UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL

ARMAZENAMENTO REFRIGERADO E PROCESSAMENTO MÍNIMO DE ALFACE AMERICANA CULTIVADA EM HIDROPONIA COM DIFERENTES DOSES DE SILICIO

Vanessa Cury Galati
Engenheira Agrônoma

2013

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP

CÂMPUS DE JABOTICABAL

ARMAZENAMENTO REFRIGERADO E PROCESSAMENTO MÍNIMO DE ALFACE AMERICANA CULTIVADA EM HIDROPONIA COM DIFERENTES DOSES DE SILICIO

Vanessa Cury Galati

Orientador: Prof. Dr. Ben-Hur Mattiuz

Co-orientador: Prof. Dr. Arthur Bernardes Cecílio Filho

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia (Produção Vegetal)

2013

Galati, Vanessa Cury

G146a **Armazenamento refrigerado e processamento mínimo de alface americana cultivada em hidroponia com diferentes doses de silicio**

. / Vanessa Cury Galati. – – Jaboticabal, 2013

xix, 61 p. ; 28 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2013

Orientador: Ben-Hur Mattiuz

Banca examinadora: Ben-Hur Mattiuz, Bianca Sarzi de Souza, Luis Felipe Purquerio, José Fernando Durigan, Teresinha de Jesus Deléo Rodrigues

Bibliografia

1. *Lactuca sativa* (L.). 2. Refrigeração. 3.Produto minimamente processado. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 635.52:631.563

unesp UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

CAMPUS DE JABOTICABAL

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS DE JABOTICABAL

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: ARMAZENAMENTO REFRIGERADO E PROCESSAMENTO MÍNIMO DE ALFACE AMERICANA CULTIVADA EM HIDROPONIA COM DIFERENTES DOSES DE SILÍCIO

AUTORA: VANESSA CURY GALATI

ORIENTADOR: Prof. Dr. BEN-HUR MATTIUZ

CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. ARTHUR BERNARDES CECILIO FILHO

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTOR EM AGRONOMIA (PRODUÇÃO VEGETAL) , pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. BEN-HUR MATTIUZ
Departamento de Tecnologia / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Profa. Dra. BIANCA SARZI DE SOUZA
Instituto Federal de EducaçãoInstituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais / Muzambinho/MG

Prof. Dr. LUIS FELIPE VILLANI PURQUERIO
Instituto Agronômico de Campinas / Campinas/SP

Prof. Dr. JOSE FERNANDO DURIGAN
Departamento de Tecnologia / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Profa. Dra. TERESINHA DE JESUS DELEO RODRIGUES
Departamento de Biologia Aplicada À Agropecuária / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal

Data da realização: 13 de agosto de 2013.

DADOS CURRICULARES DA AUTORA

VANESSA CURY GALATI – nascida em 15 de fevereiro de 1983 em Ribeirão Preto – S.P.. Filha de Cesare Galati e Nurd Nicolau Cury Galati. Cursou o segundo grau no Sistema COC de ensino na cidade de Ribeirão Preto – SP. Ingressou no curso de Agronomia em 2003, na Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), Campus de Jaboticabal. Foi bolsista de iniciação científica pela FAPESP no período de 2006 a 2007. Obteve o título de Engenheira Agrônoma em fevereiro de 2008. Em agosto de 2008, ingressou no curso de Mestrado em Agronomia (Produção Vegetal) como bolsista CNPq, pela Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), Campus de Jaboticabal. Recebeu o título de Mestre em julho de 2010. Em agosto de 2010, ingressou como bolsista CNPq no curso de Doutorado em Agronomia (Produção Vegetal), pela Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (UNESP), Campus de Jaboticabal. Recebeu o título de Doutor em agosto de 2013.

DEDICO

Aos meus pais Nurd Nicolau Cury Galati e Cesare Galati pois sem a ajuda, compreensão e apoio deles não seria possível a conclusão de mais uma etapa de minha vida. Eles são meu porto seguro, amo vocês meus pais.

Aos meus avôs (in memoriam) que contribuíram muito para minha formação, onde quer que eles estejam devem estar guiando meus caminhos.

A minha irmã Valéria Cury Galati, meu braço direito, sem ela o desenvolvimento dos meus experimentos seria bem mais difícil, só nós sabemos o que passamos naquela horta, a pé, comendo de marmita, mas tudo foi muito válido, ninguém consegue atingir o êxito sem que haja trabalho, obrigada Val por tudo.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela vida, força e disposição para alcançar mais uma conquista ‘O DOUTORADO’.

Ao prof. Dr. Ben-Hur Mattiuz pelos ensinamentos, pela paciência e pela amizade que conquistamos durante esses 10 anos de convivência e a sua esposa Claudia pela ajuda no projeto e pela amizade.

Ao prof. Dr. Arthur Bernardes Cecílio Filho pela compreensão, pela paciência em me explicar coisas novas e pela amizade.

Aos membros da banca examinadora pela disponibilidade e pelas sugestões que contribuíram muito para a melhoria do meu trabalho.

Aos meus inesquecíveis amigos do laboratório de Tecnologia dos Produtos Agrícolas: Cris, Joana, Kelly, João Emmanuel, Josi, Isabella, Carol, Maria Carolina e Estelle vocês tornaram meus dias mais felizes e alegres, como esquecer as nossas discussões sobre os experimentos (tudo em prol da ciência), os nossos lanches da manhã ou da tarde, as nossas festas e churrascos, é praticamente impossível esquecê-los, onde quer que eu esteja lembrarei sempre com muito carinho de vocês. Amos vocês.

Aos amigos de ontem, hoje e sempre que acompanham minha luta e torcem por mim, espero que nossas histórias sejam eternas, jamais me esquecerei de Veri, Camila, Munira, Rê Gimenes, Gustavo (Meleka), Diego (Pimpão), Juliana, José Eduardo (Dumbo), Pedro (Baca), Carla....

A FCAV-Jaboticabal pelos 10 anos contribuindo para a minha formação e meu desenvolvimento pessoal.

A toda família Cury e Galati que torceram por mim.

Ao CNPq pelo auxílio concedido.

A todos que contribuíram de maneira direta e indireta com o meu crescimento, muito obrigada.

SUMÁRIO

RESUMO ix

ABSTRACT x

LISTA DE FIGURAS xi

1. INTRODUÇÃO 1

2. REVISÃO DE LITERATURA 2

2.1 A cultura da alface 2

2.2 Cultivo hidropônico de alface 3

2.3 Silício em vegetais 4

2.4 Armazenamento refrigerado 8

2.5 Processamento mínimo de hortaliças e frutas 9

3. MATERIAL E MÉTODOS 12

3.1 Experimento 1: Produção de alface americana em função de concentrações de silício na solução nutritiva, em hidroponia 12

3.2 Experimento 2: Armazenamento refrigerado de alface americana após condução em solução nutritiva contendo silício 15

3.3 Experimento 3: Efeito do silício em características pós-colheita da alface após processamento mínimo 15

3.4. Características avaliadas: 16

3.5. Análises estatísticas 18

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO 19

4.1 Produção de alface americana em função de concentrações de silício na solução nutritiva, em hidroponia 19

4.2 Armazenamento refrigerado de alface americana após condução em solução nutritiva contendo silício 26

4.3 Efeito do silício em características pós-colheita da alface após processamento mínimo 41

5. CONCLUSÕES 50

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 51

ARMAZENAMENTO REFRIGERADO E PROCESSAMENTO MÍNIMO DE ALFACE AMERICANA CULTIVADA EM HIDROPONIA COM DIFERENTES DOSES DE SILICIO

RESUMO - Este trabalho teve por objetivo verificar a aplicação de silício em hidroponia e na influencia na produção e na conservação pós-colheita de alface americana cv. Lucy Brown, em ambiente refrigerado e minimamente processado. No primeiro experimento foi realizada sua produção hidropônica com doses crescentes de silício (0; 28; 56 e 84 mg L^{-1}) utilizando como fonte silicato de potássio, e avaliadas quanto à massa fresca, massa seca, teor de silício e de macronutrientes. No segundo experimento, alfaces produzidas em hidroponia com silício (condições do primeiro experimento) foram armazenadas a 8 °C, 80±3%UR e 22 °C, 80±3%UR, e avaliadas quanto, perda de massa fresca, firmeza, aos teores de clorofila, sólidos solúveis e de acidez titulável, pH, atividade das enzimas peroxidase, polifenoloxidase e fenilalanina amônia-liase. No terceiro experimento, após a produção hidropônica, as alfaces foram submetidas ao processamento mínimo, embaladas, armazenadas a 3 °C, 85±3% UR e avaliadas a cada quatro dias quanto aos teores de O_2 e CO_2 nas embalagens, sólidos solúveis, e acidez titulável, e clorofila, firmeza e atividade das enzimas peroxidase e polifenoloxidase. A concentração de 84 mg L^{-1} de Si proporcionou maior absorção de silício e massa fresca para as alfaces. As folhas velhas apresentaram maior teor de silício quando comparada com as folhas novas. A associação da dose de 84 mg L^{-1} de Si com a temperatura de 8 ºC propiciaram maior firmeza das folhas, menor perda de massa fresca e baixa atividade das enzimas polifenoloxidase e peroxidase durante o período. A concentração de 84 mg L^{-1} de silício aumentou a firmeza das folhas e manteve constante os teores de clorofila nas alfaces minimamente processadas conservando sua vida útil por 16 dias.

Palavras-chaves: *Lactuca sativa* (L.), refrigeração, produto minimamente processado.

