irrigação. O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com três repetições, em que foram avaliados dez tratamentos, com nove deles formados pela matriz Plan Puebla III, isto é, da combinação entre cinco doses de nitrogênio (N) (9; 54; 90; 126 e 171 kg ha<sup>-1</sup>) com cinco doses de potássio (óxido de potássio - K<sub>2</sub>O) e silício (Si) (1,15; 6,90; 11,50; 16,10 e 21,85 kg ha<sup>-1</sup>), e um deles como testemunha, que não recebeu fertirrigação. As doses foram aplicadas em cobertura, via fertirrigação por gotejamento, utilizando-se ureia (nitrogênio) e o produto líquido comercial Fertisilício<sup>®</sup> (a base de silicato de potássio; potássio e silício) como fontes de nutrientes. No experimento de IP, as maiores respostas para as massas frescas total e comercial da parte aérea ocorreram com a maior dose de Si e K<sub>2</sub>O e na dose zero de N. Também houve, no período de IP, interação negativa entre as doses de N, Si e K<sub>2</sub>O a partir de 169,78 kg N ha<sup>-1</sup> e 17,88 kg Si e K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>, para massa fresca total da parte aérea, e a partir de 17,00 kg Si e K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> e 166,66 kg N ha<sup>-1</sup>, para massa fresca comercial da parte aérea. O número de folhas comerciais por planta apresentou seus maiores valores nas maiores doses utilizadas de N e de Si e K<sub>2</sub>O, no experimento de IP, e, no experimento de O, o seu maior valor foi obtido apenas na maior dose de N. As maiores respostas para as massas frescas total e comercial da parte aérea, no período de O, ocorreram com a maior dose de N. O incremento da massa fresca não comercial da parte aérea, tanto com o aumento nas doses de N quanto com o aumento nas doses de Si e K<sub>2</sub>O, nos dois experimentos, não prejudicou a qualidade comercial.

**Palavras-chave:** Olerícola folhosa. Quimigação. Casa de vegetação. Microirrigação. Fornecimento de nutrientes.

## Production and commercial quality of lettuce (*Lactuca sativa* L.) fertirrigated with nitrogen and potassium silicate in protected environment

### ABSTRACT

The objective of this work was to evaluate the effect of the fertirrigation with nitrogen and potassium silicate upon the production and commercial quality of Vera lettuce conducted in protected environment. Two periods of cultivation, corresponding to two experiments performed in greenhouse, were used: winter and spring of 2012 (WS) and autumn of 2013 (A). After the production of seedlings, they were transplanted to the soil of the experimental area, in the spacing of 0.20 m x 0.20 m. Two drip micro-irrigation side lines were placed, with 12 drippers each one, for three rows of planting with 12 plants each one. The spacings between the irrigation side lines and between the drippers were of 0.20 m. It was used 10 m.w.c. as irrigation system operating pressure. The experimental design was completely randomized with three replications, in which were evaluated ten treatments, with nine of them formed by the Plan Puebla III matrix, namely, from the combination among five nitrogen (N) doses (9; 54; 90; 126 e 171 kg ha<sup>-1</sup>) with five potassium (potassium oxide - K<sub>2</sub>O) and silicon (Si) doses (1.15; 6.90; 11.50; 16.10 e 21.85 kg ha<sup>-1</sup>), and one of them as control, that did not receive fertirrigation. The doses were applied in topdressing, by drip fertirrigation, using urea (nitrogen) and the commercial liquid product Fertilício (potassium silicate based; potassium and silicon) as nutrient sources. In the experiment of WS, the highest answers to the shoot total and commercial fresh masses took place with the major dose of Si and K<sub>2</sub>O and in the zero dose of N. There was also, in the period of WS, negative interaction among the doses of N, Si e K<sub>2</sub>O as from 169.78 kg N ha<sup>-1</sup> and 17.88 kg Si and K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>, for shoot total fresh mass, and as from 17.00 kg Si and K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> and 166.66 kg N ha<sup>-1</sup>, for shoot commercial fresh mass. The commercial leaf number per plant showed their highest values in the major doses used of N and of Si and K<sub>2</sub>O, in the WS experiment, and, in the A experiment, its highest value was obtained only in the major dose of N. The highest answers for shoot total and commercial fresh masses, in the A period, occurred with the major dose of N. The shoot noncommercial fresh mass increment, both with the N doses increase and with the Si and K<sub>2</sub>O doses increase, in the two experiments, did not harm the commercial quality.

**Keywords:** Leafy vegetable. Chemigation. Greenhouse. Micro-irrigation. Nutrient supply.

## 1.1 INTRODUÇÃO

A alface (*Lactuca sativa* L.) é uma olerícola folhosa que, botanicamente, pertence à família *Asteraceae*, e que pode ser cultivada tanto no campo quanto em ambiente protegido. Conforme Resende et al. (2007), o seu sabor, qualidade nutricional e preço reduzido conferem-lhe a característica de ser a principal salada consumida pela população brasileira. Há necessidade de cultivo de alface durante todo o ano devido à exigência de consumo desta hortaliça pelo brasileiro (NASCIMENTO, 2002).

Atualmente, é importante o desenvolvimento de pesquisas para obtenção de tecnologias que supram a crescente demanda de alimentos, de maneira a permitir o avanço na exploração agrícola, com o mínimo de impacto ambiental, e a obter produtos de qualidade. Para atender a estes objetivos, uma boa alternativa é a adoção do cultivo em ambiente protegido, associado a um método de irrigação apropriado e a um manejo adequado das culturas, principalmente no que se refere à água e aos fertilizantes disponibilizados.

O requerimento de produtos *in natura* e de boa qualidade e a sua oferta ao longo de todo o ano permitiram que houvesse difusão da proteção de culturas, com crescimento na utilização do cultivo em ambiente protegido para produção de hortaliças e flores (MAGGI et al., 2006). O sucesso da olericultura depende da irrigação (MAROUELLI; CALBO, 2009) e, em cultivo protegido, esta prática se constitui na única forma de repor a água consumida pela cultura (SANTOS; PEREIRA, 2004).

Quando se adota o ambiente protegido para o cultivo de plantas, o método de irrigação mais recomendado e utilizado é o por gotejamento (CARRIJO; MAROUELLI; SILVA, 1999). Algumas das vantagens deste método são: economia de água e aumento da eficiência de irrigação; favorecimento do controle de plantas invasoras; e redução dos problemas fitossanitários. Também favorece a utilização da fertirrigação, que corresponde à dissolução de fertilizantes na água de irrigação (FILGUEIRA, 2008).

Algumas das vantagens oferecidas pela fertirrigação são as possibilidades de ajuste conforme as fases fenológicas da cultura, resultando em maior eficiência de uso e economia de fertilizantes, de controle da profundidade em que os fertilizantes são aplicados, que reduz a perda de nutrientes por lixiviação, e de moderação no uso de mão de obra (CARRIJO et al., 2004). Alguns pontos que ainda precisam ser pesquisados, com relação a essa técnica, são doses, concentração e parcelamento de adubos para as culturas (DUENHAS et al., 2002).

Os nutrientes que a alface mais acumula na sua parte aérea são o potássio e o nitrogênio, em cultivo no solo (BENINNI; TAKAHASHI; NEVES, 2005), que fornece uma ideia do alto requerimento destes nutrientes pela cultura. É reconhecida a importância das funções que o nitrogênio e potássio desempenham nas plantas, como, por exemplo, na constituição de componentes celulares, com relação ao nitrogênio (TAIZ; ZEIGER, 2004), e na regulação do potencial osmótico e ativação enzimática, com relação ao potássio (FAQUIN; ANDRADE, 2004). Do ponto de vista do aspecto produtivo da alface, benefícios da adubação nitrogenada podem ser encontrados nos trabalhos realizados por Resende et al. (2012), Silva et al. (2008), Mantovani, Ferreira e Cruz (2005) e Yuri (2004), e da adubação potássica em Koetz et al. (2006) e Yuri (2004).

Marschner (1995) classifica o silício como elemento benéfico. A atuação deste pode ocorrer, por exemplo, na intensificação da fotossíntese, na resistência às doenças fúngicas e bacterianas e aos insetos, e na resistência à aridez, baixas temperaturas e salinidade (EPSTEIN; BLOOM, 2006). Na prática da fertirrigação, a utilização de silicatos solúveis é promissora (REIS et al., 2007).

Considerando os possíveis benefícios que o silício pode trazer à cultura da alface e a importância do potássio e nitrogênio para esta, associados às vantagens do cultivo protegido e da fertirrigação, justifica-se, nestas condições, a realização de pesquisa com a aplicação desses três nutrientes. Neste contexto, o presente trabalho objetivou avaliar o efeito da aplicação em cobertura de nitrogênio e silicato de potássio, via fertirrigação em sistema de microirrigação por gotejamento, sobre a produção e qualidade comercial de alface crespa, cultivar Vera, em ambiente protegido.

## 1.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 1.2.1 Caracterização e preparo da área experimental

No presente trabalho, dois experimentos foram realizados em casa de vegetação do tipo teto em arco, cuja localização ocorre no Centro Técnico de Irrigação (CTI) da Universidade Estadual de Maringá (UEM), em Maringá-PR, na latitude 23° 23' 56.50" S e na longitude 51° 57' 7.53" O, com altitude de 512 m. As dimensões da casa de vegetação são 30 m de comprimento, 6,9 m de largura e 3,5 m de pé direito, coberta com filme de polietileno de 150 µm de espessura no teto e envolta com tela de sombrite nas laterais. Os dois experimentos corresponderam aos seguintes períodos de cultivo: um de 10/08/2012 (semeadura) a 16/10/2012 (colheita) (inverno e primavera; 67 dias) e outro de 05/04/2013 (semeadura) a 18/06/2013 (colheita) (outono; 74 dias).

O clima local é caracterizado por ser da classe Cfa, ou seja, subtropical, conforme Köppen (CAVIGLIONE et al., 2000). As condições ambientais, com relação às temperaturas do ar, mínimas e máximas, e umidades relativas do ar, ocorridas durante os períodos experimentais, foram obtidas por meio de estação climatológica automática externa e próxima à casa de vegetação.

A classe de solo da área experimental é Nitossolo Vermelho distroférico (SISTEMA..., 2006) e sua caracterização química, na profundidade de 0,10 m, é apresentada nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1. Resultados de análise química para caracterização do solo da área experimental, com abordagem para macronutrientes, na profundidade de 0,10 m

Período	pH		M.O.	C	P	K <sup>+</sup>	Ca <sup>+2</sup>
	CaCl <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O					
Experimental			g dm <sup>-3</sup>		mg dm <sup>-3</sup>	cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	
Inverno e Primavera	7,10	7,90	25,57	14,83	214,59	0,46	6,68
Outono	7,00	7,80	26,43	15,33	105,19	0,31	6,20
Período	Mg <sup>+2</sup>	Al <sup>+3</sup>	H <sup>+</sup> +Al <sup>+3</sup>	SB	CTC	V	S
			cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>			%	mg dm <sup>-3</sup>
Experimental							
Inverno e Primavera	1,53	0,00	1,75	8,67	10,42	83,21	10,62
Outono	1,45	0,00	2,19	7,95	10,14	78,41	10,23



Tabela 2. Resultados de análise química para caracterização do solo da área experimental, com abordagem para micronutrientes, na profundidade de 0,10 m

Período	Cu	Zn	Fe	Mn	Na <sup>+</sup>	B
Experimental	mg dm <sup>-3</sup>					
Inverno e Primavera	21,30	21,20	53,00	176,00	31,80	0,35
Outono	13,80	16,50	31,00	162,00	29,60	0,32

Inicialmente, procedeu-se o revolvimento do solo da área experimental com enxada rotativa, que possibilitou material de solo suficiente para a construção de três canteiros de 14 m de comprimento, 1,2 m de largura e 0,1 m de altura. Foram alocados quatro corredores no sentido do comprimento do local, todos igualmente espaçados. Posteriormente, cada canteiro foi dividido longitudinalmente ao meio e transversalmente em cinco partes iguais, de modo a totalizar 30 frações de área de 2,8 m de comprimento, 0,6 m de largura e 0,1 m de altura, que corresponderam à localização das parcelas experimentais (Figura 1). O solo recebeu, em cada experimento, uma adubação de base com 0,5 kg de esterco de galinha por metro quadrado e 40 kg de N ha<sup>-1</sup> (TRANI, 2012). Nesta última, a fonte de N utilizada foi a ureia (45% N).

### 1.2.2 Sistema de irrigação

O sistema de irrigação utilizado foi microirrigação por gotejamento, mediante acionamento de uma bomba centrífuga de 0,5 cv de potência conectada a um reservatório (caixa d' água) com 500 L de capacidade. Da bomba, derivou-se uma linha principal, de PVC com 32 mm de diâmetro, e, desta, partiram cinco linhas de derivação perpendiculares, também de PVC com 32 mm de diâmetro, as quais foram alocadas nas divisões transversais dos canteiros, como mencionado anteriormente. As outras extremidades das linhas de derivação se conectaram a outra linha principal, de PVC com 32 mm de diâmetro, relacionada com o retorno até à caixa d' água ou até o ponto de partida inicial.

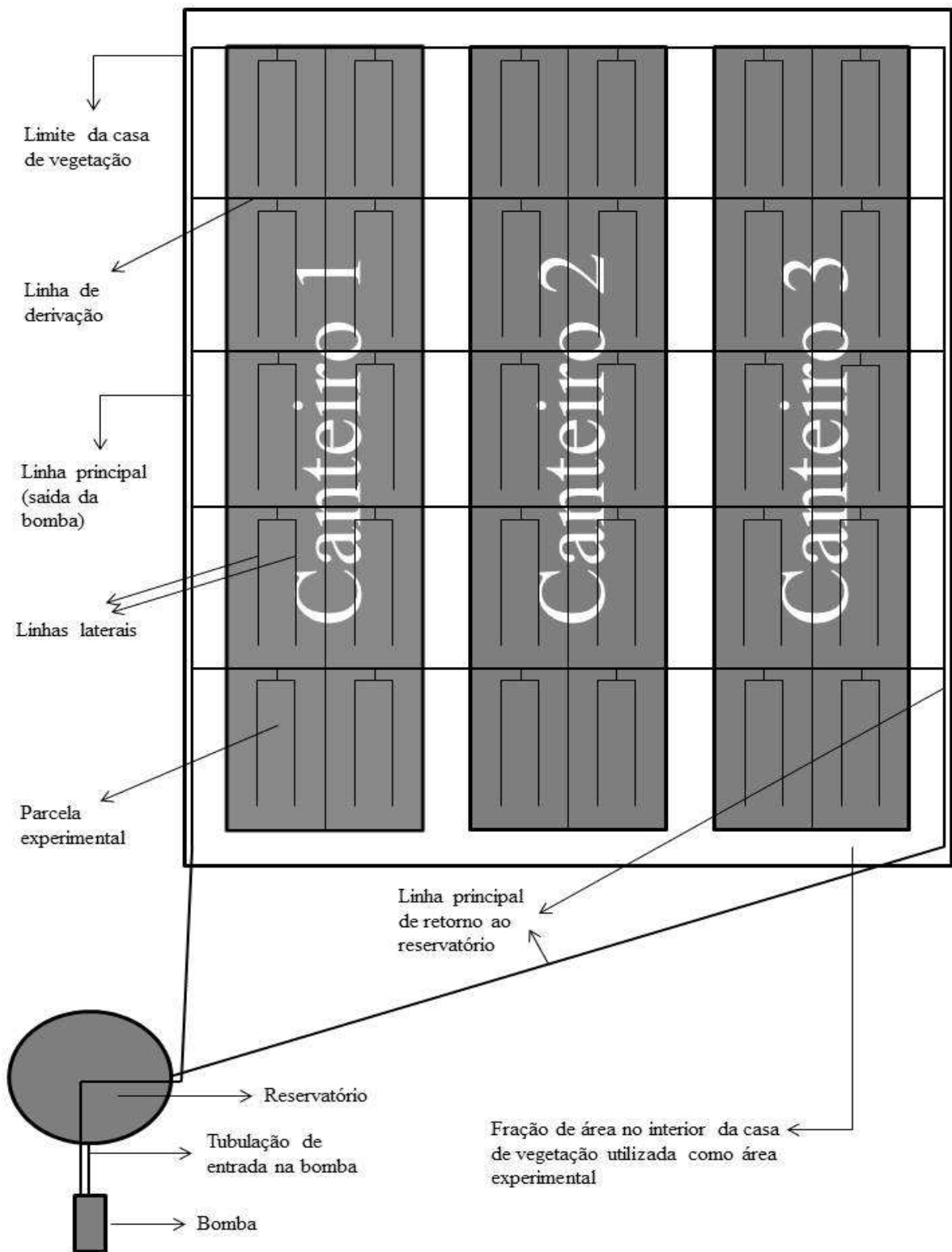


Figura 1. Croqui com a disposição espacial dos canteiros, das parcelas experimentais e do sistema de irrigação.

Seis registros foram instalados em cada linha de derivação, cada qual correspondente às divisões longitudinais dos canteiros e, desta forma, ao controle da irrigação e fertirrigação de uma parcela experimental. Portanto, no total, utilizou-se 30 destes registros, sendo que, de cada um e em cada parcela, houve saídas duplas para duas linhas laterais, constituídas de tubos gotejadores de polietileno com diâmetro de 16 mm, instaladas no sentido do comprimento do canteiro e que continham, individualmente, 12 gotejadores autocompensantes. O croqui com a disposição espacial dos canteiros, das parcelas experimentais e do sistema de irrigação encontra-se na Figura 1 e um maior detalhamento da parcela experimental pode ser observado na Figura 2. A Figura 3 ilustra o sistema de microirrigação por gotejamento instalado na área experimental antes de transplantar as mudas para o solo.

Alguns acessórios foram necessários para o funcionamento do sistema de irrigação: um registro na tubulação de entrada da bomba, para o controle da entrada de água e solução de nutrientes (fertilizantes); um registro e um manômetro de mão, para o controle da pressão do sistema, assim como um filtro de discos, todos instalados na tubulação de saída da bomba; e um registro na tubulação de retorno ao reservatório, para controlar o retorno de água e solução ao reservatório.

A uniformidade de distribuição de água, pelo sistema de irrigação, foi avaliada antes do transplante das mudas para o campo, em cada período experimental. Para tanto, foram determinadas as vazões de todos os gotejadores de dezoito linhas laterais, correspondentes a nove parcelas experimentais. Estas se localizavam da seguinte forma: três associadas à linha de derivação da extremidade superior do canteiro; três associadas à linha de derivação central do canteiro; e três associadas à linha de derivação da extremidade inferior do canteiro.

Nas linhas de derivação citadas, foi amostrada uma parcela experimental para cada canteiro, esquerdo, central e direito (Figura 3). As vazões dos gotejadores foram medidas a uma pressão de operação de 10 m.c.a, utilizada, posteriormente, nos procedimentos de irrigação e fertirrigação, com um tempo de coleta do volume de água, por gotejador, de 5 minutos. Os valores médios de vazão por emissor foram de 0,85 L h<sup>-1</sup>, no experimento de inverno e primavera, e de 0,84 L h<sup>-1</sup>, no experimento de outono.

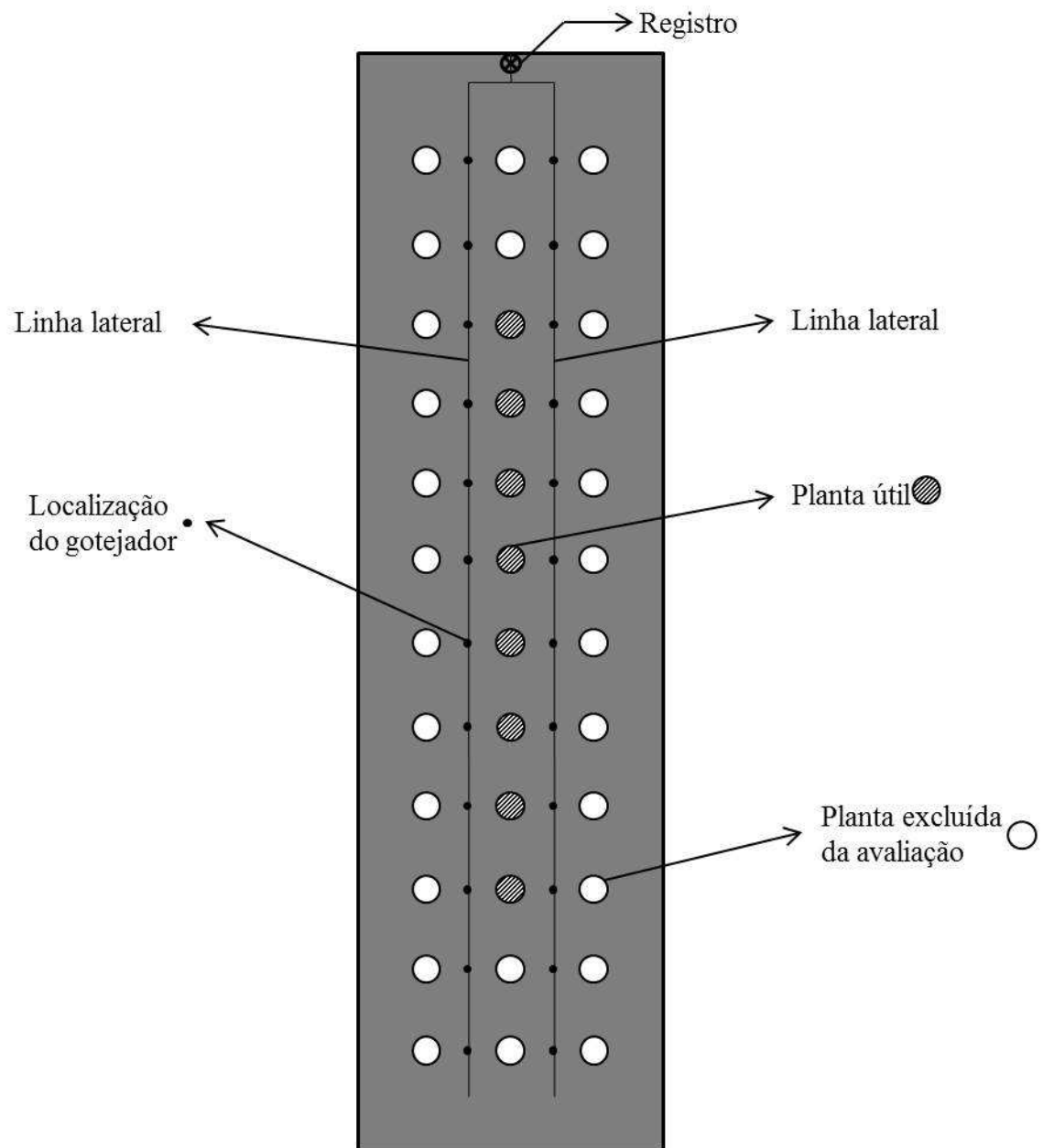


Figura 2. Croqui com maior detalhamento de uma parcela experimental.



Figura 3. Ilustração do sistema de microirrigação por gotejamento instalado na área experimental antes de transplantar as mudas para o solo.

Na determinação da uniformidade de distribuição de água, o coeficiente de uniformidade de Christiansen (CUC) pode ser utilizado, com adaptação para microirrigação, conforme Frizzone et al. (2012). Com base nestes autores, utilizou-se a equação 1 para cálculo do CUC. Favetta e Botrel (2001) citaram outras uniformidades, baseando-se em alguns autores, tais como: uniformidade de emissão (UE), apresentada por Keller e Karmeli (1974); uniformidade estatística ( $U_s$ ), apresentada por Wilcox e Swailes (1947), com abordagem para aspersão, sendo, conforme Bralts, Edward e Wu (1987), também possível sua utilização em irrigação localizada; e uniformidade de emissão absoluta ( $UE_a$ ), mediante modificação da equação da UE efetuada por Keller e Karmeli (1974). Com base em Favetta e Botrel (2001) e nas literaturas que estes citaram, a UE, a  $U_s$  e a  $UE_a$  foram calculadas mediante utilização das equações 2, 3 e 4, respectivamente.

$$CUC = 100 * \left( 1 - \frac{\sum |q_g - q_m|}{n * q_m} \right) \quad (1)$$

$$UE = 100 * \left( \frac{q_{g25\% <}}{q_m} \right) \quad (2)$$

$$U_s = 100 * \left( 1 - \frac{DV_{qg}}{q_m} \right) = 100 * (1 - CV_{qg}) \quad (3)$$

$$UE_a = 50 * \left( \frac{q_{g25\% <}}{q_m} + \frac{q_m}{q_{g12,5\% >}} \right) \quad (4)$$

Em que:

CUC - coeficiente de uniformidade de Christiansen calculado (%);

$q_g$  - vazão individual obtida do gotejador ( $L h^{-1}$ );

$q_m$  - média de vazão dos gotejadores avaliados ( $L h^{-1}$ );

$n$  - número de gotejadores avaliados;

UE - uniformidade de emissão calculada (%);

$q_{g25\% <}$  - média de vazão dos 25% menores valores obtidos com os gotejadores ( $L h^{-1}$ );

$U_s$  - uniformidade estatística calculada (%);

$DV_{qg}$  - desvio padrão das vazões obtidas dos gotejadores ( $L h^{-1}$ );

$CV_{qg}$  - coeficiente de variação das vazões obtidas dos gotejadores;

$UE_a$  - uniformidade de emissão absoluta (%);

$q_{g12,5\% >}$  - média de vazão dos 12,5% maiores valores obtidos com os gotejadores ( $L h^{-1}$ ).

Os resultados para CUC foram 95,57%, para o experimento de inverno e primavera, e 95,47% para o experimento de outono. Frizzone et al. (2012) relataram que, na mensuração da uniformidade de distribuição de água e em irrigação por aspersão, o CUC tem utilização mais ampla e, geralmente, seu valor mínimo aceitável é 80%. Ainda que no presente trabalho tenha sido utilizado um sistema de microirrigação por gotejamento, os valores de CUC obtidos são superiores ao valor mínimo aceitável informado por Frizzone et al. (2012). Os resultados para UE foram 92,95% e 92,60%, para  $U_s$  foram 94,37% e 93,97%, e para  $UE_a$  foram 92,05% e 92,18%, com relação aos experimentos de inverno e primavera e de outono, respectivamente. Os valores de UE e  $UE_a$  são considerados excelentes, de acordo com

critérios de Bralts (1986) citados por Favetta e Botrel (2001). Os valores de  $U_s$  também são considerados excelentes, conforme Favetta e Botrel (2001).