REFRIGERATED STORAGE AND MINIMALLY PROCESSED OF LETTUCE AMERICAN GROWN IN HYDROPONICS WITH DIFFERENT DOSES SILICON

ABSTRACT-This study aimed to verify the application of silicon in hydroponics and influence the production and postharvest of lettuce cv. Lucy Brown in refrigerated environment and minimally processed. The first experiment was conducted hydroponic production with increasing concentration of silicon (0, 28, 56 and 84 mg L^{-1}) using as source of potassium silicate, and assessed for fresh weight, dry weight, silicon and macronutrients content. In the second experiment, lettuce grown in hydroponics with silicon (conditions of the first experiment) were stored at 8 °C, 80 ± 3% RH and 22°C, 80 ± 3% RH, and evaluated, weight loss, firmness, chlorophyll, soluble solids and titratable acidity contents , pH, activity of peroxidase, polyphenoloxidase and phenylalanine ammonia lyase. In the third experiment, after producing hydroponic lettuce were subjected to minimal processing, packaged, stored at 3 °C, 85 ± 3% RH and evaluated every four days for the levels of O_2 and CO_2 in packaging, soluble solids, and titratable acidity, and chlorophyll, firmness and activity of peroxidase and polyphenoloxidase. The concentration of 84 mg L^{-1} of Si provided greater absorption of silicon and fresh weight for lettuce. Old leaves had higher silicon content compared to new leaves. The association of the dose of 84 mg L^{-1} of Si with temperature of 8 °C promoted greater firmness of leaves, lower weight loss and low activity of polyphenoloxidase and peroxidase enzymes during the period. The concentration of 84 mg L^{-1} silicon increased firmness of the leaves and kept constant the concentration of chlorophyll in minimally processed lettuce conserving its life for 16 days.

Keywords: *Lactuca sativa* (L.), refrigeration, fresh-cut

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Massa fresca de alface 'Lucy Brown', 58 DAS em função das quantidades de silício (Si) aplicadas, na solução nutritiva..... **19**

Figura 2. Massa seca de alface 'Lucy Brown' em função das quantidades de silício (Si) aplicadas na solução nutritiva..... **20**

Figura 3. Teor de silício nas folhas velhas (y1) e nas folhas novas (y2) da alface 'Lucy Brown' em função das quantidade de silício (Si) aplicadas na solução nutritiva..... **21**

Figura 4. Aspecto da alface 'Lucy Brown' aos 11 dias após o transplante (DAT), em função das doses 0, 28, 56 e 84 mg L^{-1} de silício aplicadas na solução nutritiva..... **22**

Figura 5. Teor de fósforo nas folhas velhas (y1) e nas folhas novas (y2) da alface 'Lucy Brown' em função das quantidades de silício (Si) aplicadas na solução nutritiva..... **23**

Figura 6. Teor de potássio nas folhas velhas (y1) e nas folhas novas (y2) da alface 'Lucy Brown' em função das quantidades de silício (Si) aplicadas na solução nutritiva..... **24**

Figura 7. Teor de cálcio nas velhas (y1) e nas folhas novas (y2) da alface 'Lucy Brown' em função das quantidades de silício (Si) aplicadas na solução nutritiva..... **25**

Figura 8. Teor de magnésio nas folhas velhas (y1) e nas folhas novas (y2) da alface 'Lucy Brown' em função das quantidades de silício (Si) aplicadas na solução nutritiva..... **25**

Figura 9. Firmeza, em folhas de alface 'Lucy Brown', armazenada a 8 °C (A) e 22 °C (B) e 80±3% UR, em função das quantidades de silício aplicadas na solução nutritiva..... **27**

Figura 10. Perda de massa fresca, de alface 'Lucy Brown', armazenada a 8 °C (A) e 22 °C (B) e 80±3 %UR , em função das quantidades de silício aplicadas, na solução nutritiva..... **28**

Figura 11. Acidez titulável (AT), de alface 'Lucy Brown', armazenada a 8 °C (A) e 22 °C (B) e 80±3% UR, em função das quantidades de silício aplicadas, na solução nutritiva..... **30**

Figura 12. Sólidos Solúveis (SS), de alface 'Lucy Brown', armazenada a 8 °C (A) e 22 °C (B) e 80±3% UR, em função das quantidades de silício aplicadas, na solução nutritiva..... **31**

Figura 13. pH, de alface 'Lucy Brown', armazenada a 8 °C e 22 ° C e 80±3% UR, em função das quantidades de silício aplicadas, na solução nutritiva..... **32**

Figura 14. Teor de clorofila, de alface 'Lucy Brown', armazenada a 8 °C (A) e 22 °C (B) e 80±3% UR, em função das quantidades de silício aplicadas, na solução nutritiva..... **34**

Figura 15. Atividade enzimática da polifenoloxidase (PPO) (A) e da peroxidase (POD) (B), de alface 'Lucy Brown', armazenada a 8 °C e 80±3% UR, em função das quantidades de silício aplicadas, na solução nutritiva..... **35**

Figura 16. Atividade enzimática da polifenoloxidase (PPO) (A) e da peroxidase (POD) (B), de alface 'Lucy Brown', armazenada a 22 ° C e 80±3% UR, em função das quantidades de silício aplicadas, na solução nutritiva..... **36**

Figura 17. Sintomas de escurecimento em alface 'Lucy Brown', armazenada 22 ° C e 80±3% UR, em função das quantidades de silício aplicadas, na solução nutritiva..... **37**

Figura 18. Fenilalanina amônia-liase (PAL), de alface 'Lucy Brown', armazenada à 8 °C (A) e 22 °C (B) e 80±3% UR respectivamente, em função das quantidades de silício aplicadas, na solução nutritiva..... **38**

Figura 19. Teor de O_2 (A) e CO_2 (B), no interior das embalagens, contendo alface 'Lucy Brown' minimamente processada em função das quantidades de silício aplicadas, na solução nutritiva..... **40**

Figura 20. Firmeza, de alface 'Lucy Brown' minimamente processada em função das quantidades de silício aplicadas, na solução nutritiva..... **41**

Figura 21. Acidez titulável (AT), de alface 'Lucy Brown' minimamente processada em função das quantidades de silício **42**

aplicadas, na solução nutritiva.....

Figura 22. Sólidos solúveis, de alface 'Lucy Brown' minimamente processada em função de concentrações de silício na solução nutritiva..... **43**

Figura 23. Teor de clorofila, de alface 'Lucy Brown' minimamente processada em função de concentrações de silício, na solução nutritiva..... **44**

Figura 24 Atividades das enzimas polifenoloxidase (PPO-A) e peroxidase (POD-B) de alface 'Lucy Brown' minimamente processada em função das quantidades de silício aplicadas, na solução nutritiva..... **46**

1. INTRODUÇÃO

De acordo com a Pesquisa de Orçamento Familiar (POF) 2008/2009, do IBGE, a alface é a hortaliça folhosa mais consumida no Brasil. O volume comercializado desta folhosa na CEAGESP, em 2012, foi de 30.188 toneladas (AGRIANUAL, 2013).

No Brasil, a forma de comercialização predominante desta hortaliça *in natura*, é a acondicionada em engradados de madeira ou caixas plásticas. No entanto, o mercado torna-se cada vez mais exigente, necessitando de formas de comercialização mais convenientes aos consumidores, ou seja, que facilitem o manuseio e mantenham a qualidade da hortaliça. Segundo Skura;Powrie (1995) a manutenção da aparência, da consistência fresca e da ausência de defeitos é um desafio, uma vez que, logo após a colheita, reações químicas e físicas ocorrem e podem influenciar a qualidade e aumentar a vulnerabilidade aos microrganismos, diminuindo a vida útil do produto.

O sucesso das hortaliças minimamente processadas se deve, em grande parte, à conveniência que estes produtos oferecem ao consumidor por estarem prontos para o consumo, com segurança microbiológica (ZAGORY, 2000). No entanto, no processamento mínimo a alface pode vir a apresentar perda da cor verde ou amarelecimento, escurecimento da superfície cortada e perda de turgidez (CHITARRA;CHITARRA, 2005).

A nutrição mineral adequada, durante a fase de produção, associada ao armazenamento refrigerado e uso de atmosfera modificada pode prolongar a vida útil dos vegetais.

Recentemente, o silício (Si) tem sido muito usado na adubação mineral das plantas, pois é um elemento benéfico que pode auxiliar na manutenção da rigidez dos tecidos proporcionando maior resistência ao ataque de pragas e doenças. A influência do Si no mecanismo da transpiração se dá pela formação de dupla camada de sílica cuticular, reduzindo a perda de água durante o período de armazenamento do produto (KORNDORFER et al., 2004). Apresenta também função estrutural, na qual a indução da síntese de hemicelulose e lignina nas paredes celulares deixam as células mais rígidas e,

consequentemente, aumentam a firmeza das folhas de alfaces (BARBOSA FILHO et al., 2001).

Há na literatura inúmeros trabalhos relacionados à adubação e a pós-colheita de alface, no entanto são poucos os que os estudam em conjunto. Logo, o objetivo foi verificar a aplicação de silício em hidroponia e sua influência na produção e na conservação pós-colheita de alface americana cv. Lucy Brown, em ambiente refrigerado e minimamente processado.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 A cultura da alface

É a hortaliça folhosa de maior importância no Brasil, a área plantada é de aproximadamente 35.000 ha. Na década de 1980, o padrão da alface consumida no país era alface lisa, tipo 'White Boston', que atualmente corresponde a 10% do mercado. Posteriormente, houve uma mudança na preferência da alface lisa para a crespa, tipo 'Grand Rapids', que atualmente representa 70%. A alface americana vem apresentando grande crescimento no Brasil, ocupando atualmente, mais de15% do mercado (Costa;Sala, 2005).

Seu cultivo apresenta limitações, principalmente em virtude de sua sensibilidade às condições adversas de temperatura, umidade do ar e chuva (GOMES et al., 2005). Quanto aos problemas pós-colheita, destacam-se o transporte e a baixa conservação pós-colheita, fato que limita sua produção a cinturões verdes das cidades, obrigando os produtores a obter o máximo de aproveitamento da produtividade (SANTOS, 2001).