### **1.2.3 Condução da cultura de alface**

A sementeira ocorreu em 10/08/2012, no experimento de inverno e primavera, e em 05/04/2013, no experimento de outono, utilizando-se bandejas de isopor de 128 células. Primeiramente, estas foram preenchidas com substrato comercial da marca Mecplant<sup>®</sup>, e, posteriormente, uma semente peletizada de alface crespa, cultivar Vera, foi adicionada em cada célula. Ao longo do período de produção de mudas, que foi realizada em ambiente protegido (outra casa de vegetação, localizada próxima e ao lado da estrutura principal de cultivo no solo), realizaram-se irrigações de maneira a se manter umidade suficiente para um bom crescimento e desenvolvimento das mudas.

O transplântio para o solo ocorreu 26 dias após a sementeira (05/09/2012), no experimento de inverno e primavera, e 25 dias após a sementeira (30/04/2013), no experimento de outono, no espaçamento de 0,20 m x 0,20 m, quando as mudas apresentavam quatro folhas. Na Figura 4, há uma ilustração das plantas no momento do transplântio. Em cada parcela experimental, foram transplantadas 36 mudas de alface, distribuídas em três fileiras de 12 plantas, de modo que uma delas permanecesse no limite divisório central entre as duas linhas laterais de irrigação e fertirrigação (Figuras 2 e 4). As Figuras 5 e 6 ilustram as plantas em diferentes momentos de desenvolvimento. Durante os experimentos, ocorreram plantas daninhas, as quais foram arrancadas manualmente das parcelas experimentais.

A decisão quanto ao momento de se irrigar ocorreu por meio da leitura de três tensiômetros, instalados em diagonal na área experimental e a 0,10 m de profundidade do solo, e, para tanto, com base em Santos e Pereira (2004) e Vilas Boas et al. (2007), estabeleceu-se como referência para o momento de irrigação a tensão de água no solo de 15 kPa. Utilizando-se a curva de retenção de água de um solo do CTI (modelo van Genuchten), proposta por Blainski (2007), a lâmina de água estimada entre o potencial mátrico da capacidade de campo (-60 hPa) e o utilizado como referencial para a irrigação (-150 hPa) foi de 2,47 mm. Para a obtenção deste valor, utilizou-se uma densidade média do solo de 1,25 g cm<sup>-3</sup>, determinada para a área experimental, e uma profundidade de solo de 0,10 m.



Figura 4. Ilustração da área experimental, no dia do transplântio, com plantas aos 26 dias após a sementeira.

#### 1.2.4 Tratamentos e delineamento experimental

Em cada experimento realizado, foram avaliados dez tratamentos, sendo que nove deles resultaram da combinação entre doses em cobertura de nitrogênio (N) (9; 54; 90; 126 e 171 kg ha<sup>-1</sup>) e doses em cobertura de silício (Si) e potássio (óxido de potássio - K<sub>2</sub>O) (1,15; 6,90; 11,50; 16,10 e 21,85 kg ha<sup>-1</sup>), definidos conforme a matriz Plan Puebla III (TURRENT; LAIRD, 1975), e um deles constituiu-se na testemunha que não recebeu adubação de cobertura com doses de N e de Si e K<sub>2</sub>O (Tabela 3). Os tratamentos foram dispostos em um delineamento inteiramente casualizado com três repetições, e, assim, houve a formação de trinta parcelas experimentais, tanto no experimento de inverno e primavera quanto no experimento de outono.

As aplicações das doses de N e de Si e K<sub>2</sub>O ocorreram mediante uso do sistema de microirrigação por gotejamento, descrito anteriormente, utilizando-se como fontes de nutrientes a ureia (45% N) e o produto líquido comercial Fertilísício<sup>®</sup> (fertilizante foliar), este último a base de silicato de potássio e com garantias de 12% de Si solúvel em água (165,6 g L<sup>-1</sup>) e 12% de K<sub>2</sub>O solúvel em água (165,6 g L<sup>-1</sup>).





Figura 5. Ilustração da área experimental com plantas aos 50 dias após a semeadura.



Figura 6. Ilustração da área experimental com plantas aos 60 dias após a semeadura.

A parcela experimental tinha as dimensões de 2,4 m de comprimento, 0,6 m de largura e 0,10 m de altura, área total de 1,44 m<sup>2</sup>, área útil de 0,32 m<sup>2</sup>, composta pelas oito plantas centrais da parcela, localizadas na sua fileira de plantio central. Apresentava duas bordaduras laterais, correspondentes às fileiras de plantio esquerda e direita, no sentido do comprimento da parcela, que foram excluídas da avaliação; e quatro bordaduras de cabeceira, duas no limite superior e duas no limite inferior, no sentido da largura da parcela, que foram excluídas da avaliação (Figura 2).

Tabela 3. Doses de nitrogênio (N) e de silício (Si) e potássio (K<sub>2</sub>O) aplicadas em cobertura para os tratamentos

Tratamento	Doses		
	N <sup>a</sup>	Si e K <sub>2</sub> O <sup>b</sup>	Si e K <sub>2</sub> O <sup>c</sup>
	kg ha <sup>-1</sup>	kg ha <sup>-1</sup>	ml L <sup>-1</sup>
N2 Si e K2	54	6,90	0,30
N2 Si e K4	54	16,10	0,70
N4 Si e K2	126	6,90	0,30
N4 Si e K4	126	16,10	0,70
N3 Si e K3	90	11,50	0,50
N1 Si e K2	9	6,90	0,30
N2 Si e K1	54	1,15	0,05
N5 Si e K4	171	16,10	0,70
N4 Si e K5	126	21,85	0,95
TESTEMUNHA	0	0,00	0,00

<sup>a</sup>Doses totais de N; <sup>b</sup>Doses totais de Si e K<sub>2</sub>O; <sup>c</sup>Doses parciais de Si e K<sub>2</sub>O, isto é, por aplicação ou fertirrigação, em mL de Fertisilício<sup>®</sup> por L de água.

### 1.2.5 Fertirrigação

A fertirrigação foi realizada separadamente, para nitrogênio (ureia) e silício e potássio (Fertisilício<sup>®</sup>), e foram totalizadas quatro aplicações, correspondentes à divisão das doses totais (kg ha<sup>-1</sup>) em quatro, as quais foram realizadas com periodicidade semanal. De maneira a facilitar o procedimento de fertirrigação nitrogenada, isto é, pré-dissolver o fertilizante, inicialmente, preparou-se uma solução de ureia na concentração de 10% de N (m

v<sup>-1</sup>). A prática de aplicação dos fertilizantes via água de irrigação foi realizada de acordo com os passos a seguir: inicialização com a aplicação de água; aplicação dos tratamentos, com um volume de calda por tratamento de 15 litros, iniciando com a menor dose e, posteriormente, repondo a água necessária para completar um novo volume de calda e as quantidades de N e de Si e K<sub>2</sub>O necessárias para completar a próxima dose superior, e, assim, sucessivamente até a máxima dose utilizada; finalização com a aplicação de água.

### **1.2.6 Colheita**

A colheita das plantas de alface para avaliação foi realizada no dia 16/10/2012 (67 dias após a semeadura), no experimento de inverno e primavera, e no dia 18/06/2013 (74 dias após a semeadura), no experimento de outono, por meio da retirada das oito plantas da área útil da parcela experimental, cortando-se seus caules na região rente ao solo, e quando estas apresentavam aspecto para serem comercializadas.

### **1.2.7 Características avaliadas e análises estatísticas**

Por ocasião da colheita, em ambos os experimentos, as seguintes características de cada planta da área útil da parcela experimental foram avaliadas: massa fresca total da parte aérea (MFTPA; g por planta), massa fresca comercial da parte aérea (MFCPA; g por planta), massa fresca não comercial (não aproveitável) da parte aérea (MFNCPA; g por planta), número de folhas comerciais (NFC) e índice comercial (IC).

Inicialmente, a planta foi pesada em balança digital para determinação da MFTPA. O mesmo procedimento ocorreu para obtenção da MFCPA, porém, antes da pesagem, as folhas senescentes e ou danificadas (região externa da planta), isto é, as folhas que não tinham condições de serem aproveitadas para o comércio, eram retiradas. Posteriormente, para a contagem e determinação do NFC, o desfolhamento da planta foi necessário, considerando comercial a folha passível de comercialização e consumo. Pela diferença entre a MFTPA e a MFCPA, obteve-se a MFNCPA, a qual corresponde à massa das folhas senescentes e ou danificadas (região externa da planta). A determinação do IC ocorreu pela razão entre a MFCPA e a MFTPA, com base em Santos et al. (2011).

Nas análises estatísticas, os experimentos foram avaliados individualmente. Para tanto, utilizou-se, em cada um, as médias das oito plantas da área útil, de cada parcela

experimental e para cada característica avaliada. Em ambos os experimentos realizados, algumas estatísticas descritivas foram determinadas para as características estudadas. Inicialmente, os erros experimentais foram submetidos aos testes de Shapiro-Wilk ( $p > 0,01$ ), para verificação da normalidade, e de Levene ( $p > 0,01$ ), para verificação da homocedasticidade residual.

As características foram estudadas mediante análise de regressão linear múltipla, cujo procedimento de seleção de modelos estatísticos baseou-se nos seguintes critérios: teste F significativo para a regressão ( $p < 0,05$ ); teste F não significativo para a falta de ajustamento ( $p > 0,05$ ); teste t de Student significativo para coeficientes de regressão ( $p < 0,05$ ); e coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{aj}$ ). O emprego do teste de médias de Tukey, em nível de 5% de probabilidade, apenas ocorreu quando o estudo da característica avaliada em função das doses de N e de Si e  $K_2O$  (regressão linear múltipla) não selecionou algum modelo estatístico. O programa utilizado na realização das análises estatísticas, mencionadas anteriormente, foi o SISVAR. Os modelos estatísticos estudados são os apresentados a seguir:

$$\hat{Y} = \beta_0 + \beta_1(N) + \beta_2(Si \text{ e } K_2O) + \beta_3(N)^2 + \beta_4(Si \text{ e } K_2O)^2 + \beta_5(N)(Si \text{ e } K_2O) \quad (\text{Modelo completo; 1})$$

$$\hat{Y} = \beta_0 + \beta_1(N) + \beta_2(Si \text{ e } K_2O) + \beta_3(N)^2 + \beta_4(Si \text{ e } K_2O)^2 \quad (\text{Modelo 2})$$

$$\hat{Y} = \beta_0 + \beta_1(N) + \beta_2(Si \text{ e } K_2O) + \beta_3(N)^2 + \beta_4(N)(Si \text{ e } K_2O) \quad (\text{Modelo 3})$$

$$\hat{Y} = \beta_0 + \beta_1(N) + \beta_2(Si \text{ e } K_2O) + \beta_3(Si \text{ e } K_2O)^2 + \beta_4(N)(Si \text{ e } K_2O) \quad (\text{Modelo 4})$$

$$\hat{Y} = \beta_0 + \beta_1(N) + \beta_2(Si \text{ e } K_2O) + \beta_3(N)^2 \quad (\text{Modelo 5})$$

$$\hat{Y} = \beta_0 + \beta_1(N) + \beta_2(Si \text{ e } K_2O) + \beta_3(Si \text{ e } K_2O)^2 \quad (\text{Modelo 6})$$

$$\hat{Y} = \beta_0 + \beta_1(N) + \beta_2(Si \text{ e } K_2O) + \beta_3(N)(Si \text{ e } K_2O) \quad (\text{Modelo 7})$$

$$\hat{Y} = \beta_0 + \beta_1(N) + \beta_2(Si \text{ e } K_2O) \quad (\text{Modelo 8})$$

$$\hat{Y} = \beta_0 + \beta_1(N) + \beta_2(N)^2 \quad (\text{Modelo 9})$$

$$\hat{Y}=\beta_0+\beta_1(\text{Si e K}_2\text{O})+\beta_2(\text{Si e K}_2\text{O})^2 \quad (\text{Modelo 10})$$

$$\hat{Y}=\beta_0+\beta_1(\text{N}) \quad (\text{Modelo 11})$$

$$\hat{Y}=\beta_0+\beta_1(\text{Si e K}_2\text{O}) \quad (\text{Modelo 12})$$

Em que:

$\hat{Y}$  - valor estimado da característica em questão;

$\beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5$  - coeficientes de regressão;

N - dose de N ( $\text{kg ha}^{-1}$ );

Si e  $\text{K}_2\text{O}$  - dose de Si e  $\text{K}_2\text{O}$  ( $\text{kg ha}^{-1}$ ).



## 1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 1.3.1 Condições ambientais

No experimento de inverno e primavera (2012), as médias de temperaturas máxima e mínima do ar e de umidade relativa do ar foram 29,53 °C, 18,06 °C e 55,43%, respectivamente, enquanto que, no experimento de outono (2013), os respectivos valores dessas características foram 25,47 °C, 16,32 °C e 76,89%. Desta forma, as médias de temperaturas máxima e mínima do ar do primeiro experimento foram numericamente maiores que as do segundo, ao passo em que o inverso foi observado para as médias de umidade relativa do ar (Figura 7).

Em termos numéricos, as temperaturas mínimas do ar foram ora maiores, ora menores, na comparação do período de inverno e primavera com o período de outono, enquanto que as temperaturas máximas do ar foram, em sua maior parte, maiores no primeiro experimento do que no segundo, como, por exemplo, na fase final do cultivo da alface no período de inverno e primavera. Por sua vez, as umidades relativas do ar do primeiro experimento foram majoritariamente menores em relação às observadas no período experimental de outono (Figura 7).

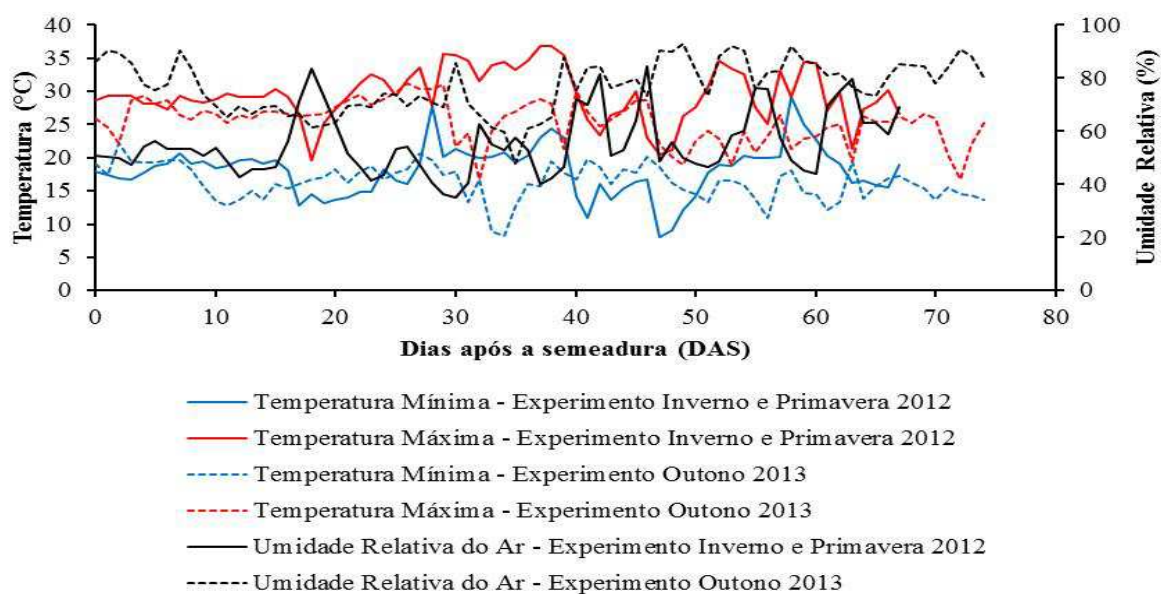


Figura 7. Temperaturas do ar, mínimas e máximas, e umidades relativas do ar, ocorridas durante os períodos experimentais.

### 1.3.2 Massa fresca total e massa fresca comercial da parte aérea

Algumas estatísticas descritivas para massa fresca total da parte aérea e massa fresca comercial da parte aérea podem ser observadas na Tabela 4 (inverno e primavera de 2012) e na Tabela 5 (outono de 2013).

Tabela 4. Estatísticas descritivas para as características massa fresca total da parte aérea (MFTP), massa fresca comercial da parte aérea (MFCPA), massa fresca não comercial da parte aérea (MFNCPA), número de folhas comerciais por planta (NFC) e índice comercial (IC) de alface Vera, no período de inverno e primavera (2012), Maringá, PR

Estatísticas	Característica				
	MFTP	MFCPA	MFNCPA	NFC	IC
	g por planta	g por planta	g por planta		
Mínimo	149,71	145,90	3,55	18,63	0,92
Máximo	325,24	314,95	16,13	25,00	0,98
Desvio padrão	43,12	41,90	2,55	1,60	0,01
Média geral	246,01	236,41	9,09	21,63	0,96
C.V. 1 (%)	17,53	17,72	28,01	7,38	1,32
C.V. 2 (%)*	10,49	10,60	23,26	6,19	1,33

\*Coeficiente de variação do experimento em que  $s=(QMR)^{(1/2)}$ , sendo “s” o desvio padrão e “QMR” o quadrado médio do resíduo.

Na análise de regressão e para o experimento de inverno e primavera, os resultados foram semelhantes entre massa fresca total da parte aérea e massa fresca comercial da parte aérea, para as quais foi selecionado o modelo estatístico de número 7. Com base neste, foi possível observar que a fertirrigação com nitrogênio e a fertirrigação com silicato de potássio, assim como a interação entre as doses de N, Si e K<sub>2</sub>O, influenciaram significativamente estas variáveis resposta (Figuras 8 e 9).

A fertirrigação com silicato de potássio causou a maior variação de massa fresca total da parte aérea, entre a dose zero de Si e K<sub>2</sub>O e a maior dose (21,85 kg Si e K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>). Também foi responsável pela maior resposta da característica (298,24 g por planta) na maior dose de Si e K<sub>2</sub>O e na ausência de fertirrigação com nitrogênio. Esta resposta foi 7,76% superior à fertirrigação com a maior dose de nitrogênio (171 kg N ha<sup>-1</sup>) e na dose zero de Si e

K<sub>2</sub>O (276,76 g por planta), e 8,10% superior à fertirrigação com as maiores doses de N, Si e K<sub>2</sub>O (275,88 g por planta) (Figura 8).

Tabela 5. Estatísticas descritivas para as características massa fresca total da parte aérea (MFTPA), massa fresca comercial da parte aérea (MFCPA), massa fresca não comercial da parte aérea (MFNCPA), número de folhas comerciais por planta (NFC) e índice comercial (IC) de alface Vera, no período de outono (2013), Maringá, PR

Estatísticas	Característica				
	MFTPA g por planta	MFCPA g por planta	MFNCPA g por planta	NFC	IC
Mínimo	97,15	94,29	2,65	13,00	0,90
Máximo	243,84	235,83	19,71	21,63	0,98
Desvio padrão	41,43	39,57	4,23	2,01	0,02
Média geral	170,92	161,12	9,79	16,68	0,94
C.V. 1 (%)	24,24	24,56	43,19	12,05	2,39
C.V. 2 (%) <sup>*</sup>	11,75	13,18	35,52	8,53	2,40

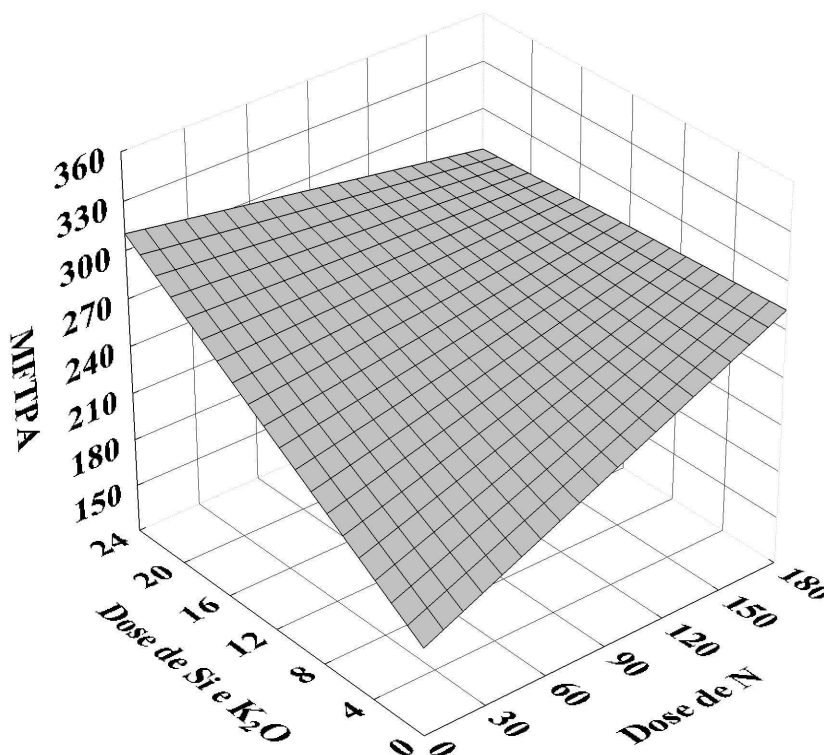
<sup>\*</sup> Coeficiente de variação do experimento em que  $s=(QMR)^{(1/2)}$ , sendo “s” o desvio padrão e “QMR” o quadrado médio do resíduo.

Para massa fresca comercial da parte aérea, a maior variação também foi causada pela fertirrigação com silicato de potássio, entre as doses 0 a 21,85 kg Si e K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>, e a maior resposta da característica (291,67 g por planta) foi observada na maior dose de Si e K<sub>2</sub>O e na ausência de fertirrigação com nitrogênio. Esta resposta foi 9,39% superior à fertirrigação com 171 kg N ha<sup>-1</sup> e na dose zero de Si e K<sub>2</sub>O (266,63 g por planta), e 10,73% superior à obtida com as maiores doses de N, Si e K<sub>2</sub>O (263,40 g por planta) (Figura 9).

Tanto sobre a massa fresca total da parte aérea quanto sobre a massa fresca comercial da parte aérea, houve influência significativa e negativa da interação entre as doses de N, Si e K<sub>2</sub>O. Para cada superfície de resposta, foi determinado o ponto que representa a dose de Si e K<sub>2</sub>O a partir da qual o aumento nas doses de N resulta em decréscimo na massa fresca total da parte aérea e na massa fresca comercial da parte aérea, assim como a dose de N a partir da qual o aumento nas doses de Si e K<sub>2</sub>O resulta neste mesmo efeito. Obteve-se esse ponto analiticamente por meio da derivada parcial dos modelos estatísticos selecionados para essas características. Os pontos determinados, a partir dos quais ocorre interação negativa entre as



doses de N, Si e K<sub>2</sub>O, corresponderam às doses de 17,88 kg Si e K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> e de 169,78 kg N ha<sup>-1</sup>, para massa fresca total da parte aérea, e às doses de 17,00 kg Si e K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> e de 166,66 kg N ha<sup>-1</sup>, para massa fresca comercial da parte aérea (Figuras 8 e 9).

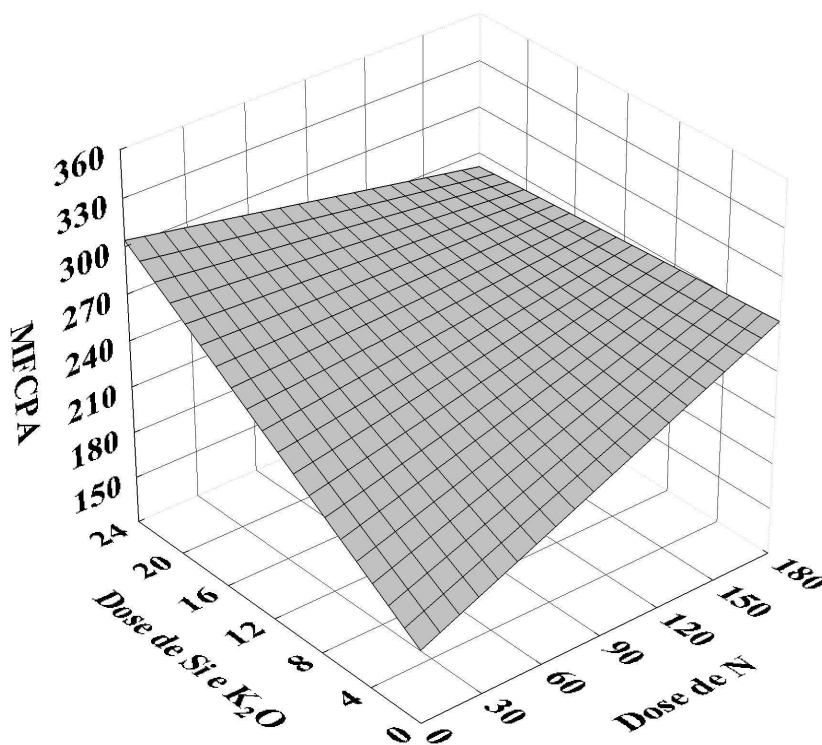


$$\text{MFTPA} = 175,9530 + 5,8949 \cdot 10^{-1} \cdot (\text{N}) + 5,5967 \cdot (\text{Si e K}_2\text{O}) - 3,2964 \cdot 10^{-2} \cdot (\text{N}) \cdot (\text{Si e K}_2\text{O})$$

$$R^2_{\text{aj}}^{(a)} = 0,7014$$

Figura 8. Massa fresca total da parte aérea (MFTPA) (g por planta) de alface Vera, em função de doses de N (kg ha<sup>-1</sup>) e de Si e K<sub>2</sub>O (kg ha<sup>-1</sup>), no período de inverno e primavera (2012), Maringá, PR. \*Significativo pelo teste t de Student (p<0,05); <sup>(a)</sup> Coeficiente de determinação ajustado.

No experimento de outono, assim como foi constatado no experimento de inverno e primavera, os resultados da análise de regressão, no que diz respeito à massa fresca total da parte aérea e à massa fresca comercial da parte aérea, também foram semelhantes entre si. Para ambas as características, no período de outono, o modelo estatístico selecionado foi o número 11, que indicou apenas influência significativa da fertirrigação com nitrogênio sobre essas variáveis resposta, como pode ser observado nas Figuras 10 e 11. Nestes casos, houve resposta linear crescente dessas características em função do aumento nas doses de nitrogênio.



$$\text{MFCPA} = 167,4388 + 5,8007 \cdot 10^{-1} \cdot (\text{N}) + 5,6858 \cdot (\text{Si e K}_2\text{O}) - 3,4116 \cdot 10^{-2} \cdot (\text{N}) \cdot (\text{Si e K}_2\text{O})$$

$$R^2_{\text{aj}} = 0,7095$$

Figura 9. Massa fresca comercial da parte aérea (MFCPA) (g por planta) de alface Vera, em função de doses de N ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) e de Si e  $\text{K}_2\text{O}$  ( $\text{kg ha}^{-1}$ ), no período de inverno e primavera (2012), Maringá, PR. \* Significativo pelo teste t de Student ( $p < 0,05$ ); <sup>(a)</sup> Coeficiente de determinação ajustado.

Para massa fresca total da parte aérea, o aumento de  $25 \text{ kg ha}^{-1}$  na dose de nitrogênio foi responsável pelo acréscimo de  $17,33 \text{ g por planta}$  nessa variável resposta, e o seu maior resultado ( $233,32 \text{ g por planta}$ ) foi obtido com a maior dose de nitrogênio ( $171 \text{ kg ha}^{-1}$ ) (Figura 10). Por sua vez, a massa fresca comercial da parte aérea foi incrementada em  $16,26 \text{ g por planta}$  com o acréscimo de  $25 \text{ kg ha}^{-1}$  na dose de nitrogênio, e a maior resposta ( $219,66 \text{ g por planta}$ ) dessa característica ocorreu com a maior dose de nitrogênio, isto é, com  $171 \text{ kg por ha}$  (Figura 11).

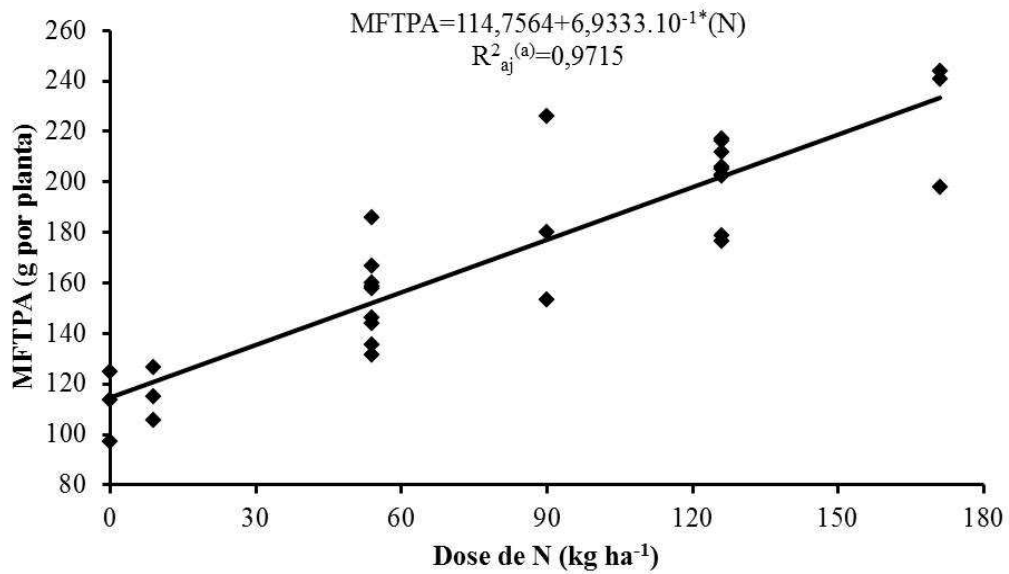


Figura 10. Massa fresca total da parte aérea (MFTPA) de alfaca Vera, em função de doses de N, no período de outono (2013), Maringá, PR. \*Significativo pelo teste t de Student ( $p < 0,05$ ); <sup>(a)</sup> Coeficiente de determinação ajustado.

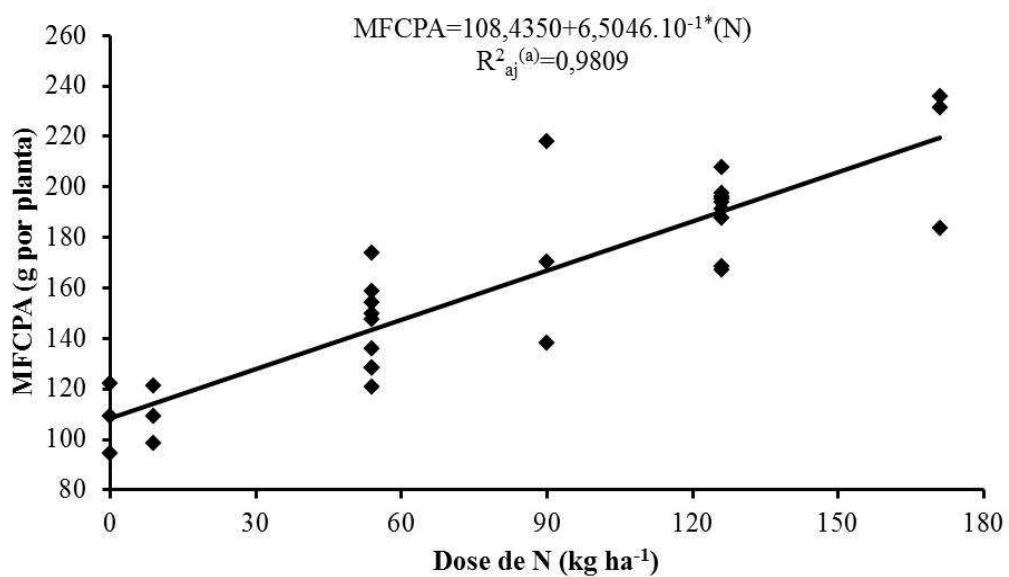


Figura 11. Massa fresca comercial da parte aérea (MFCPA) de alfaca Vera, em função de doses de N, no período de outono (2013), Maringá, PR. \*Significativo pelo teste t de Student ( $p < 0,05$ ); <sup>(a)</sup> Coeficiente de determinação ajustado.

### 1.3.3 Massa fresca não comercial da parte aérea

Nas Tabelas 4 e 5 são apresentadas algumas estatísticas descritivas referentes à massa fresca não comercial da parte aérea, para os respectivos experimentos realizados.

A massa fresca não comercial da parte aérea, tanto no experimento de inverno e primavera quanto no experimento de outono, foi influenciada significativamente pela fertirrigação nitrogenada (modelo 11 selecionado) e pela fertirrigação com silicato de potássio (modelo 12 selecionado). Em cada um dos períodos de cultivo, houve resposta linear crescente dessa característica com o aumento nas doses de N (Figuras 12 e 14) e com o aumento nas doses de Si e K<sub>2</sub>O (Figuras 13 e 15).

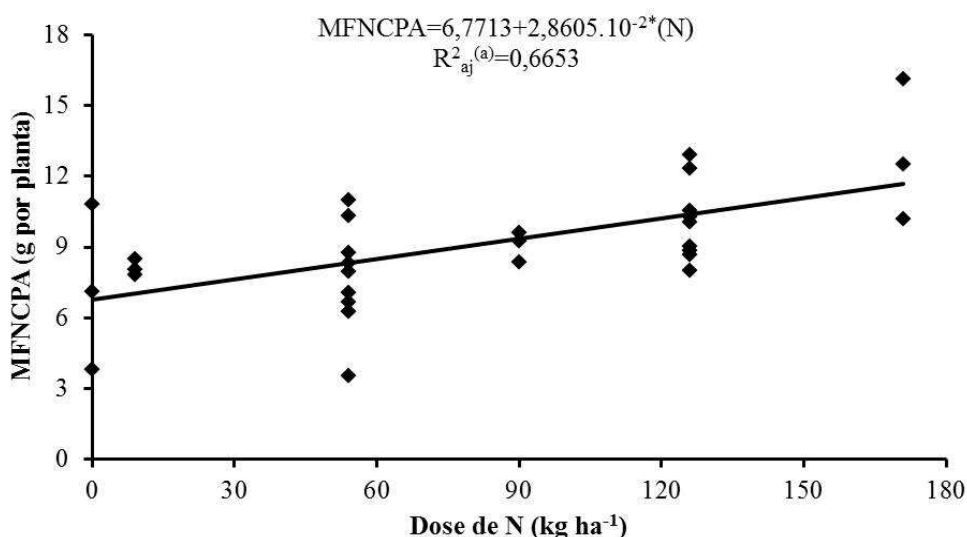


Figura 12. Massa fresca não comercial da parte aérea (MFNCPA) de alface Vera, em função de doses de N, no período experimental de inverno e primavera do ano de 2012, Maringá, PR. \*Significativo pelo teste t de Student ( $p < 0,05$ ); <sup>(a)</sup> Coeficiente de determinação ajustado.

No experimento de inverno e primavera, cada 25 kg ha<sup>-1</sup> acrescidos à dose de nitrogênio foi responsável pelo incremento de 0,72 g por planta na massa fresca não comercial da parte aérea (Figura 12), enquanto que o aumento de 2,5 kg Si e K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> proporcionou um acréscimo de 0,48 g por planta nessa variável resposta (Figura 13). Na fertirrigação com nitrogênio, a maior resposta (11,66 g por planta) de massa fresca não comercial da parte aérea ocorreu com a maior dose utilizada (171 kg N ha<sup>-1</sup>) (Figura 12), e, no caso da fertirrigação

com silicato de potássio, a maior dose utilizada (21,85 kg Si e K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>) também proporcionou o maior resultado para essa característica (11,31 g por planta) (Figura 13).

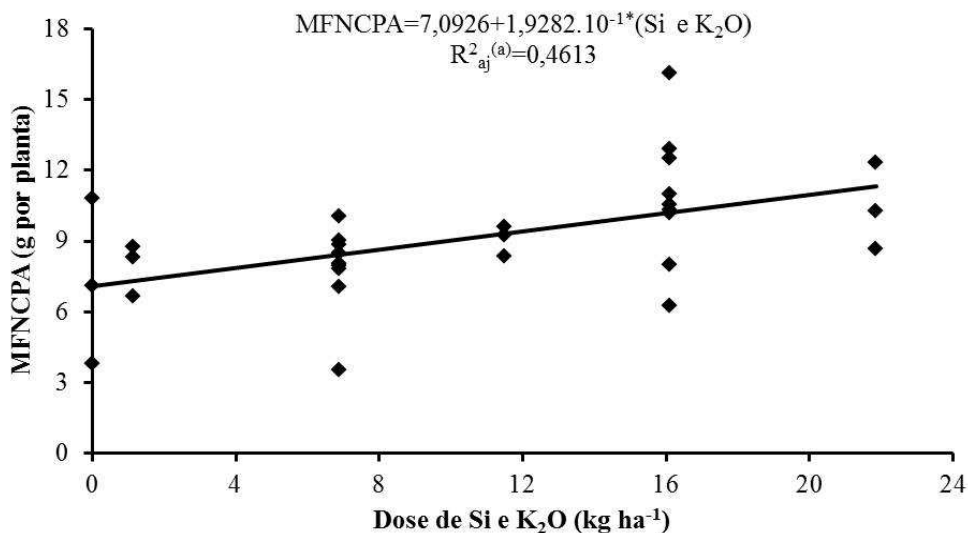


Figura 13. Massa fresca não comercial da parte aérea (MFNCPA) de alfaca Vera, em função de doses de Si e K<sub>2</sub>O, no período experimental de inverno e primavera do ano de 2012, Maringá, PR. \*Significativo pelo teste t de Student (p<0,05); <sup>(a)</sup> Coeficiente de determinação ajustado.

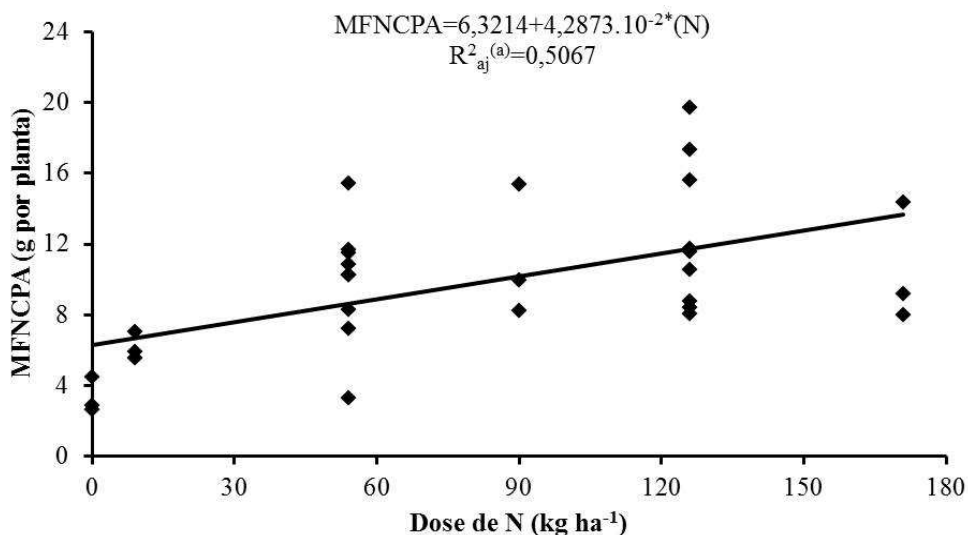


Figura 14. Massa fresca não comercial da parte aérea (MFNCPA) de alfaca Vera, em função de doses de N, no período de outono (2013), Maringá, PR. \*Significativo pelo teste t de Student (p<0,05); <sup>(a)</sup> Coeficiente de determinação ajustado.

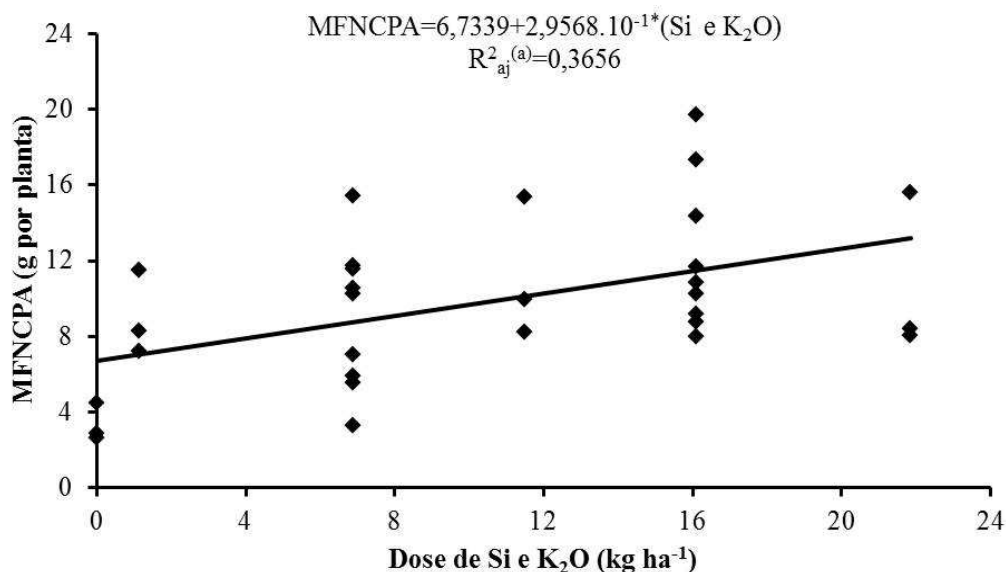


Figura 15. Massa fresca não comercial da parte aérea (MFNCPA) de alface Vera, em função de doses de Si e K<sub>2</sub>O, no período de outono (2013), Maringá, PR. \*Significativo pelo teste t de Student (p<0,05); <sup>(a)</sup> Coeficiente de determinação ajustado.

Por sua vez, no experimento de outono, houve um aumento de 1,07 g por planta na massa fresca não comercial da parte aérea com o acréscimo de 25 kg N ha<sup>-1</sup>, com seu maior valor (13,65 g por planta) na maior dose de N (171 kg ha<sup>-1</sup>) (Figura 14). A cada 2,5 kg ha<sup>-1</sup> adicionados à dose de Si e K<sub>2</sub>O, houve um aumento de 0,74 g por planta nessa variável resposta, cujo maior valor (13,19 g por planta) foi observado na maior dose de Si e K<sub>2</sub>O (21,85 kg ha<sup>-1</sup>) (Figura 15).

### 1.3.4 Número de folhas comerciais por planta

Para os experimentos de inverno e primavera e de outono, os resultados das estatísticas descritivas quanto ao número de folhas comerciais por planta encontram-se nas Tabelas 4 e 5, respectivamente. Dois modelos estatísticos foram selecionados na análise de regressão para essa característica e no experimento de inverno e primavera. Neste caso, tanto a fertirrigação com nitrogênio, mediante seleção do modelo estatístico de número 11, quanto a fertirrigação com silicato de potássio, mediante seleção do modelo estatístico de número 12, influenciaram significativamente a variável resposta. No experimento de inverno e primavera, o aumento nas doses de N (Figura 16) e o aumento nas doses de Si e K<sub>2</sub>O (Figura 17) causaram resposta linear crescente do número de folhas comerciais por planta.

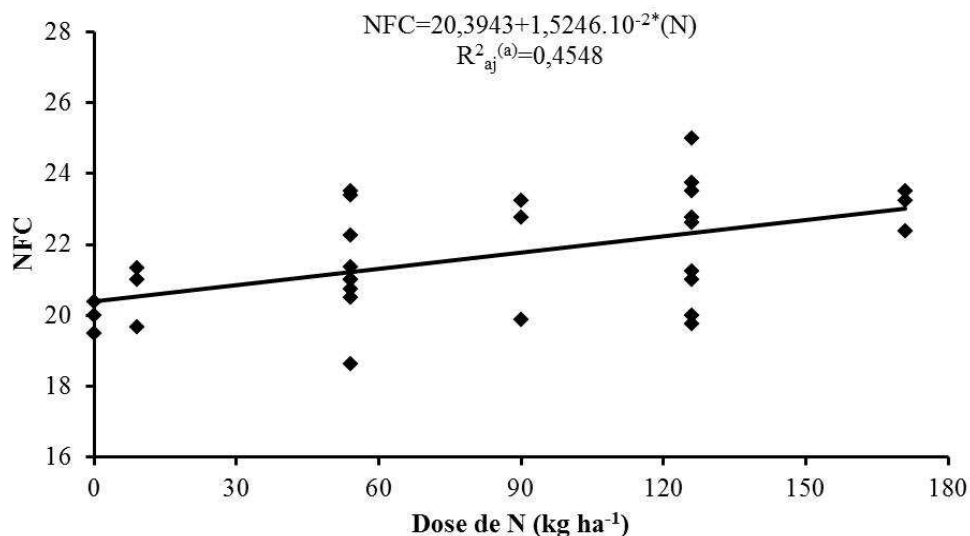


Figura 16. Número de folhas comerciais por planta (NFC) de alfaca Vera, em função de doses de N, no período experimental de inverno e primavera do ano de 2012, Maringá, PR. \*Significativo pelo teste t de Student ( $p < 0,05$ ); <sup>(a)</sup> Coeficiente de determinação ajustado.

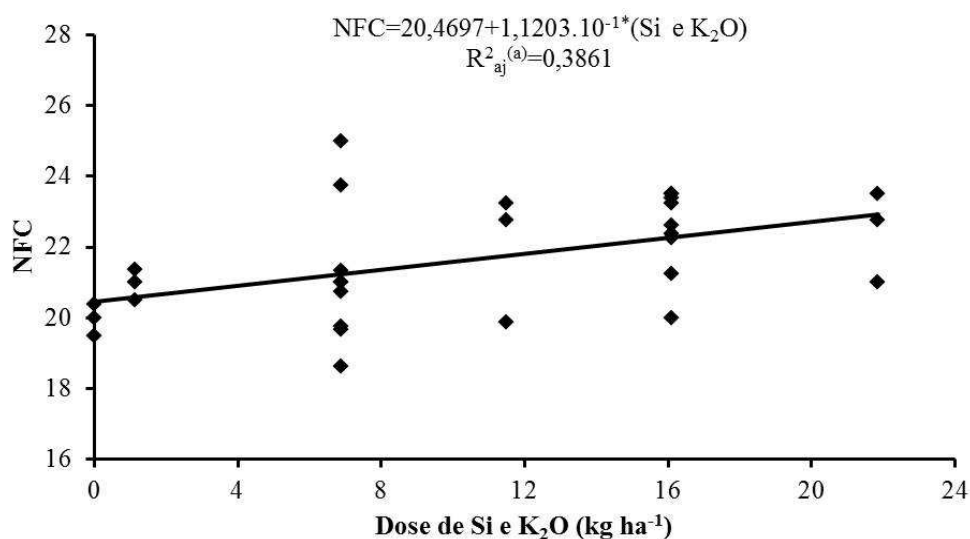


Figura 17. Número de folhas comerciais por planta (NFC) de alfaca Vera, em função de doses de Si e K<sub>2</sub>O, no período experimental de inverno e primavera do ano de 2012, Maringá, PR. \*Significativo pelo teste t de Student ( $p < 0,05$ ); <sup>(a)</sup> Coeficiente de determinação ajustado.

No experimento de outono, apenas o modelo estatístico de número 11 foi selecionado e, com isto, apenas a fertirrigação com nitrogênio influenciou significativamente o número de folhas comerciais por planta, que variou de maneira linear crescente com o aumento nas doses de N (Figura 18).

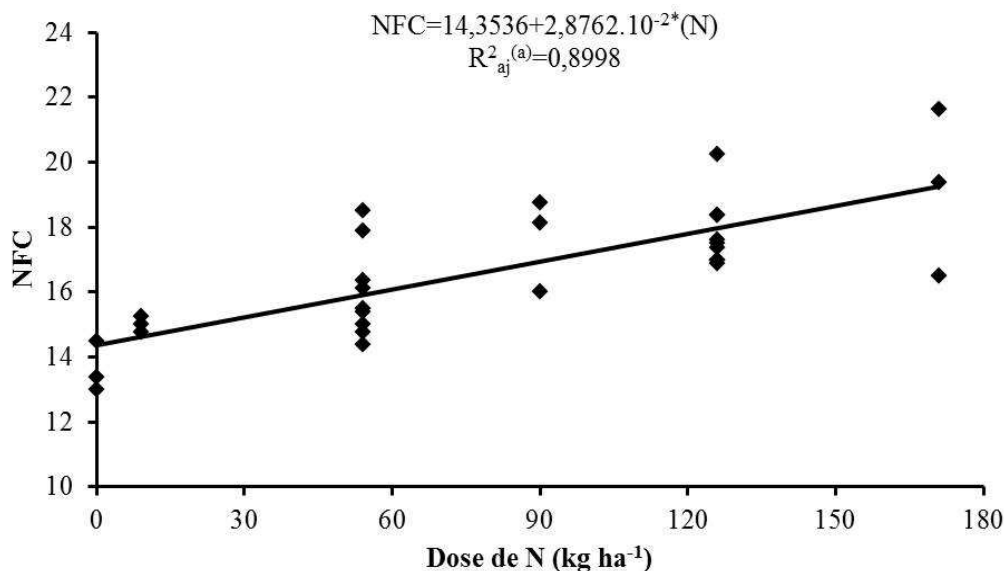


Figura 18. Número de folhas comerciais por planta (NFC) de alface Vera, em função de doses de N, no período de outono (2013), Maringá, PR. \* Significativo pelo teste t de Student ( $p < 0,05$ ); <sup>(a)</sup> Coeficiente de determinação ajustado.

De acordo com a Figura 16, a cada 25 kg ha<sup>-1</sup> acrescidos à dose de nitrogênio, o número de folhas comerciais foi incrementado em 0,38, com a maior resposta (23,00 folhas por planta) na maior dose de N (171 kg ha<sup>-1</sup>), enquanto que, conforme a Figura 17, a adição de 2,5 kg ha<sup>-1</sup> à dose de Si e K<sub>2</sub>O proporcionou um aumento de 0,28 nessa variável resposta, cujo maior resultado (22,92 folhas por planta) ocorreu com a maior dose de Si e K<sub>2</sub>O (21,85 kg por ha).

Houve um incremento de 0,72 no número de folhas comerciais por planta mediante aumento de 25 kg ha<sup>-1</sup> na dose de nitrogênio, e, neste caso, o maior valor (19,27 folhas por planta) foi obtido com a maior dose de N (171 kg ha<sup>-1</sup>) (Figura 18).



### 1.3.5 Índice comercial

Na análise do índice comercial, foram encontradas as estatísticas descritivas presentes na Tabela 4 (inverno e primavera de 2012) e na Tabela 5 (outono de 2013). Nenhum modelo estatístico foi selecionado para essa característica, isto é, as fertirrigações com nitrogênio e com silicato de potássio não influenciaram de maneira significativa o índice comercial, cuja média geral foi 0,96 e 0,94 para os experimentos de inverno e primavera e de outono, respectivamente (Tabelas 4 e 5). Para ambos os experimentos, este fato corroborou com os resultados do teste de médias de Tukey, os quais não indicaram diferença estatística significativa entre tratamentos (Tabela 6).

Tabela 6. Teste de médias de Tukey para a característica índice comercial (IC) de alface Vera, no período de inverno e primavera (2012) e de outono (2013), Maringá, PR

Tratamento	Experimento	
	Inverno e Primavera	Outono
	IC	IC
N2 Si e K2	0,9685a	0,9391a
N2 Si e K4	0,9691a	0,9276a
N4 Si e K2	0,9652a	0,9425a
N4 Si e K4	0,9583a	0,9282a
N3 Si e K3	0,9646a	0,9367a
N1 Si e K2	0,9541a	0,9458a
N2 Si e K1	0,9510a	0,9407a
N5 Si e K4	0,9522a	0,9557a
N4 Si e K5	0,9634a	0,9470a
TESTEMUNHA	0,9525a	0,9716a

Médias seguidas das mesmas letras minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

### 1.3.6 Discussão geral dos resultados

A discussão geral apresentada a seguir é referente aos resultados expostos no presente Capítulo, do item 1.3.1 ao item 1.3.5.

O favorecimento da massa fresca não comercial da parte aérea, em ambos os experimentos, que ocorreu devido à fertirrigação com nitrogênio e com silicato de potássio (Figuras 12, 13, 14 e 15), provavelmente, acompanhou o favorecimento da massa fresca total da parte aérea, que, no experimento de inverno e primavera, ocorreu mediante a aplicação de nitrogênio, silício e potássio via água de irrigação (Figura 8) e, que, no experimento de outono, ocorreu por meio da fertirrigação com nitrogênio (Figura 10). Entretanto, esse crescimento da massa fresca não comercial da parte aérea não foi suficiente para afetar de maneira negativa a qualidade comercial de alface, uma vez que a massa fresca comercial da parte aérea também foi beneficiada pelas fertirrigações com todos os nutrientes, no experimento de inverno e primavera (Figura 9), e pela fertirrigação com nitrogênio, no experimento de outono (Figura 11).

O fato mencionado no parágrafo anterior pode ser corroborado pelos resultados obtidos para número de folhas comerciais por planta, o qual foi beneficiado com a fertirrigação com nitrogênio e pela fertirrigação com silicato de potássio, no experimento de inverno e primavera (Figuras 16 e 17), e com a fertirrigação com nitrogênio, no experimento de outono (Figura 18), o qual também não foi afetado negativamente, ainda que tenha ocorrido aumento da massa fresca não comercial da parte aérea. Ainda corrobora com este fato os resultados obtidos para índice comercial, cujas respostas não evidenciaram diferenças estatísticas significativas entre tratamentos e cujas médias de 0,96 (inverno e primavera) e de 0,94 (outono) indicam resultados de qualidade comercial muito bons (Tabelas 4, 5 e 6).