A temperatura ideal para o desenvolvimento da alface americana está em torno de 23ºC durante o dia e 7ºC à noite. Temperaturas muito elevadas favorecem a desordem fisiológica "tip burn", caracterizada pela queima das bordas das folhas, que contribui para a não formação da cabeça (folhas novas) (JACKSON et al., 2013).

Na década de 1980, houve expansão de restaurantes do tipo "fast-food" e, consequentemente, a geração imediata de alta demanda de alface do tipo americana, que tem como principais características a crocância e a resistência

ao calor (desidratação) quando introduzida aos lanches quentes. Inicialmente houve a necessidade de importação deste tipo de alface, porém, estava criado um novo segmento para o consumo de alface no mercado brasileiro. Com o passar dos anos este tipo de alface foi aceito por parte da população brasileira, criando um segundo mercado, o consumo de alface americana *in natura*. Isto levou a introdução no Brasil de cultivares de alface americana (*Lactuca sativa* var. *capitata*), que apresentam como características, na maioria das cultivares, cabeças firmes, compactas, grandes, folhas externas de coloração verde-escura, folhas internas de coloração creme-amarelada, imbricadas, com nervuras salientes e crocantes (YURI et al., 2002). Pesando cerca de um quilograma com as folhas externas, e cerca de 750 gramas com a remoção destas folhas, que são geralmente mais largas (DAVIS et al., 1997).

As sementes de alfaces do grupo americana cv Lucy Brown, são produzidas pela empresa Seminis. São sementes peletizadas, para cultivo hidropônico, e seu ciclo é de, aproximadamente, 75 dias. Esta cultivar apresenta ausência de pendoamento. Sua massa fresca é de, aproximadamente, 790,7 g planta^{-1} e a circunferência da cabeça mede, em média, 49,7 cm (PORTAL HIDROPONIA, 2013; Yuri et. al., 2005).

2.2 Cultivo hidropônico de alface

A produção hidropônica desta hortaliça vem ganhando espaço no Brasil, por apresentar uma série de vantagens tais como produção em pequenas áreas, precocidade na colheita, utilização mais eficiente de nutrientes, melhor qualidade do produto por não estar em contato direto com o solo, utilização de baixa quantidade de água e fertilizantes, redução da mão-de-obra e de defensivos agrícolas durante o ciclo da cultura. Por outro lado, o alto investimento inicial e a necessidade de treinamento especializado são os pontos que dificultam a adoção da hidroponia (FAQUIN;FURTINI NETO;VILELA, 1996, SANTOS et. al., 2008).

Na hidroponia tipo NFT, o solo é substituído por solução nutritiva contendo água e nutrientes, podendo ser uma técnica promissora em ambiente protegido (FURLANI et. al., 1999).

O sistema hidropônico chamado NFT - Nutrient Film Technique ou fluxo laminar de solução tem alcançado destaque na produção de alface, sendo o preferido dentre os vários sistemas disponíveis pelas vantagens de praticidade e eficácia na produção. Isso se deve à sua fácil adaptação ao sistema, com a alta produtividade e reduções de ciclo, em relação ao cultivo no solo (OHSE et al., 2001; COMETTI, 2003). Nele, a solução nutritiva flui sobre os canais de cultivo, onde se alojam as raízes, irrigando-as e fornecendo oxigênio e nutrientes para as plantas (STAFF, 1998). O manejo da solução pela técnica em NFT é realizado por meio do monitoramento do pH, da condutividade elétrica e da composição química da solução.

A solução nutritiva correta e balanceada influencia muito na qualidade final do produto. A idade da planta, a época do ano e as condições climáticas locais influenciam a eficiência da solução nutritiva (FAQUIN;FURTINI NETO;VILELA, 1996).

Segundo Bliska Junior;Honório (1995), o uso do cultivo hidropônico reduz em cerca de dez dias o período de colheita da alface, quando comparado ao cultivo convencional.

2.3 Silício em vegetais

O silício (Si) é o segundo elemento em abundância na crosta terrestre, seguido do oxigênio. Na planta, ao ser absorvido tem efeitos benéficos relacionados principalmente com o aumento da resistência ao ataque de pragas (insetos), nematóides e doenças, diminui a taxa de transpiração e, confere maior eficiência fotossintética (KORNDÖRFER et al., 2002).

Plantas cultivadas em ambiente com altos teores de Si diferem daquelas que o fazem em ambientes com baixos teores quanto a composição química, a resistência mecânica das células, as características de superfície e a tolerância a estresses abióticos, como a falta d'água (EPSTEIN;BLOOM, 2006).

O silício é absorvido pela planta pelo juntamente com a água por fluxo de massa, na forma de ácido monossilícico (H_4SiO_4). Sua absorção em gramíneas é mais rápida do que a da água, resultando na redução de Si na solução, no

entanto, em dicotiledôneas esta absorção é mais lenta, sendo similar à da água (KORNDORFER, 2006, MITAMI;MA, 2005).

O transporte de Si é realizado pelo xilema e sua redistribuição está relacionada com a taxa transpiratória da planta (CAMARGO, 2007). Quando a planta inicia a perda de água, o silício que está na forma de ácido monossilícico se transforma em ácido polissilícico, e ao se polimerizar diminui a flexibilidade das paredes dos estômatos mantendo-os fechados por mais tempo, reduzindo a perda de água por transpiração (KORNDORFER et al., 2002; LUZ; GUIMARÃES;KORNDORFER, 2006).

O Si precipita-se no lúmen celular, na parede celular e nos espaços intercelulares das plantas como sílica amorfa (MA;YAMAJI, 2006). Na epiderme celular, o Si se une à celulose podendo estar presente nos estômatos, nos tricomas e nos elementos dos vasos (JONES, 1984).

De um modo geral, o teor de Si nos tecidos vegetais varia de 1 a 100 g kg^{-1} da matéria seca (EPSTEIN, 1999). Plantas acumuladoras de Si possuem teor foliar acima de 10 g kg^{-1}, e as não acumuladoras apresentam teor inferior a 5 g kg^{-1} (MA, MIYAKEY,TAKAHASHI, 2001).

Ao avaliar plantas de *Valerianella locusta*, em hidroponia contendo Si na solução nutritiva, Gottardi et al. (2012) observaram que na pós-colheita houve redução na degradação da clorofila retardando a senescência foliar e prolongando a vida útil de prateleira destes tecidos comestíveis.

Embora o tomateiro não seja considerado uma planta acumuladora de Si, em experimentos realizados por MIYAKE;TAKAHASHI (1978), plantas deficientes em Si apresentaram diminuição do crescimento do tecido meristemático na região do topo.

Wang;Galletta (1998) observaram que a aplicação foliar de silicato de potássio proporcionou aumento no conteúdo de clorofila, crescimento de plantas e alterações dos teores de ácidos orgânicos nas folhas de morangueiro, proporcionou aumento da taxa fotossintética e, além disso, as plantas ficaram mais resistentes ao ataque de patógenos.

Em cenoura e morango, o fornecimento de Si às plantas melhorou a qualidade do produto final com aumento da concentração de carboidratos (açúcares) e resistência de doenças como míldio e oídio (LANNING, 1960; WANG;GALLETTA, 1998; JULIATTI, et al., 2003).

A aplicação de Si, utilizando como fonte o Sili-K® (12% de Si e 15% de K_2O), em fertirrigação e hidroponia, proporcionou ao tomateiro, aumento da eficiência na absorção de cálcio, redução de perdas por podridão apical e maior resistência ao ataque de doenças como a requeima e a pinta preta (MIYAKE;TAKAHASHI, 1978; CARVALHO, et al., 2002; LANA et al., 2002).

Em alface dos grupos lisa, crespa e americana, tratadas com Si ocorreu redução de perdas por "tip burn". Para a alface do grupo americana, cultivada no verão, o uso de silicato de potássio (12% de Si e 15% de K_2O – Sili-K®) proporcionou a formação completa da cabeça sem desordem fisiológica e/ou florescimento e em pepino apresentou maior resistência ao ataque de míldio e oídio, maior pegamento de flor e maior massa de frutos (MIYAKE;TAKAHASHI, 1983; SOBRINHO et al., 2004).

Segundo Resende et al. (2003), a dose de 1,7 kg ha^{-1} de silício (0; 0,9; 1,8; 2,7 e 3,6 kg ha^{-1}) propiciou maior rendimento, as plantas atingiram, em média, 706 g L^{-1} e melhor qualidade de alface americana, em cultivo de verão, aplicadas em três diferentes épocas via foliar (14, 21 e 28 DAT). Para aplicação aos 21 e 28 DAT foi evidenciado efeitos quadráticos, e as doses de 0,8 e 1,5 kg ha^{-1} de silício propiciaram a melhor conservação pós-colheita da alface.

Yuri et al. (2003) avaliaram a influência de cinco doses de silicato de potássio (0; 4,5; 9,0; 13,5 e 18,0 L ha^{-1}), utilizando como fonte Supra Potássio® (20% de SiO_2 e 15% de K), sobre a produtividade e qualidade pós-colheita da alface americana, em cultivo de inverno, aplicadas em três diferentes épocas via foliar (14, 21 e 28 DAT). Verificaram que a massa fresca comercial evidenciou efeito significativo para a época de aplicação, as aplicações realizadas aos 21 e 28 dias foram superiores estatisticamente, sem diferirem entre si.

Ao avaliar a influência de épocas de plantio (inverno e verão) e cinco doses de silício (0,0; 0,9; 1,8; 2,7 e 3,6 L ha^{-1}), utilizando como fonte Supra Potássio® (20% de SiO_2 e 15% de K), sobre a produtividade e qualidade pós-colheita da alface tipo americana, cv. Raider, Resende;Yuri;Souza (2007) verificaram que as doses de silício de 2,0 e 2,7 L ha^{-1}, como as que proporcionaram os maiores produtividades de massa fresca total e comercial (1.065 e 589 g $planta^{-1}$), respectivamente. O plantio de inverno apresentou melhor conservação pós-colheita que o de verão, quando avaliado por uma escala de notas, aos 10 e 20 dias após a colheita. Para aplicação aos 20 dias

após o transplante, ocorreu efeito quadrático onde a dose de 2,0 L ha^{-1} de silício promoveu a melhor conservação pós-colheita da alface.