Para a massa fresca comercial da parte aérea, os resultados foram distintos entre os experimentos realizados, sendo que, no de inverno e primavera, a maior resposta foi obtida com a maior dose de Si e K<sub>2</sub>O e na dose zero de nitrogênio (Figura 9) e, no de outono, apenas foi constatada influência da fertirrigação nitrogenada, com a maior resposta em sua maior dose (Figura 11). Portanto, ao se considerar a maior massa fresca comercial da parte aérea como foco ou objetivo da produção, não há uma recomendação comum de adubação via água de irrigação com base comum em ambos os experimentos.

No experimento de inverno e primavera, a maior variação ocorrida nas massas frescas total e comercial da parte aérea por meio da aplicação de Si e K<sub>2</sub>O e as maiores respostas obtidas pela fertirrigação com suas maiores doses e na dose zero de nitrogênio podem ser atribuídas, provavelmente, a um maior efeito do potássio sobre essas variáveis resposta. Isto pode ser justificado devido ao potássio ser o elemento mais acumulado pela parte aérea de alface cultivada em sistema convencional (solo) (BENINNI; TAKAHASHI;

NEVES, 2005), que ressalta seu grande requerimento por esta cultura, e devido à alface poder ser considerada como não acumuladora de silício (FERREIRA et al., 2010).

Estas últimas respostas ainda podem ter sido potencializadas pela grande quantidade de potássio já presente no solo da área experimental para o experimento de inverno e primavera (Tabela 1). No experimento de inverno e primavera, as maiores temperaturas máximas do ar ocorridas, em relação ao experimento de outono, especialmente na fase final do ciclo, associadas às menores umidades relativas do ar (Figura 7), podem ter propiciado condições no interior do ambiente protegido favoráveis a um maior requerimento de potássio.

As maiores temperaturas máximas do ar podem ter causado maiores amplitudes térmicas dentro do ambiente protegido e acelerado o metabolismo das plantas, aumentando a demanda por gás carbônico e proporcionando maior precocidade, e juntamente com as menores umidades relativas do ar, a taxa transpiratória pode ter sido aumentada. Algumas das funções do potássio na planta se relacionam à ativação de enzimas associadas à fotossíntese e à respiração (TAIZ; ZEIGER, 2004), à regulação do potencial osmótico e do turgor celular, à abertura e fechamento de estômatos (assimilação de gás carbônico) e ao transporte do produto da fotossíntese (FAQUIN; ANDRADE, 2004). Desta forma, nas possíveis condições mencionadas anteriormente, o requerimento de potássio pode ter sido maior devido à maior demanda de seu desempenho sobre a fisiologia da planta. A magnitude deste efeito pode não ter ocorrido no experimento de outono, pois, neste, as características massas frescas total e comercial da parte aérea e número de folhas comerciais por planta foram influenciados significativamente apenas pela fertirrigação com nitrogênio (Figuras 10, 11 e 18).

Quando a adubação é realizada com ureia ( $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ ), ocorre hidrólise da mesma com transformação em sal de amônio e transformação do amônio em nitrato (RAIJ, 1991), sendo que a hidrólise é efetuada por meio da enzima urease (CANTARELLA, 2007), e, presente na fase aquosa do solo, o íon amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) permanece em equilíbrio com a amônia ( $\text{NH}_3$ ) (MATTOS JUNIOR; CANTARELLA; QUAGGIO, 2002). O  $\text{NH}_4^+$  é uma das formas de absorção radicular de nitrogênio realizada pelas plantas (EPSTEIN; BLOOM, 2006) e, uma vez que a fertirrigação com nitrogênio foi efetuada com ureia, há a possibilidade de que a interação negativa constatada entre as doses de N, Si e  $\text{K}_2\text{O}$  (Figuras 8 e 9) tenha ocorrido devido à competição entre  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{K}^+$  (MARSCHNER, 1995; FOLONI, ROSOLEM; GARCIA, 2006). Há também a possibilidade de interação não-competitiva entre nitrogênio e potássio, conforme Cantarella (2007), que informa que o aumento da demanda de um nutriente ocorre com a absorção do outro.

No caso de interação entre nitrogênio e potássio, esta pode ter ocorrido não unicamente devido ao potássio fornecido por meio do Fertilísilício<sup>®</sup>, uma vez que as doses de potássio foram mais baixas em relação às de nitrogênio, mas também devido ao potássio já presente em grande quantidade no solo da área experimental para o experimento de inverno e primavera (Tabela 1). Para a interação negativa, também é provável que tenha ocorrido contribuição pelo fato de o potássio e o nitrogênio serem os nutrientes mais acumulados pela parte aérea de alface cultivada em sistema convencional (solo) (BENINNI; TAKAHASHI; NEVES, 2005), que ressalta as suas grandes exigências por esta cultura. As quantidades de cálcio e magnésio no solo da área experimental para o experimento de inverno e primavera eram grandes, assim como a quantidade de potássio (Tabela 1), e, desta forma, também há a possibilidade de que a interação negativa tenha ocorrido como resultado de inibição competitiva entre  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  (MALAVOLTA, 2006), sendo o  $K^+$  originário do Fertilísilício<sup>®</sup> ou do solo e o  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  originários do solo.

Os efeitos benéficos da fertirrigação com silicato de potássio, para as respectivas características influenciadas e dentro de cada experimento, assim como para as massas frescas total e comercial da parte aérea em inverno e primavera, como já relatado previamente, também podem ser atribuídos, provavelmente, a um maior efeito do potássio do que do silício. Nestes casos, os favorecimentos dessas características podem ser atribuídos aos favorecimentos das diversas funções que o potássio exerce na planta, já citadas anteriormente, além do que a adubação com este elemento pode ser vantajosa devido a um uso eficiente da água, assim como por favorecer a formação e translocação de carboidratos e melhorar a qualidade do produto (FILGUEIRA, 2008).

Nas situações em que as características foram beneficiadas pela fertirrigação com nitrogênio, os favorecimentos podem ser explicados devido às funções que este elemento desempenha na planta, tais como na constituição de muitos componentes celulares, entre eles aminoácidos e ácidos nucleicos (TAIZ; ZEIGER, 2004). Além disto, quando o nitrogênio é fornecido adequadamente, há benefícios para o crescimento vegetativo, assim como expansão da área fotossinteticamente ativa e elevação do potencial produtivo (FILGUEIRA, 2008).

No estudo da aplicação de quatro doses de adubação em cobertura de nitrogênio (0, 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup>), adicionais à dose de 60 kg N ha<sup>-1</sup> aplicada pelo produtor, e cinco doses de molibdênio via foliar (0,0; 35,1; 70,2; 105,3 e 140,4 g ha<sup>-1</sup>), sobre a cultivar de alface Raider, Resende et al. (2012) verificaram que, na ausência de molibdênio, a maior massa fresca comercial ocorreu com a dose de 66,4 kg N ha<sup>-1</sup>. Estes autores também observaram

que, para esta característica, a melhor resposta foi obtida com a dose de 102,8 kg N ha<sup>-1</sup>, quando se aplicou a dose de 140,4 g ha<sup>-1</sup> de molibdênio. Ao considerar que no presente trabalho não se efetuou adubação com molibdênio, é possível constatar que a dose em que foi obtida a maior resposta de massa fresca comercial por Resende et al. (2012), na ausência de molibdênio, foi numericamente menor que as relacionadas aos maiores resultados produtivos no presente estudo. Entretanto, ambos os trabalhos verificaram influência positiva da adubação nitrogenada sobre o aspecto produtivo da cultura de alface.

Silva et al. (2008), na avaliação de alface americana, cultivar Raider, sobre a qual foram estudadas quatro lâminas de água, de 91,99 mm, 142,79 mm, 186,34 mm e 237,14 mm, em combinação com quatro doses de nitrogênio, de 0 kg ha<sup>-1</sup>, 80 kg ha<sup>-1</sup>, 160 kg ha<sup>-1</sup> e 320 kg ha<sup>-1</sup>, sob casa de vegetação, concluíram que a produtividade física máxima estimada houve com 208,03 mm e 290,5 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio, que concorda com o presente estudo, no sentido de que em ambos os trabalhos constatou-se benefícios da adubação nitrogenada sobre o aspecto produtivo da cultura da alface. Porém, a dose em que Silva et al. (2008) concluíram ter ocorrido a produtividade física máxima estimada foi numericamente maior em relação as que causaram os maiores resultados produtivos no presente estudo.

Em trabalho no qual se avaliou doses de nitrogênio (0; 141,5; 283; 566 e 1.132 mg por vaso) e cultivares de alface (Lucy Brown, Tainá, Vera, Verônica e Elisa), Mantovani, Ferreira e Cruz (2005) observaram que a produção (matéria fresca da parte aérea) máxima de alface de cultivar Vera foi obtida com a aplicação de 770 mg por vaso de nitrogênio, que corresponde, conforme estes autores, a aproximadamente 163 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio. Desta forma, assim como neste trabalho, houve favorecimento produtivo de alface Vera com a adubação nitrogenada.

No estudo realizado em ambiente protegido e com a cultivar de alface Verônica, mediante aplicação de doses de nitrogênio, na forma de ureia e via fertirrigação, Araújo et al. (2011) constataram, no intervalo entre 0 e 240 kg ha<sup>-1</sup> de N, que houve resposta linear decrescente das características massa fresca da parte aérea, número de folhas por planta e produtividade, e concluíram que houve elevação do nível de fertilidade do solo por meio da adubação orgânica de maneira a prescindir da adubação mineral de nitrogênio. Estes resultados discordam dos obtidos pelo presente trabalho, em que foi possível observar situações, para massa fresca total da parte aérea, massa fresca comercial da parte aérea e número de folhas comerciais por planta, nas quais a adubação nitrogenada beneficiou a cultura da alface.

De maneira a concordar com o presente trabalho, no qual se constatou influência positiva do fornecimento de potássio sobre aspectos produtivos da alface e para o experimento de inverno e primavera, Koetz et al. (2006), ao avaliarem diferentes turnos de rega, associados às doses de cloreto de potássio (100, 150, 200 e 250 kg ha<sup>-1</sup>), aplicadas via fertirrigação, em casa de vegetação, sobre a alface americana de cultivar Raider, constataram que na dose ótima de 119,36 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O ou 198,93 kg ha<sup>-1</sup> de KCl ocorreu a melhor produtividade. Entretanto, esta dose foi numericamente superior as que resultaram nas maiores respostas produtivas do presente estudo.

No estudo de doses de nitrogênio (0, 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup>) e de K<sub>2</sub>O (0, 60, 120 e 180 kg ha<sup>-1</sup>) em cobertura, adicionais às aplicações efetuadas pelo produtor mediante uso da fertirrigação (30 kg ha<sup>-1</sup> de N e 60 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O), em alface americana de cultivar Raider e em condições de inverno, Yuri (2004) constatou que a maior massa fresca da parte comercial ocorreu com as doses de 92,1 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio e 60 kg ha<sup>-1</sup> de K<sub>2</sub>O. Ainda que no presente trabalho tenha sido observada interação negativa entre as doses de N e de Si e K<sub>2</sub>O, houve favorecimento de aspectos produtivos da alface com o fornecimento de nitrogênio e potássio, assim como observado para massa fresca da parte comercial por Yuri (2004).

Com o fornecimento de silício e potássio à cultura de alface, no presente trabalho, objetivou-se avaliar a ocorrência do seu efeito sobre a qualidade comercial das plantas, de maneira a reduzir a quantidade de massa fresca não comercial da parte aérea (folhas senescentes ou danificadas) e aumentar o índice comercial. Entretanto, observou-se favorecimento da massa fresca não comercial da parte aérea e ausência de efeito sobre o índice comercial, no que diz respeito à fertirrigação com silicato de potássio. Desta forma, em termos de massa fresca não comercial, os resultados do presente estudo não concordam com o obtido por Ferreira et al. (2010) que, ao avaliarem a aplicação de doses crescentes de silicato de cálcio em três cultivares de alface, Raider, Regina e Vera, conduzidas em vasos e casa de vegetação, concluíram que mediante incremento nas doses de silicato de cálcio houve redução na porcentagem de massa fresca de folhas senescentes e doentes.

Em experimento realizado para avaliação de oito cultivares de alface, Santos et al. (2011) não constataram diferença significativa entre as cultivares com relação ao índice comercial e, mediante obtenção de uma média de 0,70, relataram que, desta forma, apresentam boa qualidade comercial. Os valores de índice comercial obtidos no presente trabalho, de 0,96, para o experimento de inverno e primavera, e de 0,94, para o experimento de outono, foram numericamente maiores que a média de 0,70 obtida por Santos et al. (2011).

Assim, os valores de 0,96 e 0,94 apresentados no presente estudo, cuja alface foi conduzida em ambiente protegido, possivelmente, caracterizam uma boa qualidade comercial de alface em razão do cultivo em ambiente protegido associado à microirrigação por gotejamento, pois, nestas condições, pode haver, por exemplo, menor acúmulo de água sobre as folhas das plantas e, conseqüentemente, menor proliferação de doenças ou injúrias.

## 1.4 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, dentro das especificidades de cada experimento, são apresentadas as conclusões a seguir.

### **Para o experimento de inverno e primavera:**

- As doses responsáveis pelos maiores resultados foram 21,85 kg Si e K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> (na dose zero de N), para as massas frescas total e comercial da parte aérea.

- Houve interação negativa entre as doses de N e as de Si e K<sub>2</sub>O a partir de 169,78 kg N ha<sup>-1</sup> e 17,88 kg Si e K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>, para massa fresca total da parte aérea, e a partir de 166,66 kg N ha<sup>-1</sup> e 17,00 kg Si e K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup>, para massa fresca comercial da parte aérea.

- O incremento da massa fresca não comercial da parte aérea, obtido pelo aumento nas doses de N, assim como pelo aumento nas doses de Si e K<sub>2</sub>O, não foi suficiente para desfavorecer a qualidade comercial de alface, em termos de massa fresca comercial da parte aérea, número de folhas comerciais por planta e índice comercial.

- As doses de 171 kg N ha<sup>-1</sup> e de 21,85 kg Si e K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> resultaram nos maiores valores de número de folhas comerciais por planta.

### **Para o experimento de outono:**

- Os maiores resultados do ponto de vista comercial ocorreram com 171 kg N ha<sup>-1</sup>, para massa fresca comercial da parte aérea e número de folhas comerciais por planta, e, nesta dose, também foi obtido o maior valor de massa fresca total da parte aérea.

- Ainda que tenha ocorrido incremento da massa fresca não comercial da parte aérea com o aumento nas doses de N e com o aumento nas doses de Si e K<sub>2</sub>O, não houve prejuízo à qualidade comercial de alface, no que diz respeito à massa fresca comercial da parte aérea, número de folhas comerciais por planta e índice comercial.



## **CAPÍTULO 2**

Massa seca e acúmulo de macronutrientes de alface (*Lactuca sativa* L.)  
fertirrigada com nitrogênio e silicato de potássio  
em ambiente protegido

Massa seca e acúmulo de macronutrientes de alface (*Lactuca sativa* L.)  
fertirrigada com nitrogênio e silicato de potássio  
em ambiente protegido

**RESUMO**

A avaliação do efeito da fertirrigação com nitrogênio e silicato de potássio sobre a massa seca comercial da parte aérea (MSCPA) e sobre o acúmulo de macronutrientes na MSCPA de alface foi o objetivo do presente trabalho. Para tanto, a alface de cultivar Vera foi conduzida em dois experimentos, relacionados a dois períodos de cultivo, sob ambiente protegido: inverno e primavera (2012) (IP) e outono (2013) (O). Dez tratamentos foram arranjos em um delineamento inteiramente casualizado com três repetições, em que nove tratamentos resultaram da combinação de cinco doses de nitrogênio (N) (9; 54; 90; 126 e 171 kg ha<sup>-1</sup>) com cinco doses de potássio (óxido de potássio - K<sub>2</sub>O) e silício (Si) (1,15; 6,90; 11,50; 16,10 e 21,85 kg ha<sup>-1</sup>), conforme a Matriz Plan Puebla III. Para totalização dos tratamentos, utilizou-se uma testemunha, que correspondeu às doses zero de N, Si e K<sub>2</sub>O. As doses foram aplicadas em cobertura e via fertirrigação, mediante sistema de microirrigação por gotejamento, e a ureia, para nitrogênio, e o produto líquido comercial Fertisilício<sup>®</sup> (a base de silicato de potássio), para potássio e silício, foram utilizados como fontes de nutrientes. As mudas foram transplantadas para o solo no espaçamento de 0,20 m x 0,20 m, de maneira a formarem três fileiras de plantio, com 12 plantas cada uma, por parcela experimental, para as quais foram alocadas duas linhas laterais de irrigação, com 12 gotejadores cada uma, espaçadas entre si em 0,20 m. Os gotejadores operaram a uma pressão de 10 m.c.a. e permaneceram espaçados entre si em 0,20 m. No experimento de IP, as maiores doses de N, Si e K<sub>2</sub>O resultaram na maior massa seca comercial da parte aérea. Ainda no período de IP, os acúmulos de magnésio (Mg), cálcio (Ca), potássio (K) e fósforo (P) foram favorecidos com os incrementos na dose de N e na dose de Si e K<sub>2</sub>O, e seus maiores valores foram encontrados nas maiores doses utilizadas. No experimento de O, apenas a maior dose de N resultou nos maiores valores de massa seca comercial da parte aérea e de acúmulos de Mg, K, N e P. Entretanto, os acúmulos de Ca e enxofre (S) foram beneficiados tanto pela fertirrigação com nitrogênio quanto pela fertirrigação com silicato de potássio, com seus maiores valores observados na maior dose de N e na maior dose de Si e K<sub>2</sub>O.

**Palavras-chave:** Cultivo de hortaliça folhosa. Fertilizante solúvel. Gotejamento. Casa de vegetação. Avaliação nutricional.

Dry mass and macronutrient accumulation of lettuce (*Lactuca sativa* L.)  
fertirrigated with nitrogen and potassium silicate  
in protected environment

**ABSTRACT**

The evaluation of the effect of the fertirrigation with nitrogen and potassium silicate upon the shoot commercial dry mass (SCDM) and upon the accumulation of macronutrients in the SCDM of lettuce was the aim of the present work. Therefore, the Vera lettuce cultivar was conducted in two experiments, related to two periods of cultivation, under protected environment: winter and spring (2012) (WS) and autumn (2013) (A). Ten treatments were arranged in a completely randomized design with three replications, whereupon nine treatments resulted from the combination of five doses of nitrogen (N) (9; 54; 90; 126 e 171 kg ha<sup>-1</sup>) with five doses of potassium (potassium oxide - K<sub>2</sub>O) and silicon (Si) (1.15; 6.90; 11.50; 16.10 e 21.85 kg ha<sup>-1</sup>), according to the Plan Puebla III matrix. For totalization of the treatments, it was used a control, which corresponded to the zero doses of N, Si and K<sub>2</sub>O. The doses were applied in topdressing and by fertirrigation, by drip micro-irrigation system, and the urea, for nitrogen, and the commercial liquid product Fertilíicio (potassium silicate based), for potassium and silicon, were used as sources of nutrients. The seedlings were transplanted to the soil at the spacing of 0.20 m x 0.20 m, so as to form three rows of planting, with 12 plants each one, per experimental parcel, for which were allocated two irrigation side lines, with 12 drippers each one, spaced from each other in 0.20 m. The drippers operated at a pressure of 10 m.w.c. and kept spaced from each other in 0.20 m. In the WS experiment, the major doses of N, Si and K<sub>2</sub>O resulted in the highest shoot commercial dry mass. Still in the WS period, the accumulations of magnesium (Mg), calcium (Ca), potassium (K) and phosphorus (P) were favored with the increments in N dose and in Si and K<sub>2</sub>O dose, and their highest values were found in the major doses used. In the A experiment, only the major dose of N resulted in the highest values of shoot commercial dry mass and of accumulations of Mg, K, N and P. However, the accumulations of Ca and sulfur (S) were benefited both by the fertirrigation with nitrogen and by the fertirrigation with potassium silicate, with their highest values observed in the major dose of N and in the major dose of Si and K<sub>2</sub>O.

**Keywords:** Cultivation of leafy vegetable. Soluble fertilizer. Drip. Greenhouse. Nutritional evaluation.

## 2.1 INTRODUÇÃO

A cultura da alface (*Lactuca sativa* L.), que pertence à família botânica *Asteraceae*, é uma opção na olericultura tanto para o produtor que cultiva em ambiente protegido quanto para aquele que cultiva no campo e, comumente, as folhas produzidas são comercializadas e, posteriormente, consumidas cruas, na forma de saladas, que é uma alternativa de alimentação saudável no cardápio do brasileiro. Enquanto que no mundo e em 2011, conforme FAO (2013), a produção estimada de alface e chicória correspondeu a 24.489.059 toneladas, sendo os principais países produtores a China continental, os EUA e a Índia, no Brasil, segundo IBGE (2012), em segunda apuração do Censo Agropecuário de 2006, a produção de alface foi de 576.338 toneladas, sendo os principais produtores os estados de São Paulo, Rio de Janeiro, Minas Gerais, Rio Grande do Sul e Paraná.

Toda produção vegetal na agricultura deve estar associada às tecnologias que permitam maiores produções e qualidade final dos produtos para consumo direto *in natura* ou processamento industrial. Neste sentido, com relação à produção de alface, a utilização de cultivo em ambiente protegido, associada a um sistema de irrigação e às práticas culturais, como a adubação, por exemplo, adequados, pode favorecer essa hortícola folhosa.

Com relação à alface, os benefícios das tecnologias citadas no parágrafo anterior também podem atingir os produtores localizados, conforme Henz e Suinaga (2009), na concentração das zonas produtoras próximas às áreas metropolitanas (“cinturões verdes”), que, segundo estes autores, está relacionada à sua curta vida pós-colheita, assim como, de acordo com Vidigal et al. (1995), à sua alta perecibilidade e baixa resistência ao transporte.

É justificável a busca por tecnologias quando se objetiva aumento de produtividade e redução de riscos, em razão da importância alimentar, custo de produção e elevado valor econômico das hortaliças (MAGGI et al., 2006). A utilização de ambiente protegido pode acarretar em algumas vantagens, tais como, conforme Martins (2008): aumento de produtividade; melhoria na qualidade dos produtos; redução da sazonalidade na oferta; melhor aproveitamento de adubos, defensivos e água; e controle total ou parcial dos fatores climáticos.

Quando se opta pelo cultivo sob ambiente protegido, a irrigação localizada por gotejamento é uma alternativa (ANDRADE JÚNIOR; KLAR, 1997). A economia de água e aumento da eficiência de irrigação, o favorecimento da utilização da fertirrigação e alta

eficiência no aproveitamento de nutrientes e a redução dos problemas fitossanitários são algumas das vantagens oferecidas pela irrigação por gotejamento (FILGUEIRA, 2008).

O procedimento de dissolver certos fertilizantes na água de irrigação representa a fertirrigação (FILGUEIRA, 2008), cuja importância deriva-se do aumento do uso do gotejamento e está relacionada ao aumento de produtividade e redução do custo de produção, sendo que os nutrientes mais utilizados são os de maior mobilidade no solo, como o nitrogênio e o potássio (CARRIJO et al., 2004).

A adequação no fornecimento de nitrogênio resulta em favorecimento do crescimento vegetativo, expansão da área fotossinteticamente ativa e elevação do potencial produtivo da cultura, e a realização de uma adubação potássica adequada em oleráceas acarreta em vantagens, como o favorecimento da formação e translocação de carboidratos, um uso eficiente de água e a melhoria da qualidade do produto (FILGUEIRA, 2008).

Cultivos consecutivos reduzem a quantidade de silício no solo de maneira a haver necessidade de realização de adubação com este elemento e, quando se pratica a fertirrigação, a utilização de silicatos solúveis é uma opção promissora (REIS et al., 2007). Fortalecimento da estrutura do vegetal, aumento na resistência ao acamamento e ao ataque de pragas e doenças, redução da transpiração e amenização dos estresses hídrico e salino são resultados do depósito de silício no mesmo (RODRIGUES et al., 2011) e, além disto, a contribuição deste elemento na obtenção de folhas mais eretas pode acarretar em maior eficiência fotossintética (PEREIRA; VITTI; KORNDORFER, 2003). A composição mineral, como o conteúdo de nitrogênio, fósforo e outros elementos, pode ser influenciada pelo silício, constituindo-se em exemplo de atuação deste elemento (EPSTEIN; BLOOM, 2006).

A acumulação de macronutrientes seguiu a produção de matéria seca, em linhas gerais, mediante estudo realizado com alface, que foi relatado por Garcia et al. (1982), e, de acordo com Beninni, Takahashi e Neves (2005), entre o acúmulo de nutrientes e o de matéria seca ocorre relação direta, quando há cultivo de alface em sistema convencional (solo), e, neste caso, a ordem de acúmulo de macronutrientes pela parte aérea é  $K > N > Ca > P > S > Mg$ .

O objetivo do presente trabalho foi avaliar a resposta de alface crespa, cultivar Vera, cultivada sob ambiente protegido, quanto à massa seca comercial da parte aérea e ao acúmulo de macronutrientes na mesma, em função da fertirrigação por gotejamento, em cobertura, com nitrogênio e silicato de potássio.

## 2.2 MATERIAL E MÉTODOS

O material e os métodos referentes a este capítulo são os mesmos descritos no item 1.2 (MATERIAL E MÉTODOS) do Capítulo 1, com exceção das características avaliadas, que foram massa seca comercial da parte aérea (MSCPA; g por planta) e acúmulo de magnésio (Mg), cálcio (Ca), potássio (K), nitrogênio (N), fósforo (P) e enxofre (S) (macronutrientes) (mg por planta) na MSCPA.

Após a obtenção da massa fresca comercial da parte aérea (MFCPA) e o desfolhamento de planta para determinação do número de folhas comerciais (NFC), os materiais frescos provenientes das plantas úteis de cada parcela experimental foram colocados para secar, em estufa a 65 °C até peso constante. Posteriormente, uma balança digital foi utilizada para obtenção da MSCPA, cujas médias dos tratamentos e suas respectivas repetições, em g por planta, foram utilizadas nas análises estatísticas.

Amostras de MSCPA, das plantas úteis de cada parcela experimental, foram enviadas a um laboratório para determinação do teor de cada macronutriente na MSCPA. O acúmulo do macronutriente foi obtido pelo produto entre a MSCPA e o teor do macronutriente na MSCPA, e os valores obtidos para os tratamentos e suas respectivas repetições, em mg por planta, foram utilizados nas análises estatísticas.