Segundo Ferreira et al. (2010), ao analisarem a produtividade, o estado nutricional e a qualidade (classe de tamanho) de alfaces cultivadas com quatro doses de silicato de cálcio (0; 410; 1.000 e 2.000 mg dm^{-3}), em vasos sob ambiente protegido, e utilizando três cultivares de alface (Raider, Regina e Vera), verificaram que a aplicação de silicato de cálcio não aumentou o crescimento das plantas e o teor dos nutrientes com exceção de N e Mn nas plantas de alface. As três cultivares de alface comportaram-se como sendo plantas não acumuladoras de silício.

Luz;Guimarães;Korndorfer (2006) avaliaram o efeito do silício sobre o desempenho de nove cultivares de alface, em sistema hidropônico NFT, sob duas soluções nutritivas, uma contendo 1,5 mmol L^{-1} de Si e a outra sem, sendo a fonte utilizada sílica gel de origem japonesa, com 20% de SiO_2 e 80% de H_2O. Foi observado que plantas de alface que receberam Si apresentaram menor tamanho, apesar de, em ambos os casos, terem alcançado tamanho comercial e menor incidência de “tip burn”. Dessa forma o silício pode ser uma alternativa viável para produção hidropônica de alface, principalmente quando se leva em consideração as novas tendências de mercado por produtos menores e com boa aparência.

Voogt;Sonneveld (2001), avaliando solução nutritiva com e sem silício no cultivo de alface, verificaram que a presença de silício diminuiu significativamente os sintomas de toxicidade de manganês. No entanto, os autores verificaram que a absorção de Si na alface foi pequena menor que 5% da massa seca , e o conteúdo de Si nas plantas que receberam o tratamento foi um pouco maior em comparação às do tratamento sem Si.

2.4 Armazenamento refrigerado

A manutenção do produto à temperatura ótima para preservação desde a colheita até ao seu consumo é provavelmente o fator mais importante no controle da qualidade do produto, uma vez que as baixas temperaturas reduzem

a taxa respiratória, bem como a atividade microbiológica e enzimática, permitindo o prolongamento da vida útil do vegetal. Desta forma, a rapidez com que o vegetal perde calor para o ambiente está claramente relacionada com o aumento do seu tempo de vida útil (RICKMAN, BARRETT, BRUHN, 2007).

A temperatura à qual o produto é exposto durante o manuseio e o armazenamento tem efeito direto nos atributos de qualidade, tais como: valor nutricional, textura, aroma e sabor. O retardo no resfriamento dos vegetais após a colheita pode reduzir sua qualidade e vida útil (CHITARRA;CHITARRA, 2005).

Para a maioria dos produtos a temperatura mínima de refrigeração recomendada depende do ponto de congelamento e do sistema de controle de temperatura durante o armazenamento. Para alface, a temperatura mínima de refrigeração é de 0 °C e o ponto de congelamento é de -0,2 °C, logo se armazenada a 0 °C e com umidade relativa entre 98 e 100%, sua durabilidade pode -se prolongar por duas a três semanas (HARDENBURG;WATADA;WANG, 1986). A velocidade de deterioração da alface aumenta rapidamente com a elevação da temperatura. A vida útil da alface a 3 °C é de apenas 50% da vida útil a 0 °C. No entanto, temperaturas abaixo de -0,5 °C causam congelamentos e deterioração das folhas, não sendo recomendadas.

As hortaliças folhosas possuem alta taxa respiratória, sendo suscetíveis a rápida desidratação logo após a colheita o que determina perdas em sua qualidade. O murchamento e o enrugamento são os sintomas iniciais da perda de água e sua taxa depende da temperatura do vegeta e da umidade relativa do ambiente em que o vegetal está sendo armazenado (FINGER; VIEIRA, 1997).

A transpiração ocorre em consequência do déficit de pressão de vapor (DPV), o qual representa a diferença entre a pressão de vapor dos tecidos do produto e do ambiente (CHITARRA;CHITARRA, 2005). Para umidade relativa do ar constante, a perda de água é maior quando a diferença entre as temperaturas são mais altas, enquanto que para temperatura constante, a perda de matéria fresca é maior em umidade relativa do ambiente mais baixa (HARDENBURG;WATADA;WANG 1986). A perda de água através da transpiração pode resultar em murcha e modificações na textura e aparência do produto, reduzindo sua aceitação no mercado (SHEWFELT, 1993).

Os tecidos vegetais estão em equilíbrio com a atmosfera quando se encontram numa mesma temperatura e umidade relativa do ambiente estiver

entre 99% e 99,5% (GAFFNEY;BAIRD;CHAU, 1985). Qualquer redução da pressão de vapor d'água no ambiente resulta em perda de água.

Silva et al. (2007) verificaram que folhosas armazenadas a 5 °C e 90% de umidade relativa reduzem a perda de clorofila, sendo estas condições indicadas para a comercialização.

2.5 Processamento mínimo de hortaliças e frutas

No Brasil, a forma de comercialização predominante da alface é *in natura*, acondicionada em engradados, com capacidade expressa em quilos e variando em função da cultivar. Nota-se, no entanto, que o mercado torna-se cada vez mais exigente, necessitando de formas de comercialização mais convenientes aos consumidores e mantenham a qualidade do vegetal.

A manutenção destes produtos no mercado está relacionado aos seus atributos de qualidade (SKURA;POWRIE, 1995). Segundo estes autores, a manutenção da aparência, da consistência fresca e da ausência de defeitos é um desafio, uma vez que, logo após a colheita, reações químicas e físicas passam a ocorrer e podem influenciar na qualidade e aumentar a vulnerabilidade aos microrganismos, diminuindo assim sua vida útil.

O processamento mínimo de frutas e hortaliças é definido como vegetais que passaram por alterações físicas, isto é, foram descascados, picados, torneados e ralados, dentre outros processos, mantendo-os no estado fresco e metabolicamente ativos (MORETTI, 2007).

O sucesso das hortaliças minimamente processadas deve-se em grande parte à agregação de valor conseguida pelo processo produtivo e ao fato do produto ser entregue pronto, para o consumidor. Os principais responsáveis por essas características são o controle da temperatura e a escolha de embalagens, que propiciam modificação da atmosfera que envolve o produto, contribuindo para a manutenção do frescor, aumento da vida de prateleira e, em última análise, a elevação das vendas (ZAGORY, 2000).

A alface é a hortaliça mais utilizada no processamento mínimo. Imediatamente após ser colhida, ela deve ser levada para o local de processamento e se necessário armazenada em câmara fria a 10 °C e 80-90%

de umidade relativa, para a retirada do calor de campo. Em seguida são realizados os processos de corte, enxágue para retirada do sulco resultante do extravasamento celular e sanitização, centrifugação, embalagem e armazenamento (MORETTI, 2007).

A respiração está diretamente associada à conservação das hortaliças, uma vez que afeta os parâmetros de qualidade. Tal fenômeno oxidativo requer oxigênio numa razão molar proporcional ao gás carbônico liberado. A redução na disponibilidade do oxigênio e o excesso de gás carbônico dentro das embalagaens pode ocasionar anaerobiose desencadeando o processo de fermentação (FARIA, 1990).

Estudos relativos à atividade respiratória e à evolução do etileno no material processado, armazenado em temperaturas distintas, são desejáveis na medida em que podem elucidar uma série de problemas tecnológicos relacionados com a obtenção de um produto de excelente qualidade (KADER, 2002).

Mattos et al. (2008) estudaram efeitos fisiológicos desencadeados pelo processamento mínimo em alface (*Lactuca sativa* L.), visando conhecer a melhor temperatura de armazenamento bem como o estresse causado por este processamento ao produto. Verificou-se que, logo após o processamento, as taxas respiratórias eram estatisticamente diferentes para os materiais cortados em tiras com 5 ou 10 mm e folhas inteiras, tanto a 5 °C como a 10 °C. Observaram que o armazenamento a 5 °C reduziu, de forma mais rápida, a atividade respiratória que a 10 °C. A melhor temperatura para o armazenamento da alface minimamente processada foi a de 5 °C e as folhas inteiras apresentaram menor taxa respiratória e aumento na produção de etileno.

As alterações na pigmentação são muito importantes para a qualidade. Perdas de clorofila em folhosas têm grande importância na qualidade dos produtos minimamente processados. A modificação na cor pode ocorrer devido à degradação da clorofila, o que revela pigmentos que já estão presentes. Os principais fatores, que podem afetar na degradação da clorofila, são a luz e a temperatura (FRANÇA, 2011). Silva et al. (2007) verificaram que folhosas armazenadas a 5 °C e 90% de umidade relativa reduzem a perda de clorofila, que são as condições indicadas para a comercialização.

Roversi;Masson (2004) avaliaram a qualidade de alface crespa minimamente processada embalada em sacos plásticos de polietileno com atmosfera modificada ativa. Duas atmosferas foram aplicadas, com níveis de CO_2 de 10% e 15%, e o de O_2 a 5%. Após o acondicionamento, a alface foi imediatamente refrigerada a 7 °C. Verificaram que a influência da atmosfera modificada no crescimento de microrganismos e na variação de sólidos solúveis não foi relevante. Essa tecnologia reduziu as taxas de respiração e, consequentemente, minimizou as perdas na qualidade sensorial da alface durante o armazenamento. A vida útil da alface sob atmosfera modificada foi estendida em até cinco dias, além da alcançada pela alface acondicionada em atmosfera normal.