As análises estatísticas empregadas neste capítulo também foram as mesmas utilizadas no Capítulo 1, com a avaliação individual dos experimentos. Entretanto, no experimento de inverno e primavera (2012) e para a característica acúmulo de Mg na massa seca comercial da parte aérea, foi necessária a exclusão do valor correspondente ao tratamento N4 Si e K4 e repetição 3, que foi discrepante em relação aos valores das outras repetições do mesmo tratamento, sendo realizada, neste caso, uma análise estatística de um delineamento inteiramente casualizado não balanceado.

## 2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 2.3.1 Massa seca comercial da parte aérea

Os resultados de estatísticas descritivas para massa seca comercial da parte aérea, nos períodos experimentais de inverno e primavera (2012) e de outono (2013), podem ser observados nas Tabelas 1 e 2, respectivamente.

Tabela 1. Estatísticas descritivas para massa seca comercial da parte aérea (MSCPA) e acúmulos de magnésio (Mg) e cálcio (Ca) na MSCPA de alface Vera, no período de inverno e primavera (2012), Maringá, PR

Estatísticas	Característica		
	MSCPA	Mg	Ca
	g por planta	mg por planta	
Mínimo	5,94	11,76	105,98
Máximo	11,84	34,34	304,03
Desvio padrão	1,41	5,45	46,81
Média geral	8,81	23,52	185,82
C.V. 1 (%)	16,01	23,15	25,19
C.V. 2 (%) <sup>*</sup>	10,44	20,32	22,68

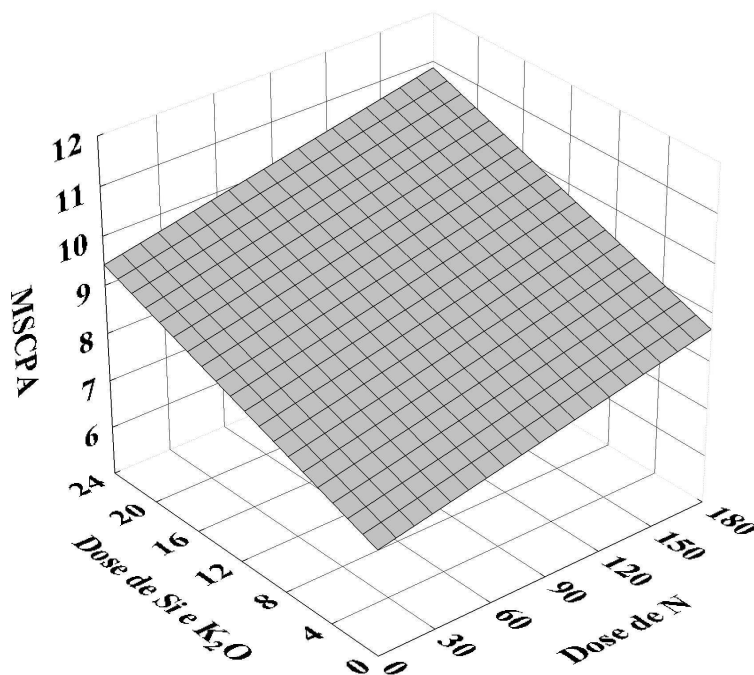
<sup>\*</sup> Coeficiente de variação do experimento em que  $s=(QMR)^{(1/2)}$ , sendo “s” o desvio padrão e “QMR” o quadrado médio do resíduo.

No experimento de inverno e primavera, o modelo estatístico selecionado para massa seca comercial da parte aérea foi o número oito, que apontou influência significativa da fertirrigação com nitrogênio e da fertirrigação com silicato de potássio sobre essa característica. De acordo com este modelo, os aumentos na dose de N e na dose de Si e K<sub>2</sub>O proporcionaram incremento na massa seca comercial da parte aérea, com obtenção da maior resposta (10,60 g por planta) na maior dose de N (171 kg ha<sup>-1</sup>) e na maior dose de Si e K<sub>2</sub>O (21,85 kg ha<sup>-1</sup>). A maior variação de massa seca comercial da parte aérea, entre a dose zero e a maior dose, ocorreu mediante a fertirrigação com silicato de potássio (Figura 1).

Tabela 2. Estatísticas descritivas para massa seca comercial da parte aérea (MSCPA) e acúmulos de magnésio (Mg) e cálcio (Ca) na MSCPA de alface Vera, no período de outono (2013), Maringá, PR

Estatísticas	Característica		
	MSCPA	Mg	Ca
	g por planta	mg planta	
Mínimo	2,57	11,90	96,98
Máximo	7,42	36,94	277,70
Desvio padrão	1,34	7,44	45,97
Média geral	4,28	22,72	172,65
C.V. 1 (%)	31,21	32,73	26,62
C.V. 2 (%)*	21,24	24,64	21,52

\*Coeficiente de variação do experimento em que  $s=(QMR)^{(1/2)}$ , sendo “s” o desvio padrão e “QMR” o quadrado médio do resíduo.



$$MSCPA=7,2065+8,0567.10^{-3}*(N)+9,2162.10^{-2}*(Si \text{ e } K_2O)$$

$$R_{aj}^2=0,5966$$

Figura 1. Massa seca comercial da parte aérea (MSCPA) (g por planta) de alface Vera, em função de doses de N ( $kg\ ha^{-1}$ ) e de Si e  $K_2O$  ( $kg\ ha^{-1}$ ), no período de inverno e primavera (2012), Maringá, PR. \*Significativo pelo teste t de Student ( $p<0,05$ ); <sup>(a)</sup> Coeficiente de determinação ajustado.



No experimento de outono, apenas a fertirrigação com nitrogênio influenciou significativamente a massa seca comercial da parte aérea, com base no modelo estatístico 11 selecionado para essa característica, cuja resposta foi linear crescente conforme houve acréscimo na dose de nitrogênio. O aumento de 25 kg N ha<sup>-1</sup> proporcionou um acréscimo de 0,49 g por planta na massa seca comercial da parte aérea, com sua maior resposta (6,04 g por planta) na maior dose de N (171 kg ha<sup>-1</sup>) (Figura 2).

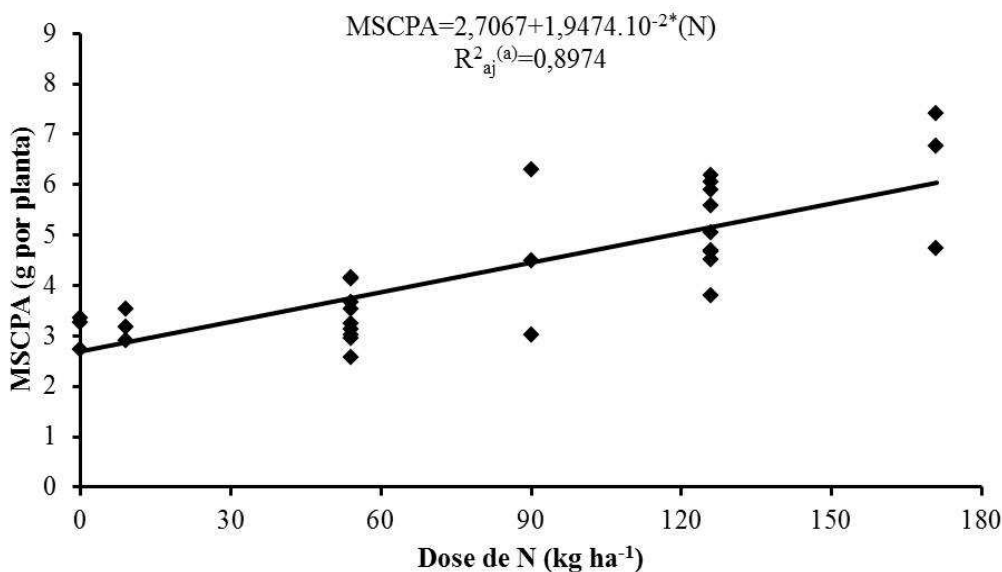


Figura 2. Massa seca comercial da parte aérea (MSCPA) de alface Vera, em função de doses de N, no período de outono (2013), Maringá, PR. \*Significativo pelo teste t de Student ( $p < 0,05$ ); <sup>(a)</sup> Coeficiente de determinação ajustado.

### 2.3.2 Acúmulo de magnésio (Mg)

Nas Tabelas 1 (inverno e primavera de 2012) e 2 (outono de 2013), são apresentadas algumas estatísticas descritivas determinadas para acúmulo de Mg na massa seca comercial da parte aérea. Na análise de regressão realizada para o experimento de inverno e primavera, os modelos estatísticos 11 (Figura 3) e 12 (Figura 4) foram selecionados para essa característica. A fertirrigação com nitrogênio (Figura 3) e a fertirrigação com silicato de potássio (Figura 4) influenciaram de modo significativo essa variável resposta, de maneira que os aumentos nas doses causaram respostas lineares crescentes no acúmulo de Mg.

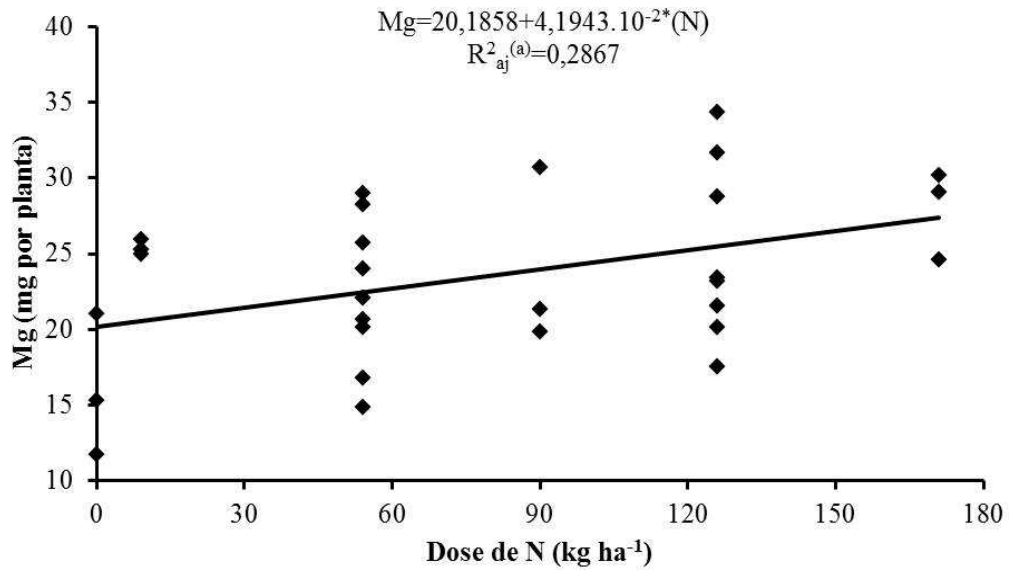


Figura 3. Acúmulo de magnésio (Mg) na massa seca comercial da parte aérea de alface Vera, em função de doses de nitrogênio, no período de inverno e primavera do ano de 2012, Maringá, PR. \*Significativo pelo teste t de Student ( $p<0,05$ ); <sup>(a)</sup> Coeficiente de determinação ajustado.

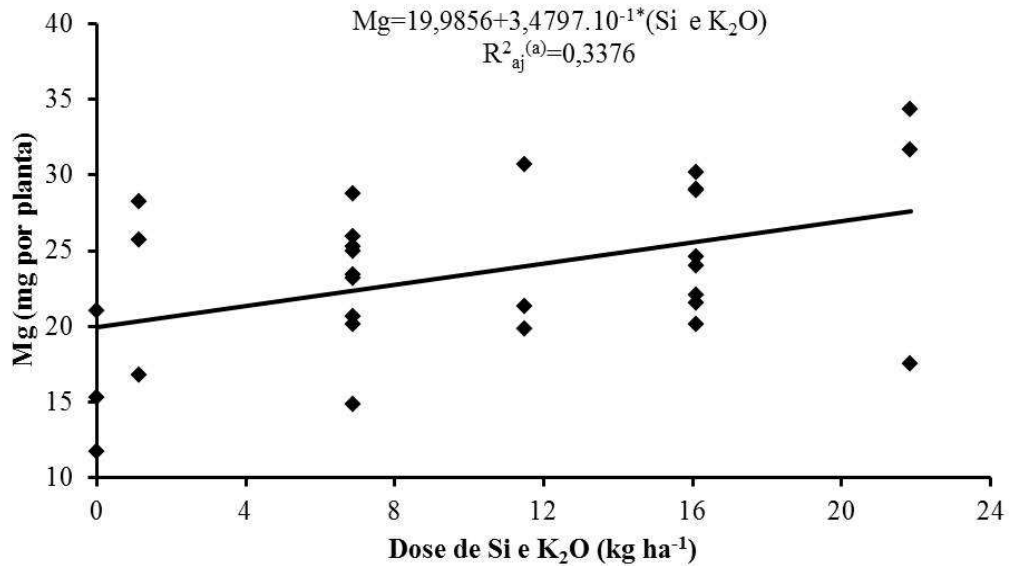


Figura 4. Acúmulo de magnésio (Mg) na massa seca comercial da parte aérea de alface Vera, em função de doses de Si e K<sub>2</sub>O, no período de inverno e primavera do ano de 2012, Maringá, PR. \*Significativo pelo teste t de Student ( $p<0,05$ ); <sup>(a)</sup> Coeficiente de determinação ajustado.

O acréscimo de 25 kg N ha<sup>-1</sup> resultou em um aumento de 1,05 mg por planta no acúmulo de magnésio (Figura 3), enquanto que a adição de 2,5 kg ha<sup>-1</sup> à dose de Si e K<sub>2</sub>O proporcionou um aumento de 0,87 mg por planta nessa característica (Figura 4). Os maiores acúmulos de magnésio ocorreram com a maior dose de N (171 kg ha<sup>-1</sup>; 27,36 mg Mg por planta) (Figura 3) e com a maior dose de Si e K<sub>2</sub>O (21,85 kg ha<sup>-1</sup>; 27,59 mg Mg por planta) (Figura 4).

Na análise de regressão realizada para o experimento de outono, selecionou-se o modelo estatístico 11, que apontou apenas influência significativa da fertirrigação com nitrogênio sobre o acúmulo de Mg na massa seca comercial da parte aérea. Este respondeu de modo linear crescente ao aumento na dose de N. O acréscimo de 25 kg ha<sup>-1</sup> à dose de N resultou em um incremento de 2,52 mg por planta no acúmulo de Mg e sua maior resposta (31,78 mg Mg por planta) ocorreu na maior dose de N (171 kg ha<sup>-1</sup>) (Figura 5).

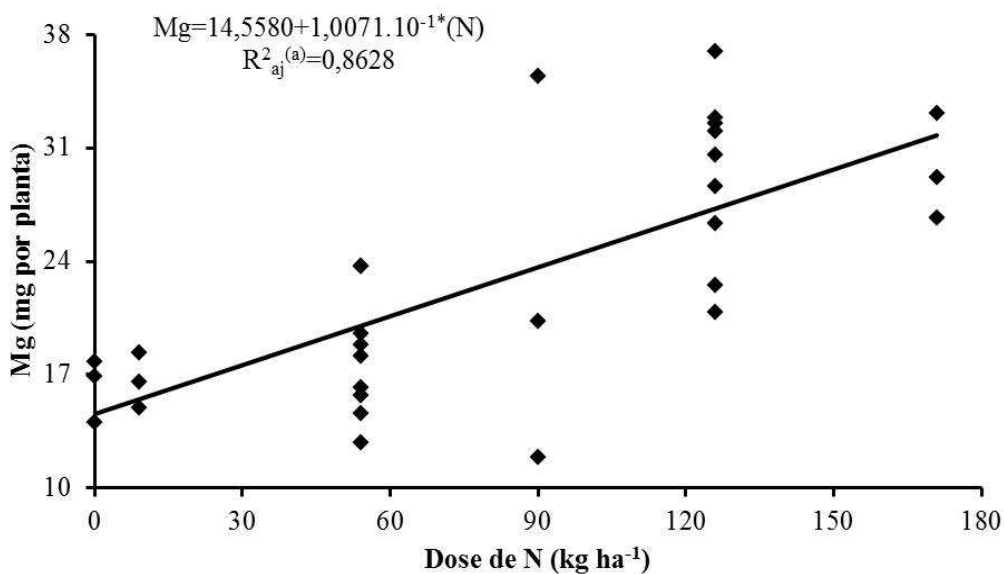


Figura 5. Acúmulo de magnésio (Mg) na massa seca comercial da parte aérea de alface Vera, em função de doses de N, no período experimental de outono do ano de 2013, Maringá, PR. \*Significativo pelo teste t de Student (p<0,05); <sup>(a)</sup> Coeficiente de determinação ajustado.

### 2.3.3 Acúmulo de cálcio (Ca)

Algumas estatísticas descritivas quanto ao acúmulo de cálcio na massa seca comercial da parte aérea podem ser observadas na Tabela 1, para o período experimental de inverno e primavera, e na Tabela 2, para o período experimental de outono. No experimento de inverno e primavera, foram selecionados os modelos estatísticos de números 11 e 12 para essa característica, que, nos respectivos casos, respondeu de maneira linear crescente ao acréscimo na dose de N e na dose de Si e K<sub>2</sub>O. Com estes resultados, foi possível observar influência significativa da fertirrigação com nitrogênio e da fertirrigação com silicato de potássio sobre o acúmulo de Ca (Figuras 6 e 7).

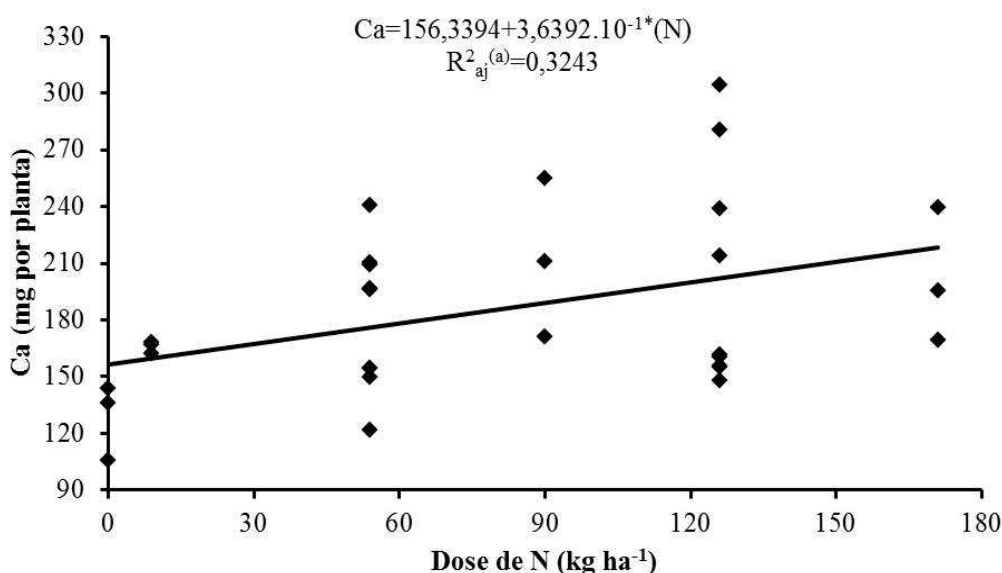


Figura 6. Acúmulo de cálcio (Ca) na massa seca comercial da parte aérea de alface Vera, em função de doses de N, no período experimental de inverno e primavera do ano de 2012, Maringá, PR. \*Significativo pelo teste t de Student ( $p < 0,05$ ); <sup>(a)</sup> Coeficiente de determinação ajustado.

A adição de 25 kg N ha<sup>-1</sup> resultou em um incremento de 9,10 mg por planta no acúmulo de Ca, com seu maior valor (218,57 mg Ca por planta) observado na maior dose de N (171 kg ha<sup>-1</sup>) (Figura 6). Por sua vez, o acréscimo de 2,5 kg Si e K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> proporcionou um aumento de 7,94 mg Ca por planta, com a maior resposta (222,34 mg Ca por planta) na maior dose de Si e K<sub>2</sub>O (21,85 kg ha<sup>-1</sup>) (Figura 7).

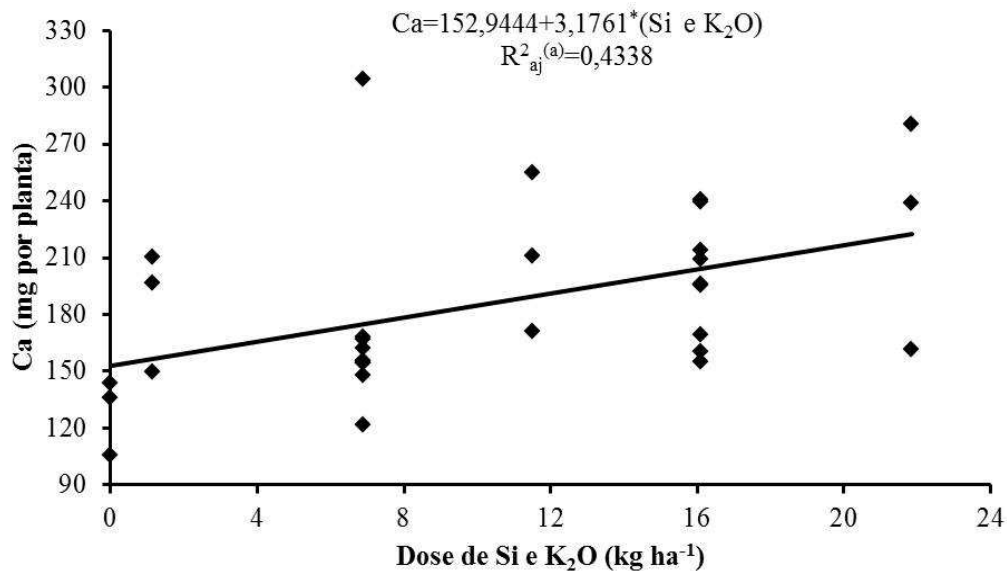


Figura 7. Acúmulo de cálcio (Ca) na massa seca comercial da parte aérea de alface Vera, em função de doses de Si e K<sub>2</sub>O, no período experimental de inverno e primavera do ano de 2012, Maringá, PR. \*Significativo pelo teste t de Student (p<0,05); <sup>(a)</sup> Coeficiente de determinação ajustado.

Assim como no experimento de inverno e primavera, no experimento de outono, os modelos estatísticos de números 11 e 12 foram selecionados para acúmulo de Ca na massa seca comercial da parte aérea, que indicaram respostas lineares crescentes dessa característica com os aumentos na dose de N e na dose de Si e K<sub>2</sub>O, respectivamente. Isto significa que tanto a fertirrigação com nitrogênio quanto a fertirrigação com silicato de potássio influenciaram de maneira significativa o acúmulo de Ca (Figuras 8 e 9).

O acréscimo de 25 kg N ha<sup>-1</sup> resultou em um incremento de 14,53 mg Ca por planta (Figura 8), enquanto que a adição de 2,5 kg Si e K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> proporcionou um aumento de 8,08 mg Ca por planta (Figura 9). As maiores respostas de acúmulo de Ca foram observadas na maior dose de N (171 kg ha<sup>-1</sup>; 224,97 mg Ca por planta) (Figura 8) e na maior dose de Si e K<sub>2</sub>O (21,85 kg ha<sup>-1</sup>; 209,80 mg Ca por planta) (Figura 9).

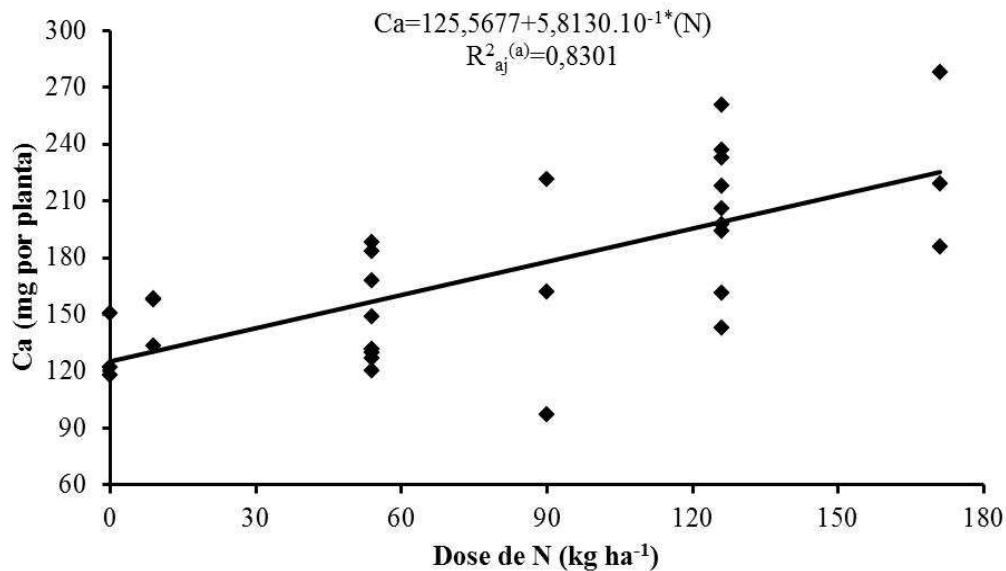


Figura 8. Acúmulo de cálcio (Ca) na massa seca comercial da parte aérea de alface Vera, em função de doses de N, no período experimental de outono do ano de 2013, Maringá, PR. \*Significativo pelo teste t de Student ( $p < 0,05$ ); <sup>(a)</sup> Coeficiente de determinação ajustado.

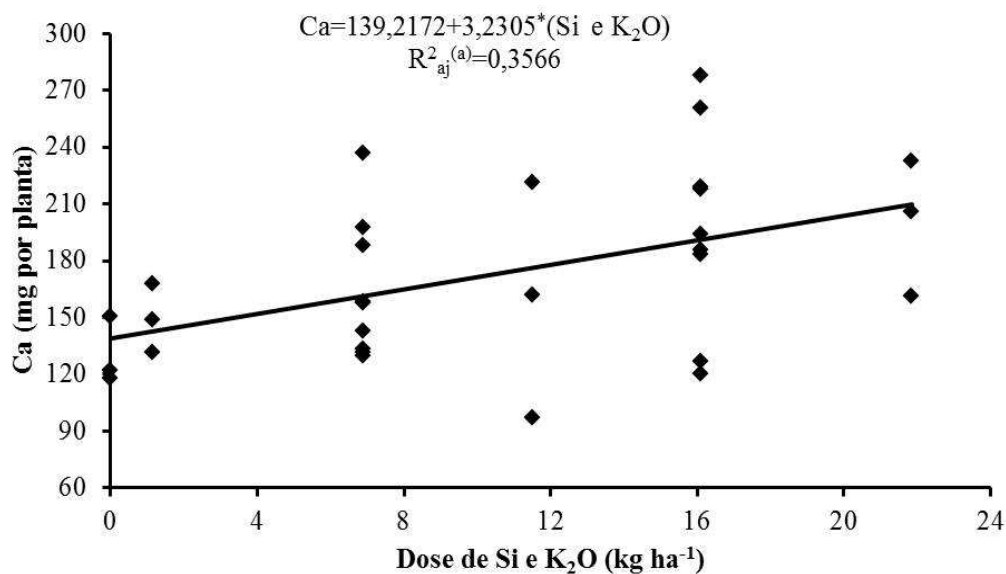


Figura 9. Acúmulo de cálcio (Ca) na massa seca comercial da parte aérea de alface Vera, em função de doses de Si e K<sub>2</sub>O, no período experimental de outono do ano de 2013, Maringá, PR. \*Significativo pelo teste t de Student ( $p < 0,05$ ); <sup>(a)</sup> Coeficiente de determinação ajustado.