Ao avaliarem a qualidade sensorial da alface crespa minimamente processada e acondicionada em sacos plásticos confeccionados com diferentes filmes (PEBD-50, PEBD-60, PEBD-100, BOPP - PEBD e Conservax), sob atmosfera ativamente modificada com 5% de O_2 e 10% de CO_2 e armazenados a 7 °C, Roversi;Masson (2005) observaram que nos filmes com baixas taxas de permeabilidade (BOPP-PEBD e Conservax) ocorreu rápida degeneração dos tecidos celulares e perda da qualidade da alface. No entanto, os filmes com maiores taxas de permeabilidade (PEBD-50 e 60) propiciaram rápida redução do CO_2. Concluíram que as alfaces armazenadas nas embalagens com atmosfera modificada mantiveram as características adequadas de consumo até dez dias após o armazenamento.

Mattos et al. (2007) analisaram a qualidade de alface crespa minimamente processada (folhas inteiras e em tiras de 5 mm) e armazenada a 5 °C e com 85±5% de umidade relativa por 14 dias em dois tipos de embalagem (filme de polipropileno e de polietileno de baixa densidade). Observaram que a atividade das enzimas polifenoloxidase e peroxidase foram maiores no material processado em tiras de 5 mm, quando comparado com as folhas inteiras. A alface processada em tiras de 5 mm também apresentou maior escurecimento enzimático, menor brilho e menores teores de ácidos orgânicos nas duas embalagens, indicando que em vegetais injuriados ocorre a descompartimentação das enzimas responsáveis pelo escurecimento e pelo desenvolvimento de odores desagradáveis, além de aumentar a taxa respiratória (CHITARRA;CHITARRA, 2007).

Segundo Rivero;Ruiz;Garcia (2001) e Chakraborty;Dutta; Chakraborty (2001), a atividade da fenilalanina amônia-liase aumenta em resposta a diferentes tipos de estresse, especialmente ao estresse térmico. As baixas temperaturas podem promover aumento na atividade da enzima fenilalanina amônia-liase, em diferentes espécies de vegetais.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Experimento 1: Produção de alface americana em função de concentrações de silício na solução nutritiva, em hidroponia

O primeiro experimento foi realizado no Setor de Olericultura e Plantas Aromático-Medicinais, do Departamento de Produção Vegetal, da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias - UNESP, Campus de Jaboticabal, SP. O município de Jaboticabal situa-se a, aproximadamente, 21°14'05" de latitude Sul, 48°17'09" de longitude Oeste e altitude de 575 m. O período do cultivo foi caracterizado por temperatura média de 24,6 °C, tendo máximas e mínimas de 32,5 °C e 18,3 °C, respectivamente (ESTAÇÃO AGROCLIMATOLÓGICA, 2013).

Antes da semeadura foi realizada a lavagem das placas de espuma fenólica em água corrente, por 10 minutos, para eliminação dos resíduos. As mudas foram formadas nestas espumas com dimensões de 2 x 2 x 2 cm, contendo uma planta por célula. Em seguida, as placas foram acondicionadas em casa de vegetação para germinação, emergência e crescimento inicial das mudas. A semeadura foi realizada no dia 20-8-2012.

Cerca de 10 dias após a emergência, as mudas foram transferidas para o berçário, que correspondeu a fase de crescimento, permanecendo em canais hidropônicos (NFT), com espaçamento de 5 cm x 6 cm, e recirculação de solução nutritiva, onde permaneceram por 13 dias. Posteriormente, foram transplantadas para os canais de crescimento, também em NFT, para receberem os tratamentos com doses crescentes de silício.

A estrutura da hidroponia correspondeu a canais de cultivo representados por tubos de PVC de 10 cm de diâmetro, cortados longitudinalmente, e cobertos com Tetrapak®, colocados sobre cavaletes com declividade de 3% nos canais, o

espaçamento entre as plantas era de 25 cm. Os reservatórios da solução nutritiva possuíam tampas e continham 150 litros cada de solução nutritiva modificada proposta por Furlani (1998) para alface. As bombas funcionavam no período das 6 horas da manhã às 18 horas com intervalos de 15 minutos e durante a noite ficavam desligadas, elas ligavam e desligavam automaticamente.

A análise da água da torneira utilizada para o preparo das soluções nutritivas apresentaram os seguintes resultados, conforme a Tabela 1.

Na solução nutritiva foram utilizados os fertilizantes nitrato de cálcio, nitrato de potássio, MAP, sulfato de magnésio, nitrato de amônio, silicato de potássio, ácido bórico, sulfato de cobre, sulfato de manganês, sulfato de zinco, molibdato de amônio e EDDHMA-Fe com 6% de ferro.

Foram avaliadas as concentrações adicionadas de 0, 28, 56 e 84 mg L^{-1} de Si, utilizando-se a fonte silicato de potássio com 10,2% de K (11% K_2O) e 11,7% de Si (25% SiO_2). As soluções nutritivas de todos os tratamentos foram balanceadas de modo a apresentarem as mesmas concentrações de potássio. Quando abaixava o nível das soluções nos reservatórios estas eram substituídas. Foi realizado o monitoramente diário do pH (5,5 a 6,5) e da condutividade elétrica (1,8 a 2,5 mS cm^{-2}) das soluções. Durante o período de cultivo não houve incidência de pragas e doenças não sendo necessário o controle fitossanitário.

O experimento foi conduzido em delineamento de blocos ao acaso, com quatro tratamentos e cinco repetições. Cada bancada continha quatro canais de cultivo e 20 plantas, as plantas das bordaduras não foram descartadas.

Tabela 1. Composição química da água utilizada para o preparo das soluções nutritivas.

Parâmetros	Resultados	Unidade de Medida	Limite de detecção*
Amônia (NH_3)	< LD	mg L^{-1}	0,01
Alcalinidade-Hidróxidos	Zero	mg L^{-1}	1
Alcalinidade-Carbonato	Zero	mg L^{-1}	1
Alcalinidade-Bicarbonato	87	mg L^{-1}	1
Cálcio	15,95	mg L^{-1}	0,001
Cobre	< LD	mg L^{-1}	0,003
Condutividade elétrica	173,26	µS cm^{-1}	1
Dureza	54	mg L^{-1}	1
Ferro	< LD	mg L^{-1}	0,005
Fluoreto	0,16	mg L^{-1}	0,1
Manganês	< LD	mg L^{-1}	0,003
Magnésio	0,447	mg L^{-1}	0,001
Nitrato (como N)	0,007	mg L^{-1}	0,1
Nitrito (como N)	< LD	mg L^{-1}	0,001
pH	7,86	N.A.	0 a 14
Potássio	40	mg L^{-1}	0,1
Sódio	15,8	mg L^{-1}	0,1
Sulfato	< LD	mg L^{-1}	1
Zinco	0,019	mg L^{-1}	0,002
Silício	6,82	mg L^{-1}	-

Legenda: LD = limite de detecção; N.A.= não se aplica

*Análises realizadas no laboratório de saneamento da escola de engenharia de São Carlos-USP.

A colheita foi realizada em 17-10-2012, perfazendo o ciclo de cultivo de 58 dias. As alfaces foram colhidas nas primeiras horas da manhã e, imediatamente, transportadas para o laboratório de Tecnologia dos Produtos Agrícolas da UNESP, Campus de Jaboticabal. Foram colhidas 15 plantas de cada repetição as quais foram utilizadas para as instalações dos experimentos 2 e 3.

3.2 Experimento 2: Armazenamento refrigerado de alface americana após condução em solução nutritiva contendo silício

As alfaces para instalação desse experimento foram obtidas do experimento realizado em hidroponia, mantendo-se os tratamentos aplicados (Experimento 1). A instalação do deste experimento ocorreu em 17-10-2012.

Ao serem recebidas no laboratório, no máximo duas horas após a colheita, as plantas foram padronizadas quanto ao tamanho e a aparência, retirando as três folhas mais velhas para melhor homogeneidade.

As plantas foram acondicionadas em bandejas de poliestireno expandido (isopor©) sem cobertura com filme plástico e acondicionadas sob diferentes temperaturas de armazenamento. Os tratamentos constituíram-se das quatro concentrações de silício utilizadas na solução nutritiva (experimento 1) e duas temperaturas de armazenamento (8 °C e 22 °C) com 80±3% de umidade relativa.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com três repetições, com duas plantas por repetição. As avaliações foram realizadas, a cada 4 dias, perfazendo um total de 16 dias de armazenamento para as alfaces armazenadas a 8 °C e de 8 dias para as armazenadas a 22 °C.

3.3 Experimento 3: Efeito do silício em características pós-colheita da alface após processamento mínimo

A instalação do deste experimento ocorreu em 17-10-2012. Após a colheita as alfaces produzidas em hidroponia, com diferentes concentrações de silício, foram transportadas para o Laboratório de Tecnologia dos Produtos Agrícolas. As alfaces foram novamente selecionadas, retirando-se as 3 folhas mais velhas, partes danificadas ou com podridão foram eliminadas realizando-se a padronização das folhas quanto ao tamanho e aparência, para melhor uniformização do lote. Foi realizada a lavagem com água corrente para retirada de impurezas aderidas ao vegetal e retirada do calor de campo.

Em seguida, em câmara fria a 8 °C, sob condições higiênicas, as alfaces foram submetidas ao processamento que consistiu em cortar as folhas (velhas e novas) em tiras com 20 mm de largura, transversalmente a nervura principal. Na

sequência, fez-se uma imersão do produto em solução resfriada (5 °C) contendo 150 mg L^{-1} de cloro livre (Sumaveg®),por 10 minutos, com a finalidade de sanitizar e de retirar o suco celular devido ao corte. Foi realizada uma segunda imersão em solução contendo 10 mg L^{-1} de cloro livre (Sumaveg®), a 5 °C, para retirada do excesso de cloro. O excesso de água, das folhas de alface processadas, foi retirado utilizando-se centrifuga manual. A hortaliça minimamente processada foi acondicionada em sacos de polipropileno de 30 cm x 40 cm, de 60 micrometros, contento, aproximadamente, 200 gramas de alface em cada, selados e armazenados em expositores a 3 °C e 85 ± 3% de umidade relativa.

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, com três repetições. As avaliações foram realizadas, a cada quatro dias, perfazendo um total de 16 dias de armazenamento.

3.4. Características avaliadas:

a) Massa fresca da parte aérea (g): foi quantificada utilizando-se pesagem de cinco plantas inteiras (folhas velhas e novas) de cada repetição, em balança digital com capacidade para 2000g e precisão de 0,1g. Realizada somente para o Experimento 1.

b) Massa seca da parte aérea (g): a parte aérea foi lavada e seca em estufa com circulação forçada de ar, a 65 °C, por 96 horas, e então, foi pesada. Realizada somente para o Experimento 1.

c) Teor de silício e de macronutrientes nas folhas (g kg^{-1}): Foram separadas as folhas velhas das folhas novas as quais foram lavadas e colocadas em estufa com circulação forçada de ar à temperatura de 65 °C. Após a secagem, o material foi moído e preparado para análise em laboratório quanto aos teores de macronutrientes, realizados no laboratório central da UNESP, Campus de Jaboticabal, e de silício realizado no laboratório da Universidade Federal de Uberlândia, conforme metodologia proposta por Bataglia et al. (1983). Realizada somente para o Experimento 1.

d) Perda de massa fresca (PMF) (%): foi quantificada utilizando-se pesagem em balança digital com capacidade para 2000g e precisão de 0,1g. Realizada somente para o Experimento 2.

e) Teor de O_2 e CO_2 (%) : Através de orifícios realizados nas embalagens, foram coletadas as amostras da atmosfera no interior das mesmas, com o aparelho PBI-DANSENSOR, modelo Check Mate, o qual retira cerca de 2 mL de gás por amostragem. Realizada somente para o Experimento 3.

f) Firmeza (kgf cm^2): foi medida com a utilização do aparelho Wiltmeter®. Para a mensuração da firmeza a folha foi submetida à compressão em anteparo, até que sua aplanação obstruísse a passagem de ar através dos poros. A menor pressão que reduz o fluxo de ar até zero é a estimativa da pressão de aplanação e do turgor celular (CALBO, 1991). Experimentos 2 e 3.

g) Acidez titulável (AT) (g ácido citríco 100 g^{-1} de tecido fresco): as folhas velhas e novas foram trituradas e pipetou-se 10 mL que foi quantificado utilizando-se o método descrito pela AOAC (1997). Experimentos 2 e 3.

h) pH: determinado utilizando-se um peagômetro modelo Tec-3MP, segundo técnica da AOAC (1997). Experimento 2.

i) Sólidos solúveis (SS) (°Brix): foi dosado em gotas extraídas do tecido fresco triturado, quantificado em refratômetro digital Atago PR-101 Palette (AOAC, 1997). Experimentos 2 e 3.

j) Atividade da enzima peroxidase (POD) (µmoles de H_2O_2 degradado $g^{-1}min^{-1}$): pesou-se 10 gramas da amostra (folhas velhas e novas misturadas), a qual foi adicionada 20 mL de tampão fosfato, pH 6,7. Homogeneizou-se por 1 minuto e em seguida centrifugou-se a 10.000 rpm por 10 minutos, a 4 °C utilizado-se o sobrenadante. Para a determinação, pipetou-se em tubos de ensaio: 0,5 mL de solução A (H_2O_2), 0,5 mL de solução B (fenol), 0,7 mL da solução tampão e 0,3 mL do extrato. Os tubos foram aquecidos em banho-maria a 30 °C por 5 minutos. Adicionou-se 2 mL de álcool etílico a 95%. A leitura da absorbância foi feita em espectrofotômetro a 505nm (MATSUNO;URITANI, 1972). Experimentos 2 e 3.

l) Atividade da enzima polifenoloxidase (PPO) (µmoles de fenol degradado $g^{-1}min^{-1}$): utilizou-se o mesmo extrato preparado para a determinação da atividade da enzima peroxidase. Foi pipetado em cada tubo de ensaio: 0,5 mL da solução B (fenol), 0,7 mL da solução tampão e 0,3 mL de extrato. Posteriomente,

foram aquecidos em banho-maria a 30 °C, por 5 minutos. Adicionou-se 2 mL de álcool etílico a 95%. A leitura da absorbância foi realizada em espectrofotômetro a 420 nm (ADNAN;AUGUSTIN;GHAZALI, 1986). Experimentos 2 e 3.

m) Atividade da enzima fenilalanina amônia-liase (PAL) (nmoles min^{-1}): pesou-se 0,1g da amostra (folhas velhas e novas misturadas) triturada em nitrogênio líquido e em seguida foram adicionados 10 mL da solução tampão de borato 0,1 M. As amostras foram centrifugadas por 20 minutos a 4^{o}C (12000 rpm). Para determinação, pipetou-se em tubos de ensaio: 1,0 mL do extrato e 2 mL da solução tampão de borato 0,2 M. Os tubo foram aquecidos em banho-maria a 36ºC por 5 minutos. Posteriormente, foi adicionado 1mL de fenilalania e, em seguida, os tubos foram incubados em banho-maria durante 1 hora à 36 °C. Na sequência os tubos foram agitados com 0,1 mL de HCl a 6M, adicionado. A leitura da absorbância foi feita em espectrofotômetro a 290 nm conforme o adaptado de PEIXOTO et al. (1999). Realizada somente para o Experimento 2.

n) Teor de clorofila (µ g^{-1}): pesou-se 6 g da amostra (folhas velhas e novas misturadas) a qual foi macerada com acetona a 80%. Posteriormente, foi realizada a filtragem em papel de filtro e lavado por três vezes com acetona 80%. O volume do extrato foi ajustado para 50 mL em balão volumétrico. As leituras foram realizadas em espectrofotômetro nos comprimentos de onda de 645 nm e 663 nm (ARNON, 1949). Experimentos 2 e 3.

o) Análises microbiológicas: O número mais provável (UFC g^{-1}) de coliformes totais e fecais (n°g^{-1}) a 45 °C, e de microrganismos mesófilos em alfaces minimamente processadas foram determinados usando-se o método de inoculação de homogeatos do vegetal e suas diluições em tampão de Butterfield sobre Agar, em condições aeróbicas (APHA, 2001). Realizada somente para o Experimento 3.

3.5. Análises estatísticas

Para o experimento 1, foi utilizada análise de regressão e os modelos foram selecionados observando a significância do teste *F* para cada modelo e seus respectivos coeficientes de determinação. Para os demais experimentos, os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) utilizando o

software SAS (SAS Institute Inc.) e o efeito dos tratamentos, quando significativo, por meio do Teste *F*. Diferenças significativas ente os resultados serão comparados usando diferença mínima significativa (DMS) com 95% de intervalo de confiança ($P \leq 0,05$) (STEEL; TORRIE 1987).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Produção de alface americana em função de concentrações de silício na solução nutritiva, em hidroponia

Na colheita a massa fresca da alface aumentou linearmente com o incremento de Si na solução nutritiva, atingindo 493,2 g (Figura 1). Resultados semelhantes foram verificados por Resende et al. (2003) e Resende; Yuri;Souza (2007) ao observarem respostas positivas para alface americana em pulverização com Si, ambos verificaram incremento nos valores de massa fresca comercial e total.

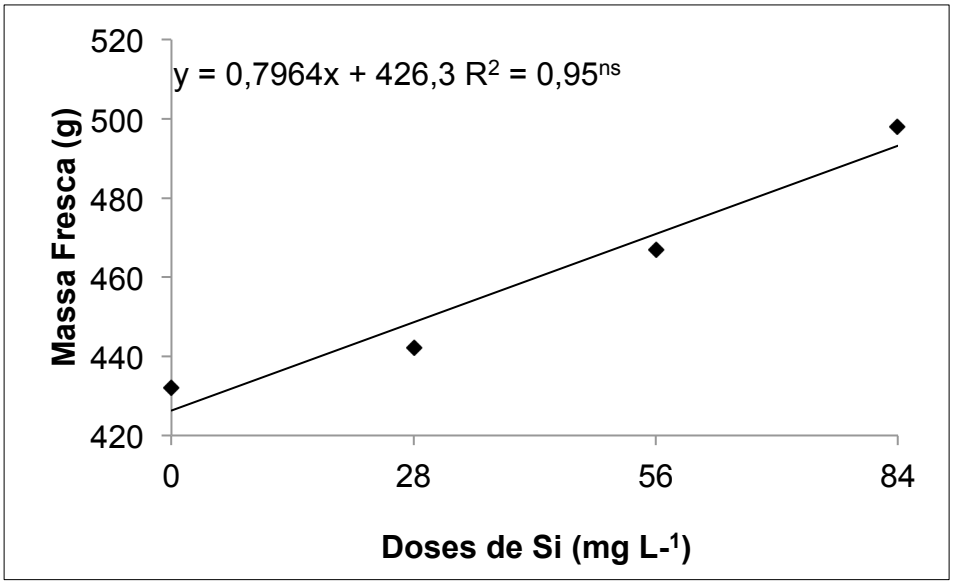

Figura 1. Massa fresca de alface 'Lucy Brown', 58 DAS em função das quantidades de silício (Si) aplicadas, na solução nutritiva.

Com relação à massa seca observou-se que os dados relativos às doses de silício ajustaram-se ao modelo quadrático (Figura 2). A variação da massa seca foi pequena em relação à massa fresca que obteve um aumento crescente com o incremento da concentração de silício. Tal fato indica que a aplicação de silício fez com que a planta perdesse menos água aumentando a turgidez das células e consequentemente influenciando na redução da transpiração, uma vez que o silício tende a ficar acumulado na epiderme das folhas servindo de barreira para a perda de água (BARBOSA FILHO et al., 2001).