### 2.3.4 Acúmulo de potássio (K)

As estatísticas descritivas referentes ao acúmulo de potássio na massa seca comercial da parte aérea, conforme os experimentos avaliados, encontram-se nas Tabelas 3 e 4. Mediante análise de regressão, no experimento de inverno e primavera, os modelos estatísticos 11 e 12 foram selecionados para essa variável resposta, que, nos respectivos casos, respondeu de maneira linear crescente aos acréscimos na dose de N e na dose de Si e K<sub>2</sub>O (Figuras 10 e 11). No experimento de outono, selecionou-se o modelo estatístico 11 para acúmulo de K, isto é, apenas a fertirrigação com nitrogênio influenciou significativamente essa característica, cuja resposta foi linear crescente conforme houve aumento na dose de N (Figura 12).

Tabela 3. Estatísticas descritivas para acúmulos de potássio (K), nitrogênio (N), fósforo (P) e enxofre (S) na massa seca comercial da parte aérea de alface Vera, no período de inverno e primavera (2012), Maringá, PR

Estatísticas	Característica			
	K	N	P	S
	mg por planta			
Mínimo	109,67	129,85	11,00	6,65
Máximo	243,90	425,15	48,08	17,74
Desvio padrão	30,67	68,89	7,44	2,28
Média geral	168,05	286,72	27,51	10,91
C.V. 1 (%)	18,25	24,03	27,05	20,89
C.V. 2 (%)*	14,93	15,36	23,48	21,13

\*Coeficiente de variação do experimento em que  $s=(QMR)^{(1/2)}$ , sendo “s” o desvio padrão e “QMR” o quadrado médio do resíduo.

No experimento de inverno e primavera, a adição de 25 kg ha<sup>-1</sup> à dose de N resultou em um aumento de 4,66 mg por planta no acúmulo de K, e sua maior resposta (184,83 mg K por planta) foi observada na maior dose de N (171 kg ha<sup>-1</sup>) (Figura 10). Por sua vez, o acréscimo de 2,5 kg ha<sup>-1</sup> à dose de Si e K<sub>2</sub>O proporcionou um incremento de 5,87 mg por planta no acúmulo de K, com sua maior resposta (195,04 mg K por planta) na maior dose de Si e K<sub>2</sub>O (21,85 kg ha<sup>-1</sup>) (Figura 11).

Tabela 4. Estatísticas descritivas para acúmulos de potássio (K), nitrogênio (N), fósforo (P) e enxofre (S) na massa seca comercial da parte aérea de alface Vera, no período de outono (2013), Maringá, PR

Estatísticas	Característica			
	K	N	P	S
	mg por planta			
Mínimo	53,51	84,72	5,97	2,62
Máximo	138,02	270,35	20,25	11,27
Desvio padrão	23,71	56,68	3,98	2,26
Média geral	83,95	163,92	12,16	6,16
C.V. 1 (%)	28,24	34,58	32,73	36,62
C.V. 2 (%) <sup>*</sup>	17,66	20,55	22,68	31,51

<sup>\*</sup>Coeficiente de variação do experimento em que  $s=(QMR)^{(1/2)}$ , sendo “s” o desvio padrão e “QMR” o quadrado médio do resíduo.

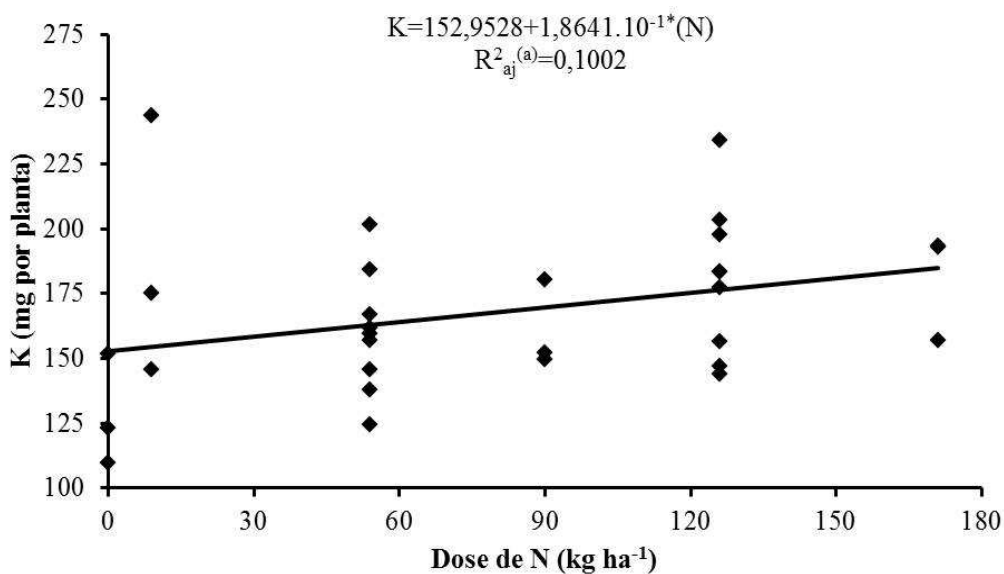


Figura 10. Acúmulo de potássio (K) na massa seca comercial da parte aérea de alface Vera, em função de doses de N, no período de inverno e primavera (2012), Maringá, PR. <sup>\*</sup>Significativo pelo teste t de Student ( $p<0,05$ ); <sup>(a)</sup> Coeficiente de determinação ajustado.



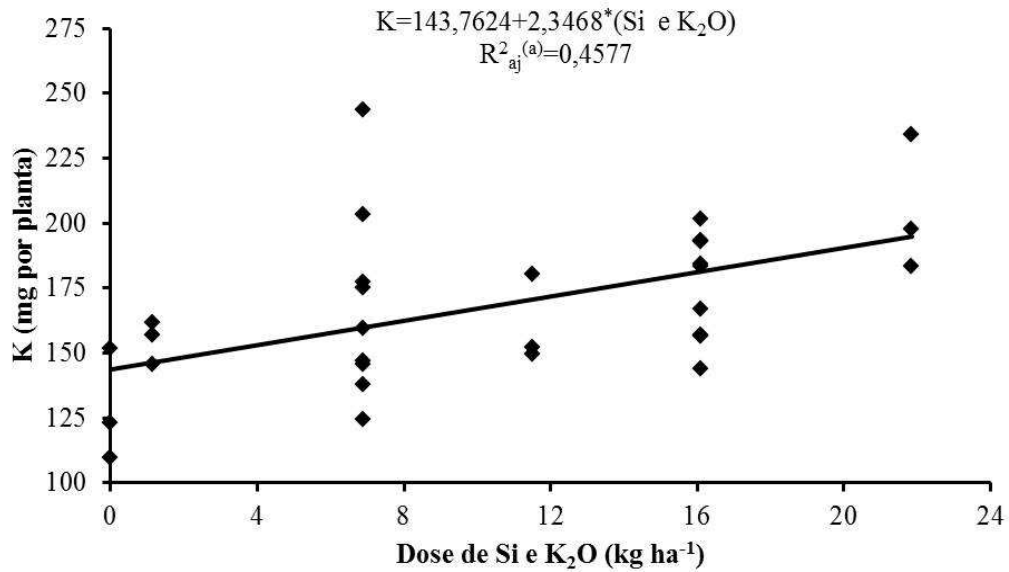


Figura 11. Acúmulo de potássio (K) na massa seca comercial da parte aérea de alface Vera, em função de doses de Si e K<sub>2</sub>O, no período de inverno e primavera do ano de 2012, Maringá, PR. \*Significativo pelo teste t de Student (p<0,05); <sup>(a)</sup> Coeficiente de determinação ajustado.

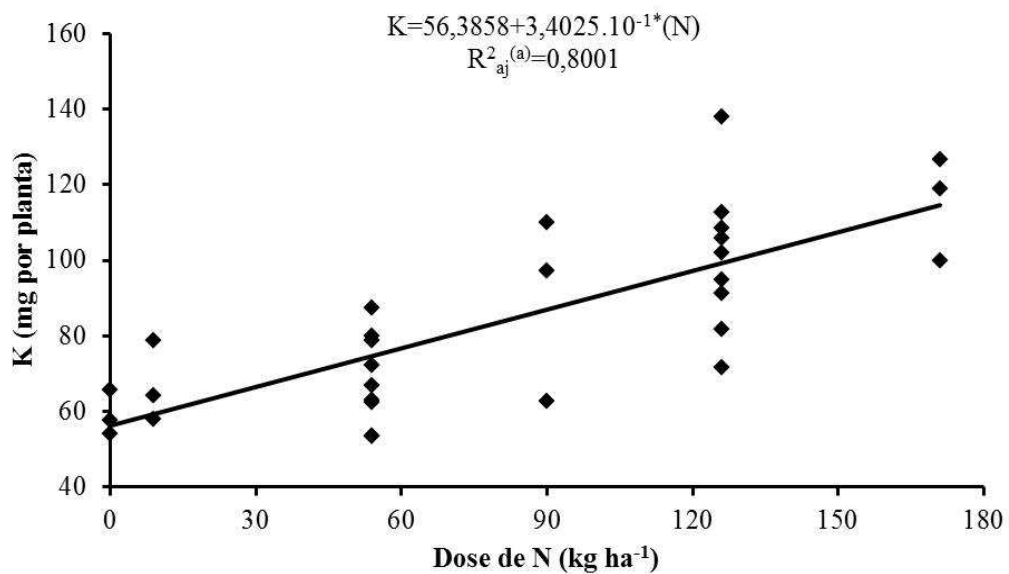


Figura 12. Acúmulo de potássio (K) na massa seca comercial da parte aérea de alface Vera, em função de doses de N, no período experimental de outono do ano de 2013, Maringá, PR. \*Significativo pelo teste t de Student (p<0,05); <sup>(a)</sup> Coeficiente de determinação ajustado.

Com relação ao experimento de outono, o aumento de 25 kg ha<sup>-1</sup> à dose de N resultou em um acréscimo de 8,51 mg por planta no acúmulo de K, e a maior resposta para essa característica (114,57 mg K por planta) foi observada na maior dose de N (171 kg ha<sup>-1</sup>) (Figura 12).

### **2.3.5 Acúmulo de nitrogênio (N)**

Nas Tabelas 3 e 4, são apresentadas as estatísticas descritivas referentes ao acúmulo de nitrogênio na massa seca comercial da parte aérea, para os períodos experimentais de inverno e primavera e de outono, respectivamente.

Nenhum modelo estatístico foi selecionado para acúmulo de N, no experimento de inverno e primavera, entretanto, com base no teste de Tukey, constatou-se diferença significativa entre médias de tratamentos para essa variável resposta. Neste caso, foi possível observar superioridade dos tratamentos N4 Si e K5 (354,33 mg N por planta) e N5 Si e K4 (354,86 mg N por planta), que apresentaram os maiores valores numéricos de médias e que são resultantes da combinação das maiores doses de N e de Si e K<sub>2</sub>O, em relação à testemunha (175,31 mg N por planta), que não recebeu fertirrigação. As médias dos tratamentos N4 Si e K5 e N5 Si e K4 foram 102,12% e 102,42% superiores à testemunha, respectivamente (Tabela 5).

Para o experimento de outono, selecionou-se o modelo estatístico 11, que indicou influência significativa da fertirrigação com nitrogênio sobre o acúmulo de N na massa seca comercial da parte aérea. Essa característica respondeu de modo linear crescente ao aumento na dose de N. O acréscimo de 25 kg N ha<sup>-1</sup> proporcionou um incremento de 21,15 mg por planta no acúmulo de N, cujo maior valor (240,06 mg N por planta) foi observado na maior dose de N (171 kg ha<sup>-1</sup>) (Figura 13).

Tabela 5. Teste de médias de Tukey para acúmulos de nitrogênio (N) e enxofre (S) na massa seca comercial da parte aérea de alface Vera, no período de inverno e primavera (2012), Maringá, PR

Tratamentos	N	S
	mg por planta	
N2 Si e K2	248,55ab	11,71a
N2 Si e K4	251,18ab	10,07a
N4 Si e K2	352,96a	11,14a
N4 Si e K4	307,14a	10,28a
N3 Si e K3	253,09ab	11,47a
N1 Si e K2	321,30a	12,42a
N2 Si e K1	248,54ab	8,68a
N5 Si e K4	354,86a	12,23a
N4 Si e K5	354,33a	11,86a
TESTEMUNHA	175,31b	9,25a

Médias seguidas das mesmas letras minúsculas na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade.

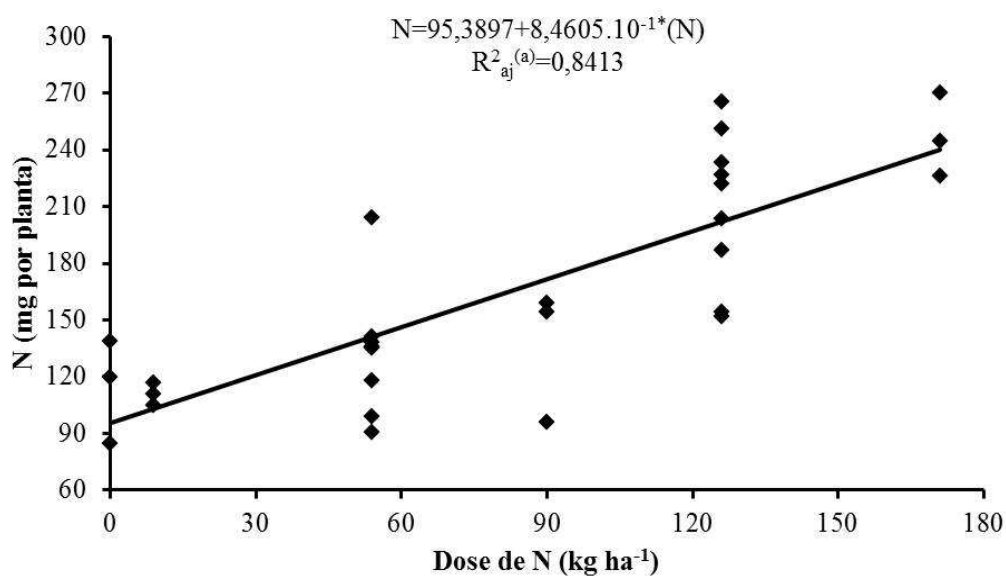


Figura 13. Acúmulo de nitrogênio (N) na massa seca comercial da parte aérea de alface Vera, em função de doses de N, no período experimental de outono do ano de 2013, Maringá, PR. \* Significativo pelo teste t de Student ( $p < 0,05$ ); <sup>(a)</sup> Coeficiente de determinação ajustado.

### 2.3.6 Acúmulo de fósforo (P)

As estatísticas descritivas determinadas para acúmulo de fósforo na massa seca comercial da parte aérea podem ser observadas na Tabela 3 (inverno e primavera de 2012) e na Tabela 4 (outono de 2013). Na análise de regressão, para o experimento de inverno e primavera, os modelos estatísticos de números 11 e 12 foram selecionados para essa variável resposta e indicaram que a fertirrigação com nitrogênio e a fertirrigação com silicato de potássio influenciaram de modo significativo o acúmulo de P. Nos respectivos modelos estatísticos, a resposta dessa característica foi linear crescente em função dos aumentos nas doses de N e de Si e K<sub>2</sub>O (Figuras 14 e 15).

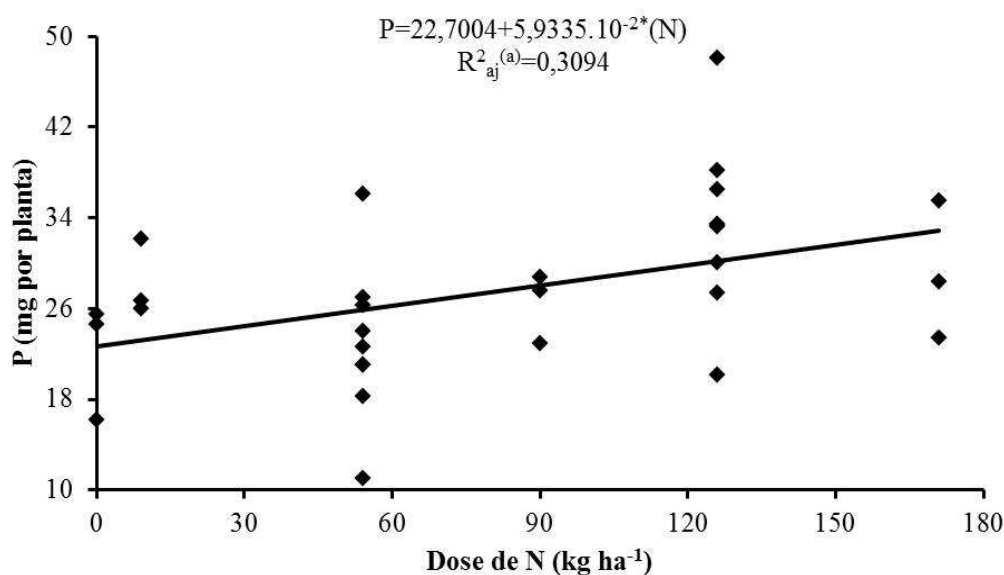


Figura 14. Acúmulo de fósforo (P) na massa seca comercial da parte aérea de alface Vera, em função de doses de N, no período de inverno e primavera do ano de 2012, Maringá, PR. \* Significativo pelo teste t de Student ( $p < 0,05$ ); <sup>(a)</sup> Coeficiente de determinação ajustado.

A adição de 25 kg ha<sup>-1</sup> à dose de N resultou em um incremento de 1,48 mg P por planta, com obtenção da maior resposta (32,85 mg P por planta) na maior dose de N (171 kg ha<sup>-1</sup>) (Figura 14), enquanto que o acréscimo de 2,5 kg ha<sup>-1</sup> à dose de Si e K<sub>2</sub>O proporcionou aumento de 1,41 mg P por planta, e seu maior valor (34,01 mg P por planta) foi observado na maior dose de Si e K<sub>2</sub>O (21,85 kg ha<sup>-1</sup>) (Figura 15).

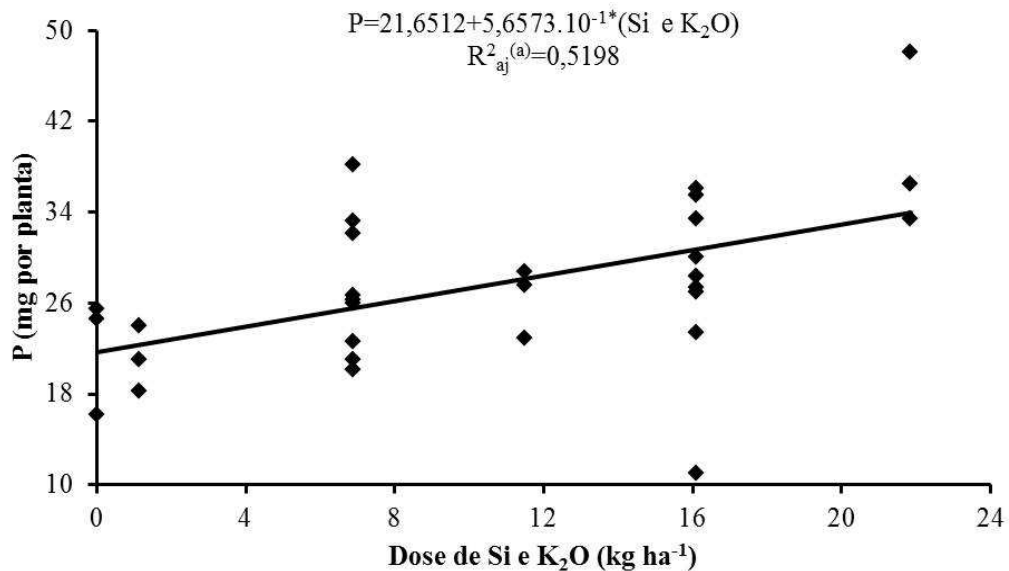


Figura 15. Acúmulo de fósforo (P) na massa seca comercial da parte aérea de alfaca Vera, em função de doses de Si e K<sub>2</sub>O, no período de inverno e primavera do ano de 2012, Maringá, PR. \*Significativo pelo teste t de Student (p<0,05); <sup>(a)</sup> Coeficiente de determinação ajustado.

No experimento de outono, o acúmulo de P na massa seca comercial da parte aérea respondeu de modo linear crescente ao aumento na dose de N, conforme o modelo estatístico 11 selecionado para essa característica, pelo qual foi possível observar influência significativa apenas da fertirrigação com nitrogênio sobre o acúmulo de P. O acréscimo de 25 kg N ha<sup>-1</sup> resultou em um incremento de 1,36 mg P por planta, e a maior resposta (17,06 mg P por planta) ocorreu com a maior dose de N (171 kg ha<sup>-1</sup>) (Figura 16).

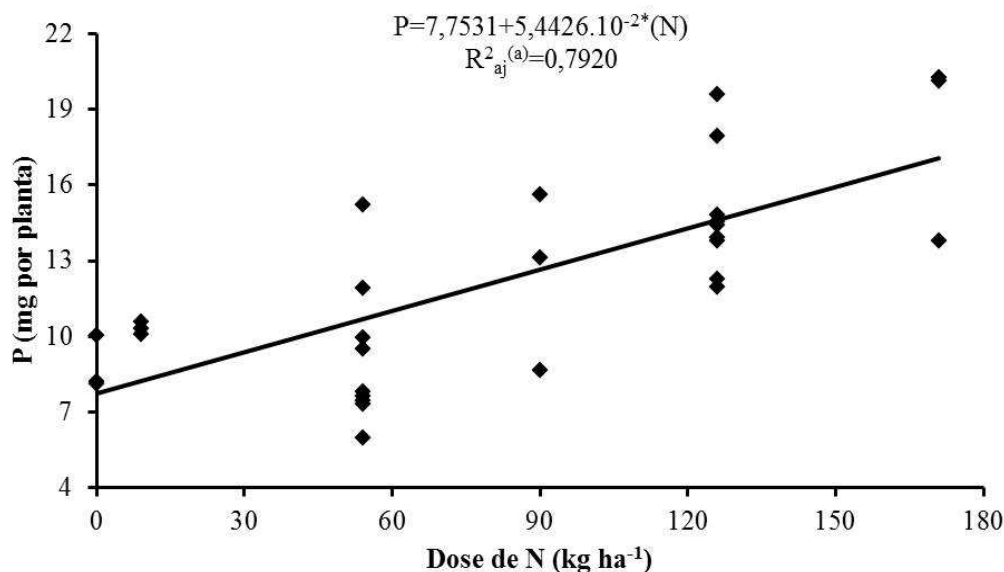


Figura 16. Acúmulo de fósforo (P) na massa seca comercial da parte aérea de alface Vera, em função de doses de N, no período experimental de outono do ano de 2013, Maringá, PR. \*Significativo pelo teste t de Student ( $p < 0,05$ ); <sup>(a)</sup> Coeficiente de determinação ajustado.

### 2.3.7 Acúmulo de enxofre (S)

Para acúmulo de S na massa seca comercial da parte aérea de alface Vera, de acordo com os respectivos experimentos avaliados, algumas estatísticas descritivas podem ser encontradas nas Tabelas 3 e 4. Nenhum modelo estatístico foi selecionado para essa característica no experimento de inverno e primavera e a ausência de efeito significativo dos tratamentos confirmou-se com os resultados do Teste de Tukey, em que as médias dos tratamentos não diferiram estatisticamente e de modo significativo entre si (Tabela 5).

No período de outono, foram selecionados os modelos estatísticos de números 11 e 12 para acúmulo de S, cuja resposta ocorreu de maneira linear crescente em função dos aumentos na dose de N e na dose de Si e K<sub>2</sub>O, respectivamente (Figuras 17 e 18). O acréscimo de 25 kg ha<sup>-1</sup> à dose de N resultou em um incremento de 0,64 mg por planta nessa característica e a sua maior resposta (8,47 mg S por planta) ocorreu com a maior dose de N (171 kg ha<sup>-1</sup>) (Figura 17). Por sua vez, a adição de 2,5 kg ha<sup>-1</sup> à dose de Si e K<sub>2</sub>O proporcionou um aumento de 0,40 mg S por planta, com obtenção do maior valor (8,02 mg S por planta) na maior dose de Si e K<sub>2</sub>O (21,85 kg ha<sup>-1</sup>) (Figura 18).

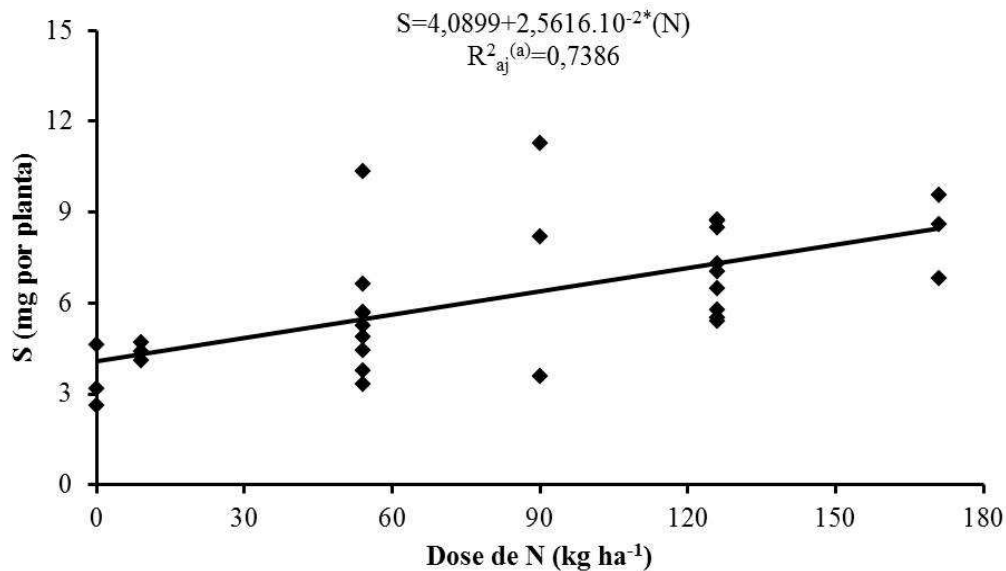


Figura 17. Acúmulo de enxofre (S) na massa seca comercial da parte aérea de alfaca Vera, em função de doses de N, no período experimental de outono do ano de 2013, Maringá, PR. \*Significativo pelo teste t de Student ( $p < 0,05$ ); <sup>(a)</sup> Coeficiente de determinação ajustado.