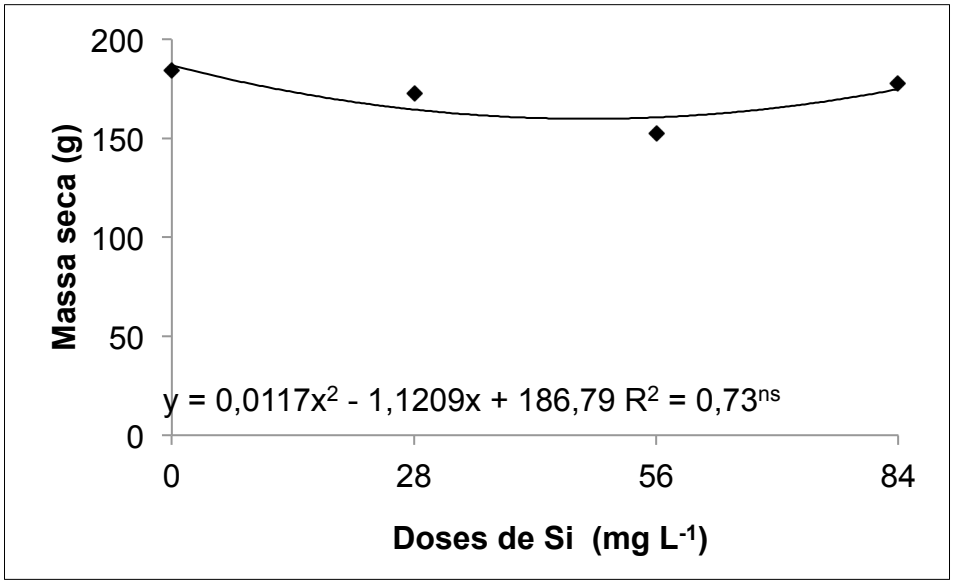

Figura 2. Massa seca de alface 'Lucy Brown' em função das quantidades de silício (Si) aplicadas na solução nutritiva.

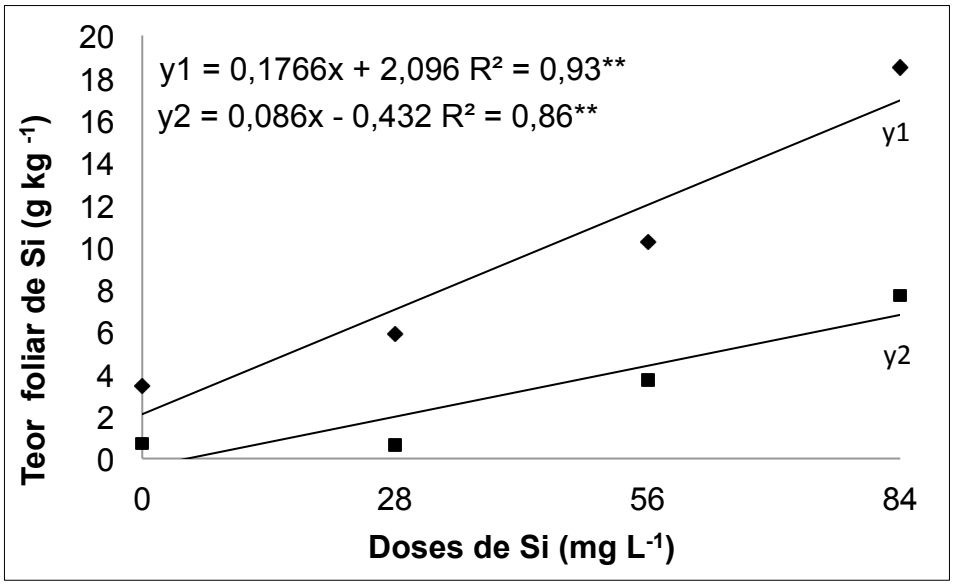

Figura 3. Teor de silício nas folhas velhas (y1) e nas folhas novas (y2) da alface 'Lucy Brown' em função das quantidades de silício (Si) aplicadas na solução nutritiva.

Foi observado que o teor de silício, nas folhas velhas e nas folhas novas de alface americana foi crescente de acordo com o aumento de Si na solução nutritiva (Figura 3). A presença de silício nas plantas que não receberam o mesmo pode ser explicada pelo fato de o silício ser um elemento abundante na natureza, estando presente em toda parte, inclusive na água (LUZ;GUIMARÃES;KORNDORFER, 2006).

Voogt;Sonneveld (2001) observaram que a absorção de Si na alface foi pequena, e o conteúdo de Si nas plantas que receberam o tratamento foi pouco maior em comparação as do tratamento sem Si.

Aos 11 dias após o transplante, verificou-se que a adição de Si na solução nutritiva proporcionou maior desenvolvimento das raízes e da parte aérea, na colheita essa diferença não foi verificada (Figura 4). O Si pode estimular o crescimento e a produção vegetal devido a maior rigidez estrutural dos tecidos (PELEG et al., 2010). Nas plantas de alface, o efeito do silicato de cálcio pode ser explicado pela maior disponibilidade de Si nas plantas, o que pode elevar os conteúdos de hemicelulose e de lignina, aumentando a rigidez das células vegetais (BARBOSA FILHO et al., 2001).

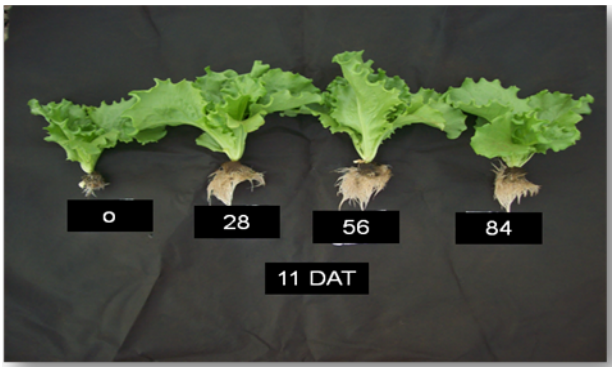

Figura 4. Aspecto da alface 'Lucy Brown' aos 11 dias após o transplante (DAT), em função das doses 0, 28, 56 e 84 mg L^{-1} de silício aplicadas na solução nutritiva.

Não ocorreu diferença significativa para nitrogênio e enxofre nas folhas novas e velhas de alface. Os demais macronutrientes tiveram efeito significativo das concentrações de Si.

Foi observado que o teor de fósforo (P) nas folhas velhas foi maior para o tratamento com 48,4 mg L^{-1} de Si (Figura 5) e ocorreu decréscimo deste nutriente nos tratamentos com maiores concentrações. Entretanto, nas folhas novas o maior teor de P ocorreu na concentração de 43 mg L^{-1} de Si. Melo (2005) demonstrou interação entre P e Si no solo e na planta ao aplicar doses crescentes de P e silicato de cálcio ao solo cultivado com capim-marandu (*Brachiaria brizantha*) e pode observar que as maiores respostas à interação foram obtidas através da aplicação de altas doses de Si com doses baixas de P, indicando que elevadas doses de Si podem reduzir a aplicação de P. Neste trabalho pode-se observar que em concentrações mais elevadas de Si ocorreu menor absorção de P pela planta.

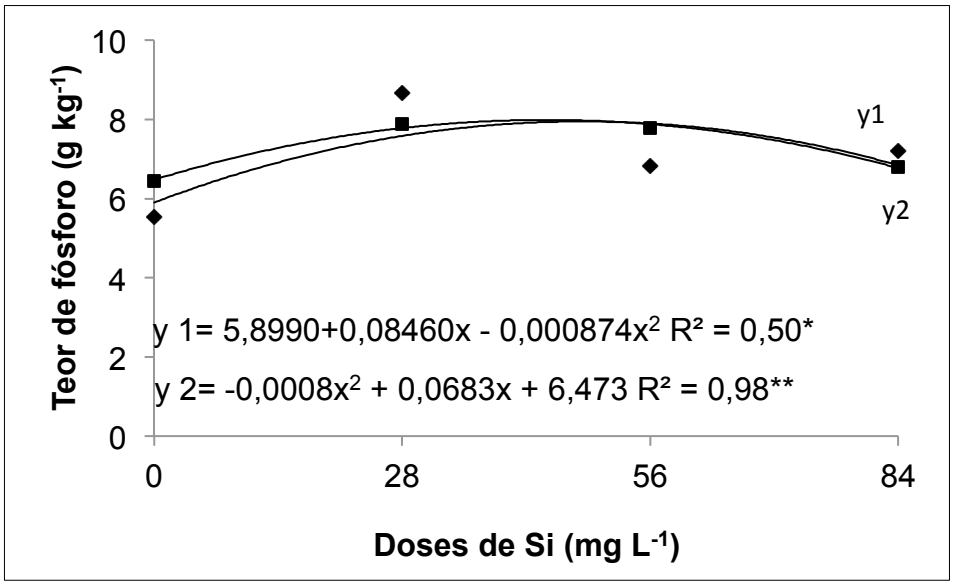

Figura 5. Teor de fósforo nas folhas velhas (y1) e nas folhas novas (y2) da alface 'Lucy Brown' em função das quantidades de silício (Si) aplicadas na solução nutritiva.

Os teores de potássio (K) foram maiores para as folhas mais novas na concentração de 45 mg L^{-1} de Si (Figuras 6). Nas folhas velhas o maior teor de K ocorreu para a concentração de 44 mg L^{-1} de Si (Figura 6). O K tem papel importante na abertura e no fechamento dos estômatos, além disso, é responsável pela ativação das enzimas envolvidas na respiração e na fotossíntese e é indispensável na translocação e armazenamento de fotoassimilados (TAIZ e ZEIGER, 2004; MEURER, 2006). Assim como o potássio, o silício também está associado a manutenção do fechamento dos estômatos reduzindo a perda de água por transpiração.