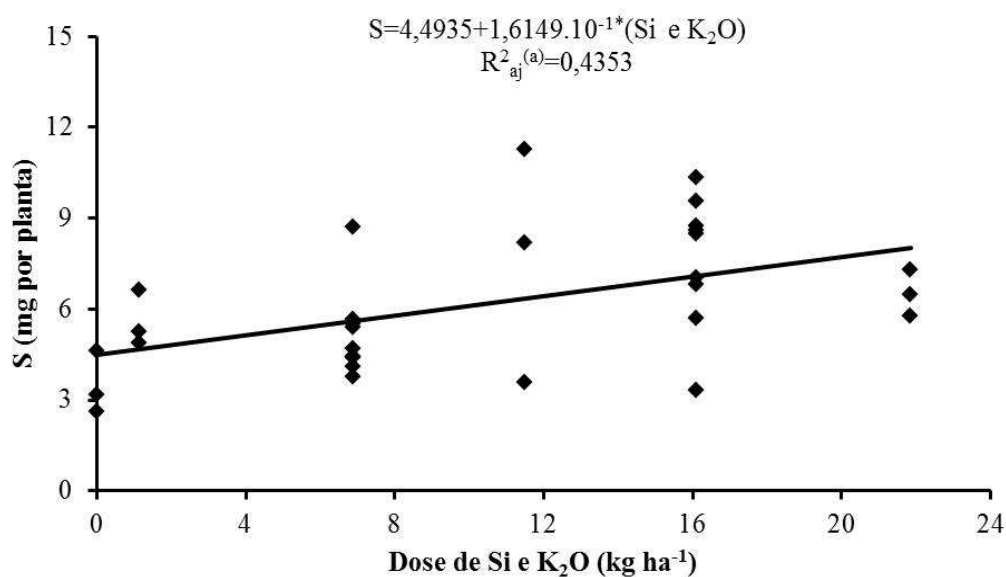


Figura 18. Acúmulo de enxofre (S) na massa seca comercial da parte aérea de alfaca Vera, em função de doses de Si e K<sub>2</sub>O, no período experimental de outono do ano de 2013, Maringá, PR. \*Significativo pelo teste t de Student ( $p < 0,05$ ); <sup>(a)</sup> Coeficiente de determinação ajustado.

### 2.3.8 Discussão geral dos resultados

Com base nos resultados expostos anteriormente, do item 2.3.1 ao item 2.3.7, apresenta-se a discussão geral dos mesmos a seguir.

Na avaliação da acumulação de nutrientes, em estudo apresentado por Garcia et al. (1982), cujo experimento foi realizado com alface, estes autores concluíram que essa característica acompanhou, em linhas gerais, a produção de matéria seca. Por sua vez, no estudo realizado por Beninni, Takahashi e Neves (2005), com cultivo de alface em sistemas hidropônico e convencional (solo), estes autores constataram que, em ambos os casos, o acúmulo de nutrientes se relaciona de maneira direta ao acúmulo de matéria seca.

No presente trabalho, para o experimento de inverno e primavera, provavelmente, o aumento de massa seca comercial da parte aérea, proporcionado pela fertirrigação com nitrogênio e pela fertirrigação com silicato de potássio (Figura 1), esteve relacionado ao aumento do acúmulo de macronutrientes. Há concordância com Garcia et al. (1982) e Beninni, Takahashi e Neves (2005) devido à possibilidade de existência dessa relação. Esta é reforçada em razão de a maioria dos macronutrientes (Mg, Ca, K e P) também ter sido afetada positivamente pelas doses crescentes de N e de Si e  $K_2O$ , conforme modelos estatísticos selecionados pela análise de regressão linear múltipla (Figuras 3, 4, 6, 7, 10, 11, 14 e 15). Do mesmo modo, ainda que mediante observação do teste de médias de Tukey, foi possível observar que o acúmulo de nitrogênio, em relação à testemunha, foi favorecido mediante a fertirrigação com nitrogênio e a fertirrigação com silicato de potássio (Tabela 5).

Se a massa seca comercial da parte aérea foi favorecida, é provável que o acúmulo de macronutrientes tenha acompanhado esse favorecimento, pois, neste caso, as demandas nutricionais podem ter sido maiores. A constituição de componentes celulares, como aminoácidos e ácidos nucléicos, é exemplo de função do nitrogênio no vegetal, enquanto que o potássio, além de atuar na ativação de enzimas associadas à fotossíntese e respiração (TAIZ; ZEIGER, 2004), também funciona como regulador do potencial osmótico e do turgor celular e pode exercer efeito sobre a assimilação de gás carbônico e influenciar o transporte do produto da fotossíntese (FAQUIN; ANDRADE, 2004). No experimento de inverno e primavera, como a massa seca comercial da parte aérea foi beneficiada mediante a aplicação de doses crescentes de nitrogênio e de potássio (Figura 1), provavelmente, esses elementos favoreceram a atividade fisiológica vegetal, que resultou em maior demanda pelo desempenho



desses nutrientes, em suas respectivas funções, nas plantas, e, conseqüentemente, em um maior acúmulo dos mesmos na parte aérea.

No experimento de inverno e primavera, também há a possibilidade de o aumento na dose de silício ter contribuído com a composição mineral de alface e beneficiando-a, pois, de acordo com Epstein e Bloom (2006), um exemplo em que pode haver envolvimento desse elemento ocorre com relação à influência na composição mineral, como no conteúdo de nitrogênio, fósforo e outros elementos.

O fósforo está relacionado à composição dos fosfolipídeos das membranas vegetais, assim como à composição dos nucleotídeos do DNA e RNA e também daqueles que participam do metabolismo energético, como ATP (TAIZ; ZEIGER, 2004). Algumas funções do cálcio estão associadas à composição da parede celular, à manutenção da estrutura e funcionamento das membranas celulares e à alongação e multiplicação celular; e o magnésio funciona como componente da molécula da clorofila, ativador enzimático, além de estar associado à síntese de ATP e à síntese proteica (FAQUIN; ANDRADE, 2004).

No presente trabalho, para o experimento de inverno e primavera, o possível favorecimento da atividade fisiológica vegetal, mediante fornecimento de nitrogênio e potássio, que aumentou a demanda desses nutrientes, também pode ter aumentado a demanda dos demais macronutrientes (Mg, Ca e P), para exercerem suas respectivas funções nas plantas, e, conseqüentemente, aumentado os seus acúmulos na parte aérea.

No experimento de outono, houve maior magnitude de efeito único da fertirrigação com nitrogênio sobre as variáveis resposta, que foram favorecidas apenas com o aumento nas doses de N (Figuras 2, 5, 12, 13 e 16), em relação ao experimento de inverno e primavera. Neste sentido, é provável que a diferença entre os experimentos seja resultado das diferenças entre as condições climáticas ocorridas neles (item 1.3.1; Figura 7; Capítulo 1). Ainda no período de outono, o fato de a maioria dos macronutrientes (Mg, K, N e P) ter seus acúmulos beneficiados unicamente pela fertirrigação com nitrogênio (Figuras 5, 12, 13 e 16), assim como ocorreu com a massa seca comercial da parte aérea (Figura 2), reforça a ideia da possibilidade de que o aumento do acúmulo de macronutrientes acompanhou o aumento na massa seca comercial da parte aérea. Embora os acúmulos de cálcio e de enxofre tenham sido influenciados positivamente tanto pelo aumento nas doses de N quanto pelo aumento nas doses de Si e K<sub>2</sub>O (Figuras 8, 9, 17 e 18), no experimento de outono, esse acompanhamento também pode ter ocorrido.

No experimento de inverno e primavera, as maiores temperaturas máximas do ar ocorridas (item 1.3.1; Figura 7; Capítulo 1) podem ter resultado em maiores amplitudes térmicas no interior do ambiente protegido e em aceleração do metabolismo das plantas, e, associadas às menores umidades relativas do ar (item 1.3.1; Figura 7; Capítulo 1), podem ter resultado em uma maior taxa de transpiração. Nestas condições, é possível que a demanda pelo desempenho do potássio na fisiologia vegetal tenha sido aumentada, e, conseqüentemente, o maior número de respostas à fertirrigação com silicato de potássio foi observado no experimento de inverno e primavera (Figuras 1, 3, 4, 6, 7, 10, 11, 14 e 15). Isto é corroborado pelo fato de que, numericamente, e com relação às médias, os valores encontrados para o experimento de inverno e primavera foram maiores que os observados para o experimento de outono (Tabelas 1, 2, 3, 4). Esta constatação sugere que no experimento de inverno e primavera, cujo período de tempo até a colheita foi menor que o do experimento de outono, houve precocidade das plantas, maior acúmulo de massa seca e, conseqüentemente, maior demanda e acúmulo de nutrientes.

Conforme observação das médias de acúmulo de macronutrientes na massa seca comercial da parte aérea, as ordens não foram comuns entre os experimentos. Para o período de inverno e primavera, a ordem foi: N>Ca>K>P>Mg>S; enquanto que para o período de outono a ordem foi: Ca>N>K>Mg>P>S. Em ambos os casos, não houve concordância com o apresentado por Beninni, Takahashi e Neves (2005), em que a ordem de acúmulo de macronutrientes pela parte aérea, em alface cultivada em sistema convencional (solo), foi a seguinte: K>N>Ca>P>S>Mg.

Por meio da avaliação de tratamentos associados às doses de nitrogênio (0, 60, 120, 180 e 240 kg ha<sup>-1</sup>), aplicadas na forma de ureia e via fertirrigação, em alface, Araújo et al. (2011) constataram que a massa seca da parte aérea respondeu à adubação nitrogenada mediante uma equação linear decrescente. Este resultado difere daqueles encontrados no presente trabalho, para ambos os experimentos realizados, em que a massa seca comercial da parte aérea foi favorecida com o aumento nas doses de nitrogênio.

Na avaliação de formas de disposição das mangueiras gotejadoras, enterradas (subsuperficial) e não enterradas (superficial), e doses de nitrogênio (0, 30, 60, 90, 120 e 150 kg ha<sup>-1</sup>), em almeirão, Biscaro et al. (2012) observaram, para o sistema de irrigação superficial e com relação à massa seca, uma resposta quadrática, sendo que a dose de aproximadamente 125 kg ha<sup>-1</sup> de nitrogênio foi considerada a de maior eficiência técnica. No presente trabalho, ainda que se tenha avaliado a cultura da alface, houve favorecimento da

massa seca comercial da parte aérea com o aumento nas doses de nitrogênio, em ambos os experimentos, que concorda com o constatado por Biscaro et al. (2012).

Porto et al. (2013) avaliaram seis doses de  $K_2O$  (0; 50; 100; 150; 200 e 250  $mg\ dm^{-3}$ ) em rúcula e observaram que a resposta da produção de massa seca da parte aérea em função das doses de potássio foi linear, com favorecimento dessa característica mediante a adubação potássica. A massa seca comercial da parte aérea de alface, para o experimento de inverno e primavera, no presente estudo, foi beneficiada com o fornecimento de potássio, de maneira a concordar com o constatado por Porto et al. (2013).

Em repolho, na avaliação do efeito de doses e fontes de potássio em cobertura, Correa, Cardoso e Claudio (2013) utilizaram tratamentos resultantes de doses de  $K_2O$  (45; 90; 135 e 180  $kg\ ha^{-1}$ ), duas fontes (cloreto e sulfato de potássio) e 1 testemunha (sem potássio em cobertura), e não constataram diferenças significativas, para doses e fontes, com relação à matéria seca da cabeça. Diferentemente de Correa, Cardoso e Claudio (2013), no presente trabalho, o fornecimento de potássio favoreceu a massa seca comercial da parte aérea de alface, para o experimento de inverno e primavera.

Na avaliação da resposta de nove cultivares de alface (Vera, Verônica, Elisa, Regina, Aurélio, Tainá, Lucy Brown, UDIA 10000 e Mimoso Salad Bowl), conduzidas em hidroponia e sob solução nutritiva com silício (1,5  $mmol\ L^{-1}$ ) e sem adição de silício, Luz, Guimarães e Korndörfer (2006) observaram que, mediante a solução nutritiva com silício, as plantas de alface apresentaram menor massa seca de parte aérea. De maneira a discordar do observado por Luz, Guimarães e Korndörfer (2006), no presente trabalho, para o experimento de inverno e primavera, o fornecimento de silício e potássio, via fertirrigação, favoreceu a massa seca comercial da parte aérea de alface.

Por meio de estudo realizado com alface de cultivar Raider, em que foram utilizadas quatro doses de adubação em cobertura de nitrogênio (0, 60, 120 e 180  $kg\ ha^{-1}$ ), adicionais à dose de 60  $kg\ N\ ha^{-1}$  aplicada pelo produtor, e cinco doses de molibdênio via foliar (0,0; 35,1; 70,2; 105,3 e 140,4  $g\ ha^{-1}$ ), Resende et al. (2012) constataram que o maior teor de nitrogênio foi obtido com a dose de 161,5  $kg\ ha^{-1}$  de N, enquanto que, na ausência de molibdênio, a resposta relacionada ao teor de fósforo apresentou efeito linear com o incremento nas doses de N. Estes resultados concordam com o do presente trabalho, no sentido de que a composição mineral de alface, quanto aos acúmulos de nitrogênio e de fósforo, foi favorecida pela fertirrigação com nitrogênio, em ambos os experimentos.

Ainda com relação ao trabalho de Resende et al. (2012), estes autores não observaram diferenças significativas dos tratamentos, para teor de potássio, na ausência da adubação com molibdênio, e, para teor de cálcio, constataram que, no caso da ausência da adubação com molibdênio, foi com a dose de 124,6 kg ha<sup>-1</sup> de N que houve o maior retorno no teor de cálcio. Entretanto, o presente estudo constatou favorecimento da composição mineral mediante a aplicação de nitrogênio, quanto ao acúmulo de potássio, em ambos os experimentos. De maneira a concordar com Resende et al. (2012), a composição mineral associada ao acúmulo de cálcio, no presente trabalho, foi favorecida, tanto no experimento de inverno e primavera quanto no de outono, por meio do fornecimento de nitrogênio.

Resende et al. (2012) também observaram que a dose de 125,8 kg ha<sup>-1</sup> de N resultou em maior teor de magnésio, e que o incremento das doses de N, na dose de 0,0 g ha<sup>-1</sup> de molibdênio, proporcionou favorecimento do teor de enxofre. No presente estudo, a aplicação de nitrogênio também beneficiou a composição mineral, quanto ao acúmulo de magnésio, em ambos os experimentos, e quanto ao acúmulo de enxofre, no período de outono.

Em trabalho realizado por Kano, Cardoso e Villas Bôas (2010), com alface para produção de sementes, em ambiente protegido e vasos, sob doses de K<sub>2</sub>O (0,0; 1,0; 1,5; 2,0 e 2,5 g por planta), observaram que houve influência significativa das doses de potássio sobre os teores de potássio e de magnésio da matéria seca da parte aérea, porém não constataram efeitos significativos para os teores de nitrogênio, fósforo, cálcio e enxofre.

Kano, Cardoso e Villas Bôas (2010) também observaram que o aumento da dose de potássio resultou em aumento linear do teor de potássio, enquanto que o aumento da dose de potássio proporcionou redução linear do teor de magnésio. Entretanto, no presente trabalho, foi possível observar que o fornecimento de potássio beneficiou a composição mineral de alface, quanto aos acúmulos de magnésio, cálcio e fósforo, para o experimento de inverno e primavera, e quanto aos acúmulos de cálcio e enxofre, para o experimento de outono. De maneira a concordar com Kano, Cardoso e Villas Bôas (2010), o presente estudo constatou que o fornecimento de potássio favoreceu a composição mineral de alface, quanto ao acúmulo de potássio, para o experimento de inverno e primavera.

Mediante a aplicação de doses crescentes de silicato de cálcio, em experimento realizado com cultivares de alface em vasos e casa de vegetação, Ferreira et al. (2010) não observaram diferenças significativas quanto ao efeito do silicato de cálcio nos teores foliares de N, P, K, Ca, Mg e S, mas constataram que houve acompanhamento das doses crescentes de silicato de cálcio pelo aumento da deficiência de N. No presente estudo, porém, a composição

nutricional (acúmulo de macronutrientes na massa seca comercial da parte aérea), quanto ao Mg, Ca, K e P, no experimento de inverno e primavera, e quanto ao Ca e S, no experimento de outono, foi influenciada positivamente pelo fornecimento de silício e potássio.

## 2.4 CONCLUSÕES

Mediante as condições específicas nas quais os experimentos foram realizados e com base nos resultados obtidos, são apresentadas as conclusões a seguir.

### **Para o experimento de inverno e primavera:**

- A massa seca comercial da parte aérea foi favorecida pela fertirrigação com nitrogênio e pela fertirrigação com silicato de potássio, com sua maior resposta nas maiores doses de N ( $171 \text{ kg ha}^{-1}$ ) e de Si e  $\text{K}_2\text{O}$  ( $21,85 \text{ kg ha}^{-1}$ ).

- Os acúmulos de Mg, Ca, K e P na massa seca comercial da parte aérea foram beneficiados pela fertirrigação com nitrogênio e pela fertirrigação com silicato de potássio, e seus maiores valores foram encontrados tanto na maior dose de N ( $171 \text{ kg ha}^{-1}$ ) quanto na maior dose de Si e  $\text{K}_2\text{O}$  ( $21,85 \text{ kg ha}^{-1}$ ).

- Em relação ao tratamento testemunha, o acúmulo de nitrogênio na massa seca comercial da parte aérea foi favorecido pela fertirrigação com nitrogênio e pela fertirrigação com silicato de potássio.

### **Para o experimento de outono:**

- Houve influência positiva apenas da aplicação de nitrogênio, via água de irrigação, sobre a massa seca comercial da parte aérea, cuja maior resposta foi observada na maior dose utilizada ( $171 \text{ kg N ha}^{-1}$ ).

- O favorecimento dos acúmulos de Mg, K, N e P na massa seca comercial da parte aérea ocorreu apenas mediante a fertirrigação com nitrogênio, e seus maiores valores foram encontrados com a maior dose utilizada ( $171 \text{ kg N ha}^{-1}$ ).

- Os acúmulos de Ca e de S na massa seca comercial da parte aérea foram influenciados positivamente pela fertirrigação com nitrogênio e pela fertirrigação com silicato de potássio, com seus maiores valores observados tanto na maior dose de N ( $171 \text{ kg ha}^{-1}$ ) quanto na maior dose de Si e  $\text{K}_2\text{O}$  ( $21,85 \text{ kg ha}^{-1}$ ).

### 3 REFERÊNCIAS

- ANDRADE, F. A. **Silicato de cálcio no rendimento; teor de silício, macro e micronutrientes em alface**. 2012. 84 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2012.
- ANDRADE JÚNIOR, A. S.; KLAR, A. E. Manejo da irrigação da cultura da alface (*Lactuca sativa* L.) através do tanque classe A. **Scientia Agricola**, v. 54, n. 1-2, p. 31-38, 1997.
- ARAÚJO, T. S.; FIDELES FILHO, J.; KUMAR, K. K.; RAO, T. V. R. Crescimento da alface-americana em função dos ambientes, épocas e graus-dias. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, v. 5, n. 4, p. 441-449, 2010.
- ARAÚJO, W. F.; SOUZA, K. T. S.; VIANA, T. V. A.; AZEVEDO, B. M.; OLIVEIRA, G. A. Rendimento e eficiência do uso da água pela alface em função da lâmina de irrigação. **Revista Caatinga**, v. 23, n. 4, p. 115-120, 2010.
- ARAÚJO, W. F.; SOUSA, K. T. S.; VIANA, T. V. A.; AZEVEDO, B. M.; BARROS, M. M.; MARCOLINO, E. Resposta da alface a adubação nitrogenada. **Revista Agro@mbiente Online**, v. 5, n. 1, p.12-17, 2011.
- BARBOSA FILHO, M. P.; PRABHU, A. S. **Aplicação de silicato de cálcio na cultura do arroz**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2002. 4 p. (Circular Técnica, 51).
- BENINNI, E. R. Y.; TAKAHASHI, H. W.; NEVES, C. S. V. Concentração e acúmulo de macronutrientes em alface cultivada em sistemas hidropônico e convencional. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 26, n. 3, p. 273-282, 2005.
- BEZERRA NETO, F.; ROCHA, R. C. C.; NEGREIROS, M. Z.; ROCHA, R. H.; QUEIROGA, R. C. F. Produtividade de alface em função de condições de sombreamento e temperatura e luminosidade elevadas. **Horticultura Brasileira**, v. 23, n. 2, p. 189-192, 2005.
- BISCARO, G. A.; SILVA, J. A.; ZOMERFELD, P. S.; MOTOMIYA, A. V. A.; GOMES, E. P.; GIACON, G. M. Produção de almeirão em função de níveis de fertirrigação nitrogenada e disposição de mangueiras gotejadoras nos canteiros. **Ciência Rural**, v. 42, n. 10, p. 1811-1817, 2012.
- BLAINSKI, E. **Utilização do intervalo hídrico ótimo do solo para manejo de área irrigada**. 2007. 67 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2007.
- BRALTS, V. F. Field performance and evaluation. In: NAKAYAMA, F.S.; BUCKS, D.A. (Ed.) **Trickle irrigation for crop production**. Amsterdam: Elsevier, 1986. p. 216-240. (Development in Agricultural Engineering, 9).
- BRALTS, V. F.; EDWARD, D. M.; WU, I. P. Drip irrigation design and evaluation based on statistical uniformity concept. In: HILLEL, D. (Ed.) **Advances in irrigation**. Orlando: Academic Press, 1987. v. 4, p. 67-117.

BRUNINI, O.; LISBÃO, R. S.; BERNARDI, J. B.; FORNASIER, J. B.; PEDRO JÚNIOR, M. J. Temperatura-base para alface cultivar "White Boston", em um sistema de unidades térmicas. **Bragantia**, Campinas, v. 35, n. 19, p. 213-219, 1976.

CANTARELLA, H. Nitrogênio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (eds.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 375-470.

CARRIJO, O. A.; MAROUELLI, W. A.; SILVA, H. R. Manejo da água do solo na produção de hortaliças em cultivo protegido: cultivo protegido de hortaliças em solo e hidroponia. **Informe Agropecuário**, v. 20, n. 200/201, p. 45-51, 1999.

CARRIJO, O. A.; SOUZA, R. B.; MAROUELLI, W. A.; ANDRADE, R. J. **Fertirrigação de hortaliças**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2004. 13 p. (Circular técnica, 32).

CARVALHO, R.; FURTINI NETO, A. E.; CURI, N.; RESENDE, A. V. Absorção e translocação de silício em mudas de eucalipto cultivadas em latossolo e cambissolo. **Ciência e agrotecnologia**, v. 27, n. 3, p. 491-500, 2003.

CARVALHO FILHO, J. L. S.; GOMES, L. A. A.; MALUF, W. R. Tolerância ao florescimento precoce e características comerciais de progênies F<sub>4</sub> de alface do cruzamento Regina 71 x Salinas 88. **Acta Scientiarum. Agronomy**, v. 31, n. 1, p. 37-42, 2009.

CAVIGLIONE, J. H.; KIIHL, L. R. B.; CARAMORI, P. H.; OLIVEIRA, D. **Cartas climáticas do Paraná**. Londrina: IAPAR, 2000. CD. Disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=677>>. Acesso em: 22 outubro 2013.

CHAVES, L. H. G.; FARIAS C. H. A. Escória de siderurgia e calcário na correção da acidez do solo e na disponibilidade de cálcio, magnésio e fósforo. **Revista Caatinga**, v. 21, n. 5, p. 75-82, 2008.

COELHO, G.; SILVA, A. M. O efeito da época de irrigação e de parcelamentos de adubação sobre a produtividade do cafeeiro em três safras consecutivas. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 29, n. 2, p.400-408, 2005.

CORREA, C. V.; CARDOSO, A. I. I.; CLAUDIO, M. T. R. Produção de repolho em função de doses e fontes de potássio em cobertura. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 5, p. 2129-2138, 2013.

DELLA VECCHIA, P. T.; KOCH, P. S.; KIKUCHI, M. Vera: Nova cultivar de alface crespa resistente ao florescimento prematuro. **Horticultura Brasileira**, v. 17, n. 2, p. 171, 1999.

DEMATTE, J. L. I.; PAGGIARO, C. M.; BELTRAME, J. A.; RIBEIRO, S. S. Uso de silicatos em cana-de-açúcar. **Informações Agrônomicas**, n. 133, p. 7-12, 2011.



DUENHAS, L. H.; VILLAS BÔAS, R. L.; SOUZA, C. M. P.; RAGOZO, C. R. A.; BULL, L. T. Fertirrigação com diferentes doses de NPK e seus efeitos sobre a produção e qualidade de frutos de laranja (*Citrus sinensis* O.) 'Valência'. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 24, n. 1, p. 214-218, 2002.

EPSTEIN, E.; BLOOM, A. J. NUNES, M. E. T (trad.). **Nutrição mineral de plantas: princípios e perspectivas**. Planta: Londrina, 2006. 403 p.

ERNANI, P. R.; ALMEIDA, J. A.; SANTOS, F. C. Potássio. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V., V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (eds.). **Fertilidade do solo**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007. p. 551-594.

ERNANI, P. R.; BAYER, C.; ALMEIDA, J. A.; CASSOL, P. C. Mobilidade vertical de cátions influenciada pelo método de aplicação de cloreto de potássio em solos com carga variável. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 31, n. 2, p. 393-401, 2007.

FAO - FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF UNITED NATIONS. **FAOSTAT**. Disponível em: < <http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor>>. Acesso em: 28 agosto 2013.

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

FARIA, A. F.; ALVAREZ V., V. H.; MATTIELLO, E. M.; LIMA NEVES, J. C.; FELIX de BARROS, N.; NOGUEIRA de PAIVA, H. Capacidade de suprimento de potássio em solos de Minas Gerais-Brasil. **Spanish Journal of Soil Science**, v. 2, n. 1, p. 26 -37, 2012.

FAVETTA, G. M.; BOTREL, T. A. Uniformidade de sistemas de irrigação localizada: validação de equações. **Scientia Agricola**, v. 58, n. 2, p. 427-430, 2001.

FERNANDES, H. S.; MARTINS, S. R. Cultivo de alface em solo em ambiente protegido. **Informe Agropecuário**, v. 20, n. 200/201, p. 56-63, 1999.

FERREIRA, R. L. F.; SOUZA, R. J.; CARVALHO, J. G.; ARAÚJO NETO, S. E.; MENDONÇA, V.; WADT, P. G. S. Avaliação de cultivares de alface adubadas com silicato de cálcio em casa-de-vegetação. **Ciência e agrotecnologia**, v. 34, n. 5, p. 1093-1101, 2010 .

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

FOLONI, J. S. S.; ROSOLEM, C. A.; GARCIA, R. A. Efeito da calagem e sulfato de amônio no algodão. II - Concentração de cátions e ânions na solução do solo e absorção de nutrientes pelas plantas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, n. 3, p. 433-442, 2006.

FONTANÉTTI, A.; CARVALHO, G. J.; GOMES, L. A. A.; ALMEIDA, K.; MORAES, S. R. G.; TEIXEIRA, C. M. Adubação verde na produção orgânica de alface americana e repolho. **Horticultura Brasileira**, v. 24, n. 2, p. 146-150, 2006.

FRIZZONE, J. A.; FREITAS, P. S. L.; REZENDE, R.; FARIA, M. A. **Microirrigação: gotejamento e microaspersão**. Maringá: Eduem - Editora da Universidade Estadual de Maringá, 2012. 356 p.

GARCIA, L. L. C.; HAAG, H. P.; DIEHL NETO, W. Nutrição mineral de hortaliças. XXXVIII. Deficiências de macronutrientes em alface (*Lactuca sativa* L.), cv. Brasil 48 e Clauses's Aurélia. **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, v. 39, n. 1, p. 349-372, 1982.

GARCIA, L. L. C.; HAAG, H. P.; MINAMI, K.; DECHEN, A. R. Nutrição mineral de hortaliças. XLIX. Concentração e acúmulo de macronutrientes em alface (*Lactuca sativa* L.) Cv. Brasil 48 e Clauses's Aurélia. **Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"**, v. 39, n. 1, p. 455-484, 1982.

GOTO, R. A cultura de alface. In: GOTO, R.; TIVELLI, S. W. (orgs.). **Produção de hortaliças em ambiente protegido: condições subtropicais**. São Paulo: Fundação Editora da UNESP, 1998. p. 137-159.

HENZ, G. P.; SUINAGA, F. **Tipos de alface cultivados no Brasil**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2009. 7 p. (Comunicado Técnico, 75).

HORST, W. J.; MARSCHNER, H. Effect of silicon on manganese tolerance of bean plants (*Phaseolus vulgaris* L.). **Plant and Soil**, v. 50, n. 1-3, p. 287-303, 1978.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo agropecuário: 2006: Brasil, grandes regiões e unidades da federação: segunda apuração**. Rio de Janeiro: IBGE, 2012. Disponível em: <<http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv61914.pdf>>. Acesso em: 28 agosto 2013.

JORGE, J. A.; GARGANTINI, H. Determinação do potássio do solo pelo método de neubauer e por diversos extratores químicos. **Bragantia**, v. 22, n. único, p. 751-758, 1963.

KANO, C.; CARDOSO, A. I. I.; VILLAS BÔAS, R. L. Influencia de doses de potássio nos teores de macronutrientes em plantas e sementes de alface. **Horticultura Brasileira**, v. 28, n. 3, p. 287-291, 2010.

KELLER, J.; KARMELI, D. Trickle irrigation design parameters. **Transactions of the ASAE**, v. 17, p. 678-684, 1974.

KOETZ, M.; COELHO, G.; COSTA, C. C.; LIMA, E. P.; SOUZA, R. J. Efeito de doses de potássio e da frequência de irrigação na produção da alface-americana em ambiente protegido. **Engenharia Agrícola**, v. 26, n. 3, p. 730-737, 2006.

LUZ, J. M. Q.; GUIMARÃES, S. T. M. R.; KORNDÖRFER, G. H. Produção hidropônica de alface em solução nutritiva com e sem silício. **Horticultura Brasileira**, v. 24, n. 3, p. 295-300, 2006.

MAGGI, M. F.; KLAR, A. E.; JADOSKI, C. J.; ANDRADE A. R. S. Produção de variedades de alface sob diferentes potenciais de água no solo em ambiente protegido. **Irriga**, v. 11, n. 3, p. 415-427, 2006.

MALAVOLTA, E. **ABC da adubação**. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1989. 292 p.

MALAVOLTA, E. **Manual de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Editora Agronômica Ceres, 2006. 638 p.

MANTOVANI, E. C.; BERNARDO, S.; PALARETTI, L. F. **Irrigação: princípios e métodos**. Viçosa: Ed. UFV, 2009. 355 p.

MANTOVANI, J. R.; FERREIRA, M. E.; CRUZ, M. C. P. Produção de alface e acúmulo de nitrato em função da adubação nitrogenada. **Horticultura Brasileira**, v. 23, n. 3, p. 758-762, 2005.

MARQUELLI, W. A. **Tensiômetros para o controle de irrigação em hortaliças**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2008. 15 p. (Circular Técnica, 57).

MARQUELLI, W. A.; CALBO, A. G. **Manejo de irrigação em hortaliças com sistema Irrigas®**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2009. 16 p. (Circular técnica, 69).

MARSCHNER, H. **Mineral nutrition of higher plants**. London: Academic Press, 1995. 889 p.

MARTINS, G. Cultivo em ambiente protegido – o desafio da plasticultura. In: FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. Viçosa: Ed. UFV, 2008, p. 138-151.

MATTOS JUNIOR, D.; CANTARELLA, H.; QUAGGIO, J. A. Perdas por volatilização do nitrogênio fertilizante aplicado em pomares de citros. **Laranja**, v. 23, n. 1, p. 263-270, 2002.

McKEAGUE, J. A.; CLINE, M. G. Silica in soil solutions I. The form and concentration of dissolved silica in aqueous extracts of some soils. **Canadian Journal of Soil Science**, v. 43, n. 1, p. 70-82, 1963.

MELO, G. W.; MEURER, E. J.; PINTO, L. F. S. Fontes de potássio em solos distroféricos caulíníticos originados de basalto no Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 4, p. 597-603, 2004.

MIRANDA, J. H.; BÉRGAMO, L. R.; REIS, J. B. R. S.; CRUCIANI, D. E.; DUARTE, S. N. Distribuição da concentração de potássio no solo em lisímetros cultivados com amendoim. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 2, p. 253-263, 2010.

MORETTI, C. L.; MATTOS, L. M. **Processamento mínimo de alface crespa**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2006. 7 p. (Comunicado Técnico, 36).

NASCIMENTO, W. M. **Germinação de sementes de alface**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2002. 10 p. (Circular técnica, 29).

- OLIVEIRA, M. R. V. O emprego de casas de vegetação no Brasil: vantagens e desvantagens. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 30, n. 8, p. 1049-1060, 1995.
- PAIM, L. A.; CARVALHO, R.; ABREU, C. M. P.; GUERREIRO, M. C. Estudo dos efeitos do silício e do fósforo na redução da disponibilidade de metais pesados em área de mineração. **Química Nova**, v. 29, n. 1, p. 28-33, 2006.
- PEREIRA, H. S.; VITTI, G. C.; KORNDORFER, G. H. Comportamento de diferentes fontes de silício no solo e na cultura do tomateiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 1, p. 101-108, 2003.
- PINTO, J. M.; FEITOSA FILHO, J. C. **Fertirrigação**. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2009. 49 p. (Documentos, 219).
- PORTO, R. A.; BONFIM-SILVA, E. M.; SOUZA, D. S. M.; CORDOVA, N. R. M.; POLYZEL, A. C.; SILVA, T. J. A. Adubação potássica em plantas de rúcula: produção e eficiência no uso da água. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 7, n. 1, p. 28-35, 2013.
- PRADO, R. M.; FERNANDES, F. M. Efeito da escória de siderurgia e calcário na disponibilidade de fósforo de um Latossolo Vermelho-Amarelo cultivado com cana-de-açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 36, n. 9, p. 1199-1204, 2001.
- RAIJ, B. van; QUAGGIO, J. A. Disponibilidade de potássio em solos para capim-braquiária cultivado em vasos. **Bragantia**, v. 43, n. 2, p. 531-539, 1984.
- RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo; Piracicaba: Ceres, Potafos, 1991. 343 p.
- REIS, T. H. P.; GUIMARÃES, P. T. G.; FIGUEIREDO, F. C.; POZZA, A. A. A.; NOGUEIRA, F. D.; RODRIGUES, C. R. **O silício na nutrição e defesa de plantas**. Belo Horizonte: EPAMIG, 2007. 120 p. (Boletim Técnico, 82).
- RESENDE, F. V.; SAMINÊZ, T. C. O.; VIDAL, M. C.; SOUZA, R. B.; CLEMENTE, F. M. V. **Cultivo de alface em sistema orgânico de produção**. Brasília: Embrapa Hortaliças, 2007. 16 p. (Circular Técnica, 56).
- RESENDE, G. M.; ALVARENGA, M. A. R.; YURI, J. E.; SOUZA, R. J. Rendimento e teores de macronutrientes em alface americana em função de doses de nitrogênio e molibdênio. **Horticultura Brasileira**, v. 30, n. 3, p. 373-378, 2012.
- RODRIGUES, F. A.; OLIVEIRA, L. A.; KORNDÖRFER, A. P.; KORNDÖRFER, G. H. Silício: um elemento benéfico e importante para as plantas. **Informações Agronômicas**, n. 134, p. 14-20, 2011.
- SANTOS, D.; MENDONÇA, R. M. N.; SILVA, S. M.; ESPÍNOLA, J. E. F.; SOUZA, A. P. Produção comercial de cultivares de alface em Bananeiras. **Horticultura Brasileira**, v. 29, n. 4, p. 609-612, 2011.

SANTOS, S. R.; PEREIRA, G. M. Comportamento da alface tipo americana sob diferentes tensões da água no solo, em ambiente protegido. **Engenharia Agrícola**, v. 24, n. 3, p.569-577, 2004.

SEGOVIA, J. F. O.; ANDRIOLO, J. L.; BURIOL, G. A.; SCHNEIDER, F. M. Comparação do crescimento e desenvolvimento da alface (*Lactuca sativa L.*) no interior e no exterior de uma estufa de polietileno em Santa Maria, RS. **Ciência Rural**, v. 27, n. 1, p. 37-41, 1997.

SILVA, P. A. M.; PEREIRA, G. M.; REIS, R. P.; LIMA, L. A.; TAVEIRA, J. H. S. Função de resposta da alface americana aos níveis de água e adubação nitrogenada. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 32, n. 4, p. 1266-1271, 2008.

SISTEMA Brasileiro de Classificação de Solos. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p. il. Inclui apêndices.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. ed. 3. Porto Alegre: Artmed, 2004. 719 p.

TIVELLI, S. W. Manejo do ambiente em cultivo protegido. In: GOTO, R.; TIVELLI, S. W. (orgs.). **Produção de hortaliças em ambiente protegido: condições subtropicais**. São Paulo: Fundação Editora da UNESP, 1998, p. 15-30.

TRANI, P. E.; TIVELLI, S. W.; CARRIJO, O. A. **Fertirrigação em hortaliças**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2011. 51 p. (Boletim Técnico IAC, 196).

TRANI, P. E. **Calagem e adubação para hortaliças sob cultivo protegido**. IAC, Campinas, 2012. 34 p. Disponível em: <[http://www.iac.sp.gov.br/imagem\\_informacoestecnologicas/79.pdf](http://www.iac.sp.gov.br/imagem_informacoestecnologicas/79.pdf)>. Acesso em: 03 setembro 2013.

TURRENT, A.; LAIRD, R. J. La matriz experimental Plan Puebla, para ensayos sobre prácticas de producción de cultivos. **Agrociencia**, v. 19, p. 117-143, 1975.

URQUIAGA, S.; MALAVOLTA, E. Uréia: um adubo orgânico de potencial para a agricultura orgânica. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 19, n. 2, p. 333-339, 2002.

VIDA, J. B.; ZAMBOLIM, L.; TESSMANN, D. J.; BRANDÃO FILHO, J. U. T.; VERZIGNASSI, J. R.; CAIXETA, M. P. Manejo de doenças de plantas em cultivo protegido. **Fitopatologia Brasileira**, v. 29, n. 4, p. 355-372, 2004.

VIDAL, A. A.; PRADO, R. M. Aplicação de escória siderúrgica, calcário e ureia em latossolo cultivado com arroz. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 2, p. 264-272, 2011.

VIDIGAL, S. M.; RIBEIRO, A. C.; CASALI, V. W. D.; FONTES, L. E. F. Resposta da alface (*Lactuca sativa L.*) ao efeito residual da adubação orgânica. I - Ensaio de campo. **Ceres**, v. 42, n. 239, p. 80 - 88, 1995.

VILAS BOAS, R. C.; CARVALHO, J. A.; GOMES, L. A. A.; SOUZA, K. J.; RODRIGUES, R. C.; SOUSA, A. M. G. Efeito da irrigação no desenvolvimento da alface crespa, em ambiente protegido, em Lavras, MG. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 11, n. 4, p. 393-397, 2007.

VILLA, M. R.; FERNANDES, L. A.; FAQUIN, V. Formas de potássio em solos de várzea e sua disponibilidade para o feijoeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 28, n. 4, p. 649-658, 2004.

WILCOX, J. C.; SWAILES, G. E. Uniformity of water distribution by some undertree orchard sprinklers. **Scientific Agriculture**, v. 27, p. 565-583, 1947.

YURI, J. E. **Produção, nutrição e conservação pós-colheita da alface tipo americana, cv. Raider, no verão e no inverno, em função da aplicação de nitrogênio e potássio em cobertura**. 2004. 139 p. Tese (Doutorado) - UFLA, Lavras, 2004.

ZAMBOLIM, L.; COSTA, H.; LOPES, C. A.; VALE, F. X. R. Doenças de hortaliças em cultivo protegido. **Informe Agropecuário**, v. 20, n. 200/201, p. 114-125, 1999.

## **APÊNDICES**

## 4 APÊNDICE A

Tabela 1A. Valores de p-valor dos testes de Shapiro-Wilk e Levene, para as características massa fresca total da parte aérea (MFTPA), massa fresca comercial da parte aérea (MF CPA), massa fresca não comercial da parte aérea (MFNC PA), número de folhas comerciais por planta (NFC) e índice comercial (IC) de alface Vera, no período de inverno e primavera (2012), Maringá, PR

Características	Shapiro-Wilk	Levene
MFTPA	0,4563	0,3667
MF CPA	0,3700	0,3378
MFNC PA	0,5437	0,1756
NFC	0,1811	0,0199
IC	0,7434	0,0752

Obs: p-valor>0,01 (não significativo, em nível de 1% de probabilidade).

Tabela 2A. Valores de p-valor dos testes de Shapiro-Wilk e Levene, para as características massa fresca total da parte aérea (MFTPA), massa fresca comercial da parte aérea (MF CPA), massa fresca não comercial da parte aérea (MFNC PA), número de folhas comerciais por planta (NFC) e índice comercial (IC) de alface Vera, no período de outono (2013), Maringá, PR

Características	Shapiro-Wilk	Levene
MFTPA	0,6887	0,1027
MF CPA	0,7253	0,1574
MFNC PA	0,2448	0,0145
NFC	0,7474	0,0828
IC	0,4798	0,1051

Obs: p-valor>0,01 (não significativo, em nível de 1% de probabilidade).



Tabela 3A. Valores de p-valor dos testes de Shapiro-Wilk e Levene, para as características massa seca comercial da parte aérea (MSCPA) e acúmulos de magnésio (Mg), cálcio (Ca), potássio (K), nitrogênio (N), fósforo (P) e enxofre (S) na MSCPA de alface Vera, no período de inverno e primavera (2012), Maringá, PR

Características	Shapiro-Wilk	Levene
MSCPA	0,6867	0,2013
Mg	0,8045	0,0170
Ca	0,5844	0,0126
K	0,7422	0,1920
N	0,8405	0,0525
P	0,7087	0,0653
S	0,2503	0,0462

Obs: p-valor>0,01 (não significativo, em nível de 1% de probabilidade).

Tabela 4A. Valores de p-valor dos testes de Shapiro-Wilk e Levene, para as características massa seca comercial da parte aérea (MSCPA) e acúmulos de magnésio (Mg), cálcio (Ca), potássio (K), nitrogênio (N), fósforo (P) e enxofre (S) na MSCPA de alface Vera, no período de outono (2013), Maringá, PR

Características	Shapiro-Wilk	Levene
MSCPA	0,9287	0,1457
Mg	0,6354	0,0501
Ca	0,8456	0,5127
K	0,7084	0,1751
N	0,1261	0,0235
P	0,6664	0,0118
S	0,0973	0,0268

Obs: p-valor>0,01 (não significativo, em nível de 1% de probabilidade).

## 5 APÊNDICE B

Tabela 1B. Resumo da análise de regressão linear múltipla, conforme modelos estatísticos selecionados para massa fresca total da parte aérea (MFTPA), massa fresca comercial da parte aérea (MFCPA), massa fresca não comercial da parte aérea (MFNCPA) e número de folhas comerciais por planta (NFC) de alface Vera, no período de inverno e primavera (2012), Maringá, PR

C.	M.			t <sub>c</sub>			F <sub>reg</sub>	F <sub>fa</sub>
		C.R.	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$			
MFTPA	7	V.I.A.C.R.	(N)	(Si e K <sub>2</sub> O)	(N)(Si e K <sub>2</sub> O)	16,30*	2,03 <sup>ns</sup>	
			3,80*	4,61*	2,67*			
MFCPA	7	V.I.A.C.R.	(N)	(Si e K <sub>2</sub> O)	(N)(Si e K <sub>2</sub> O)	16,41*	1,97 <sup>ns</sup>	
			3,82*	4,78*	2,82*			
MFNCPA	11	V.I.A.C.R.	(N)	-	-	15,48*	0,82 <sup>ns</sup>	
			3,66*	-	-			
MFNCPA	12	V.I.A.C.R.	(Si e K <sub>2</sub> O)	-	-	11,48*	1,32 <sup>ns</sup>	
			3,73*	-	-			
NFC	11	V.I.A.C.R.	(N)	-	-	10,98*	1,29 <sup>ns</sup>	
			3,62*	-	-			
NFC	12	V.I.A.C.R.	(Si e K <sub>2</sub> O)	-	-	9,68*	1,45 <sup>ns</sup>	
			3,53*	-	-			

C.: característica; M.: modelo estatístico; C.R.: coeficiente de regressão; V.I.A.C.R.: variável independente associada ao coeficiente de regressão; (N)-dose de N em kg ha<sup>-1</sup>; (Si e K<sub>2</sub>O)-dose de Si e K<sub>2</sub>O em kg ha<sup>-1</sup>; |t<sub>c</sub>|\* - valor de t calculado, em módulo, significativo pelo teste t de Student, em nível de 5% de probabilidade; F<sub>reg</sub>\* - valor de F, para a regressão, significativo pelo teste F, em nível de 5% de probabilidade; F<sub>fa</sub><sup>ns</sup> - valor de F, para a falta de ajustamento, não significativo pelo teste F, em nível de 5% de probabilidade.

Tabela 2B. Resumo da análise de regressão linear múltipla, conforme modelos estatísticos selecionados para massa fresca total da parte aérea (MFTPA), massa fresca comercial da parte aérea (MFCPA), massa fresca não comercial da parte aérea (MFNCPA) e número de folhas comerciais por planta (NFC) de alface Vera, no período de outono (2013), Maringá, PR

C.	M.		$ t_c $	$F_{reg}$	$F_{fa}$
		C.R.	$\beta_1$		
MFTPA	11	V.I.A.C.R.	(N) 6,40*	100,87*	0,33 <sup>ns</sup>
		C.R.	$\beta_1$		
MFCPA	11	V.I.A.C.R.	(N) 4,22*	79,32*	0,17 <sup>ns</sup>
		C.R.	$\beta_1$		
MFNCPA	11	V.I.A.C.R.	(N) 3,87*	12,84*	1,25 <sup>ns</sup>
		C.R.	$\beta_1$		
MFNCPA	12	V.I.A.C.R.	(Si e K <sub>2</sub> O) 3,70*	9,97*	1,61 <sup>ns</sup>
		C.R.	$\beta_1$		
NFC	11	V.I.A.C.R.	(N) 4,18*	34,56*	0,42 <sup>ns</sup>

C.: característica; M.: modelo estatístico; C.R.: coeficiente de regressão; V.I.A.C.R.: variável independente associada ao coeficiente de regressão; (N)-dose de N em kg ha<sup>-1</sup>; (Si e K<sub>2</sub>O)-dose de Si e K<sub>2</sub>O em kg ha<sup>-1</sup>;  $|t_c|$ \* - valor de t calculado, em módulo, significativo pelo teste t de Student, em nível de 5% de probabilidade;  $F_{reg}$  - valor de F, para a regressão, significativo pelo teste F, em nível de 5% de probabilidade;  $F_{fa}^{ns}$  - valor de F, para a falta de ajustamento, não significativo pelo teste F, em nível de 5% de probabilidade.

Tabela 3B. Resumo da análise de regressão linear múltipla, conforme modelos estatísticos selecionados para massa seca comercial da parte aérea (MSCPA) e acúmulos de magnésio (Mg), cálcio (Ca), potássio (K) e fósforo (P) na MSCPA de alface Vera, no período de inverno e primavera (2012), Maringá, PR

C.	M.		t <sub>c</sub>		F <sub>reg</sub>	F <sub>fa</sub>
MSCPA	8	C.R.	$\beta_1$	$\beta_2$	16,55*	2,16 <sup>ns</sup>
		V.I.A.C.R.	(N)	(Si e K <sub>2</sub> O)		
			2,43*	3,55*		
Mg	11	C.R.	$\beta_1$	-	6,35*	1,38 <sup>ns</sup>
		V.I.A.C.R.	(N)	-		
			2,81*	-		
Mg	12	C.R.	$\beta_1$	-	7,14*	1,28 <sup>ns</sup>
		V.I.A.C.R.	(Si e K <sub>2</sub> O)	-		
			2,90*	-		
Ca	11	C.R.	$\beta_1$	-	6,31*	1,19 <sup>ns</sup>
		V.I.A.C.R.	(N)	-		
			2,66*	-		
Ca	12	C.R.	$\beta_1$	-	7,84*	0,99 <sup>ns</sup>
		V.I.A.C.R.	(Si e K <sub>2</sub> O)	-		
			2,79*	-		
K	11	C.R.	$\beta_1$	-	4,66*	2,33 <sup>ns</sup>
		V.I.A.C.R.	(N)	-		
			2,81*	-		
K	12	C.R.	$\beta_1$	-	12,07*	1,40 <sup>ns</sup>
		V.I.A.C.R.	(Si e K <sub>2</sub> O)	-		
			3,90*	-		
P	11	C.R.	$\beta_1$	-	7,14*	1,42 <sup>ns</sup>
		V.I.A.C.R.	(N)	-		
			3,01*	-		

Tabela 3B, Cont.

		C.R.	$\beta_1$	-		
P	12	V.I.A.C.R.	(Si e K <sub>2</sub> O)	-	10,60*	0,99 <sup>ns</sup>
			3,24*	-		

C.: característica; M.: modelo estatístico; C.R.: coeficiente de regressão; V.I.A.C.R.: variável independente associada ao coeficiente de regressão; (N)-dose de N em kg ha<sup>-1</sup>; (Si e K<sub>2</sub>O)-dose de Si e K<sub>2</sub>O em kg ha<sup>-1</sup>; |t<sub>c</sub>)\*-valor de t calculado, em módulo, significativo pelo teste t de Student, em nível de 5% de probabilidade; F<sub>reg</sub>\*-valor de F, para a regressão, significativo pelo teste F, em nível de 5% de probabilidade; F<sub>fa</sub><sup>ns</sup>- valor de F, para a falta de ajustamento, não significativo pelo teste F, em nível de 5% de probabilidade.

Tabela 4B. Resumo da análise de regressão linear múltipla, conforme modelos estatísticos selecionados para massa seca comercial da parte aérea (MSCPA) e acúmulos de magnésio (Mg), cálcio (Ca), potássio (K), nitrogênio (N), fósforo (P) e enxofre (S) na MSCPA de alface Vera, no outono (2013), Maringá, PR

C.	M.			t <sub>c</sub>	F <sub>reg</sub>	F <sub>fa</sub>
		C.R.	$\beta_1$			
MSCPA	11	V.I.A.C.R.	(N)	4,69*	38,72*	0,49 <sup>ns</sup>
		C.R.	$\beta_1$			
Mg	11	V.I.A.C.R.	(N)	3,91*	27,38*	0,48 <sup>ns</sup>
		C.R.	$\beta_1$			
Ca	11	V.I.A.C.R.	(N)	3,36*	20,70*	0,46 <sup>ns</sup>
		C.R.	$\beta_1$			
Ca	12	V.I.A.C.R.	(Si e K <sub>2</sub> O)	3,87*	10,44*	1,74 <sup>ns</sup>
		C.R.	$\beta_1$			
K	11	V.I.A.C.R.	(N)	7,11*	44,52*	1,20 <sup>ns</sup>

Tabela 4B, Cont.

N	11	C.R. V.I.A.C.R.	$\beta_1$ (N)	53,36*	1,10 <sup>ns</sup>
			7,54*		
P	11	C.R. V.I.A.C.R.	$\beta_1$ (N)	32,92*	0,93 <sup>ns</sup>
			5,60*		
S	11	C.R. V.I.A.C.R.	$\beta_1$ (N)	14,70*	0,56 <sup>ns</sup>
			3,06*		
S	12	C.R. V.I.A.C.R.	$\beta_1$ (Si e K <sub>2</sub> O)	9,54*	1,20 <sup>ns</sup>
			3,29*		

C.: característica; M.: modelo estatístico; C.R.: coeficiente de regressão; V.I.A.C.R.: variável independente associada ao coeficiente de regressão; (N)-dose de N em kg ha<sup>-1</sup>; (Si e K<sub>2</sub>O)-dose de Si e K<sub>2</sub>O em kg ha<sup>-1</sup>; |t<sub>c</sub>|\* - valor de t calculado, em módulo, significativo pelo teste t de Student, em nível de 5% de probabilidade; F<sub>reg</sub>\* - valor de F, para a regressão, significativo pelo teste F, em nível de 5% de probabilidade; F<sub>fa</sub><sup>ns</sup> - valor de F, para a falta de ajustamento, não significativo pelo teste F, em nível de 5% de probabilidade.