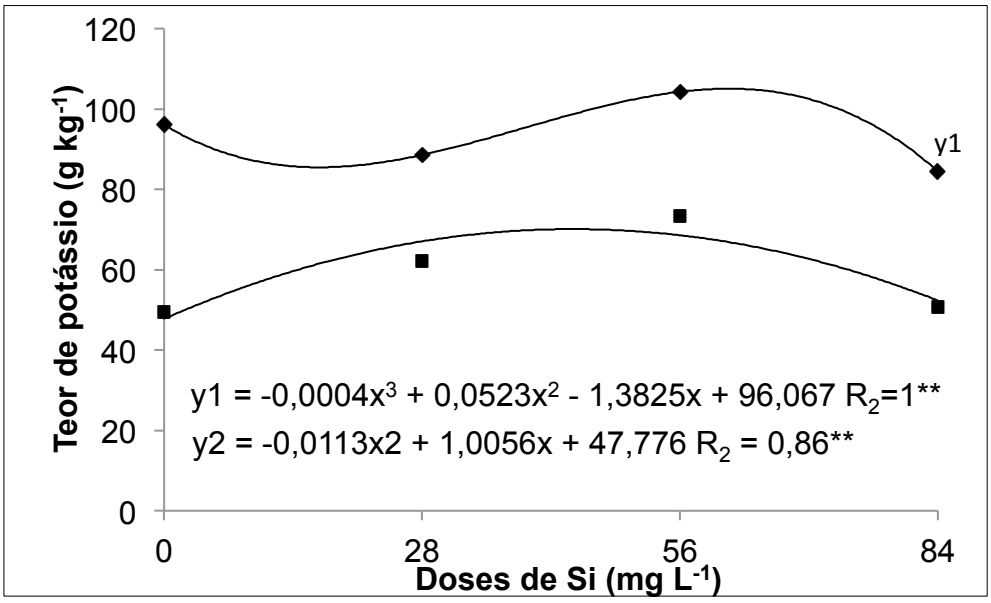

Figura 6. Teor de potássio nas folhas velhas (y1) e nas folhas novas (y2) da alface 'Lucy Brown' em função das quantidades de silício (Si) aplicadas na solução nutritiva.

Os teor de cálcio (Ca) nas folhas novas e velhas da alface 'Lucy Brown' apresentaram ajustes quadráticos (Figura 7), sendo os maiores teores encontrados nas folhas velhas na concentração de 47,1 mg L^{-1} de Si, para as folhas novas o maior teor de cálcio ocorreu na concentração de 42,7 mg L^{-1} de Si . Esta maior concentração nas folhas velhas deve-se ao fato do Ca ser um nutriente pouco móvel e a sua redistribuição pelo floema praticamente não ocorre. A absorção de a cálcio nas folhas novas é menor pois elas transpiram menos (PRADO, 2008).

De acordo com Marschner (1995), existe uma relação inversa entre a necessidade de Ca pelas plantas e a habilidade destas em absorver o Si. Dessa forma, o Ca, que participa da formação e estruturação da parede celular pela sua ligação com grupos R-COO- de ácidos poligalacturônicos (pectinas) da lamela média (MARSCHNER, 1995), poderia ter sua função afetada pela presença do Si. De acordo com Inanaga;Okasaka;Tanaka (1995), no arroz, o Si poderia ligar-se a carboidratos-fenol ou carboidratos-lignina de modo similar ao Ca e, dessa forma, competir com este pelos sítios de ligação na parede celular. Com base nestas considerações, pode-se formular a hipótese que a deficiência de Ca com o componente estrutural na parede celular do arroz poderia ser compensada pela maior absorção de Si.

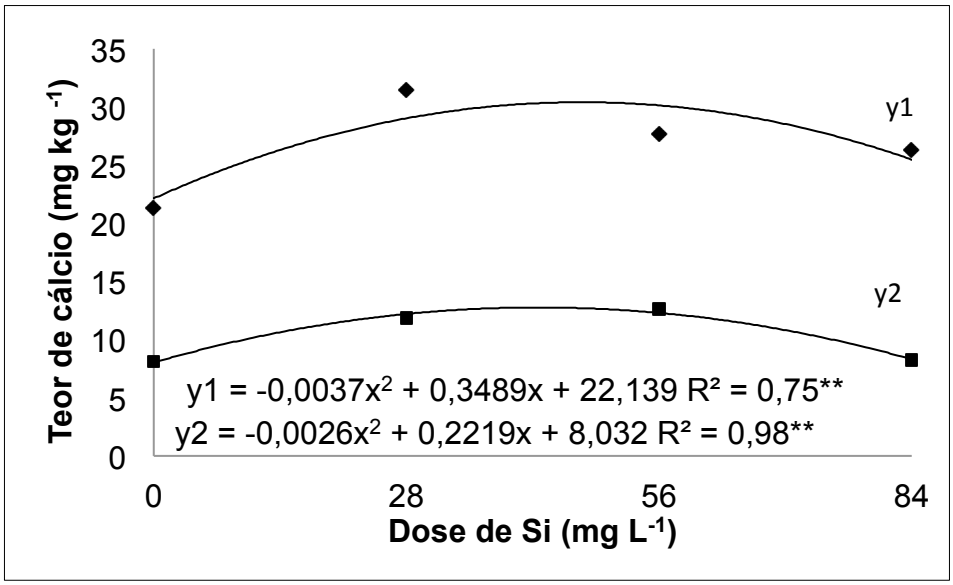

Figura 7. Teor de cálcio nas velhas (y1) e nas folhas novas (y2) da alface 'Lucy Brown' em função das quantidades de silício (Si) aplicadas na solução nutritiva.

Semelhante ao que ocorreu com o Ca, os maiores teores de magnésio (Mg) ocorreram nas folhas velhas. No entanto, os maiores teores de Mg ocorreram nas folhas velhas e nas folhas novas na concentração de 41 mg L^{-1} de Si, as duas equações ajustaram-se ao modelo quadrático (Figura 8).

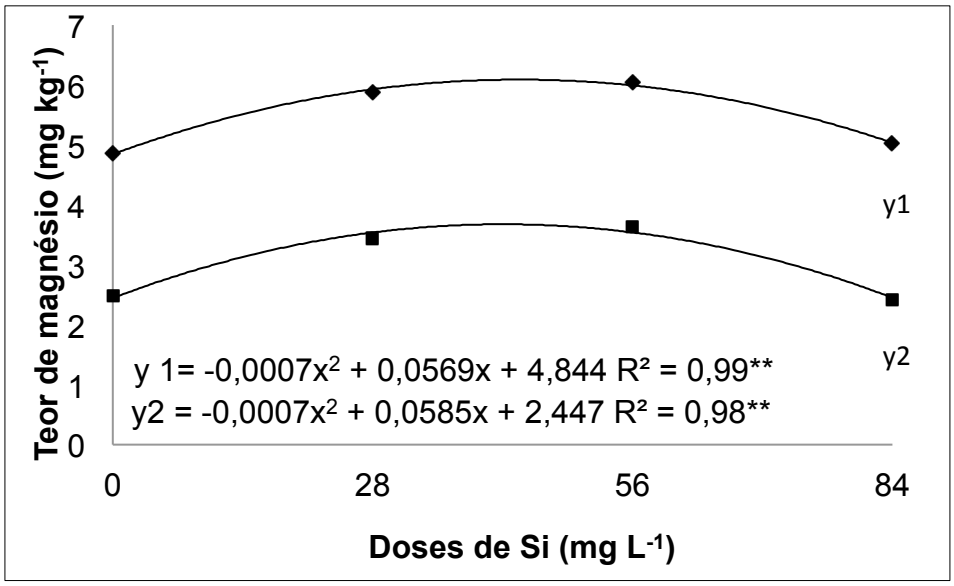

Figura 8. Teor de magnésio nas folhas velhas (y1) e nas folhas novas (y2) da alface 'Lucy Brown' em função das quantidades de silício (Si) aplicadas na solução nutritiva.

A concentração de 84 mg L^{-1} de Si foi a que proporcionou maior peso para as alfaces. O teor de silício nas folhas externas a cabeça foi superior ao das

folhas da cabeça, no entanto, em ambos a quantidade acumulada foi proporcional a concentração aplicada em solução hidropônica.

4.2 Armazenamento refrigerado de alface americana após condução em solução nutritiva contendo silício

Nas folhas das alfaces armazenadas a 8 °C e a 22 °C observou-se que a firmeza com o tratamento de 84 mg L^{-1} de silício apresentou os maiores valores , (Figura 9).

Quando a hortaliça começa a perder água, o silício que está na forma de ácido monossilícico se transforma em ácido polissilícico, e ao se polimerizar reduz a flexibilidade das paredes dos estômatos, fazendo com que estes permaneçam fechados, reduzindo a perda de água por transpiração, o que favorece a manutenção da umidade dos tecidos durante o período de armazenamento (KORNDORFER et al., 2002; LUZ;GUIMARÃES;KORNDORFER, 2006) .

A perda de massa fresca foi menor nas alfaces submetidas ao tratamento com 84 mg L^{-1} de silício tanto nas armazenadas a 8 °C quanto a 22 °C (Figuras 10). Estes dados reafirmam o observado para a firmeza, o que permite atribuir ao silício a manutenção da turgidez.

O murchamento e o enrugamento das hortaliças ocorrem devido à transpiração em consequência do déficit de pressão de vapor (DPV), o qual representa a diferença entre a pressão de vapor dos tecidos do produto e a pressão de vapor do ar circundante (CHITARRA;CHITARRA, 2005).

A perda de água em vegetais armazenados resulta em perda de massa e perda da qualidade, pois ocorrem reações metabólicas que alteram a textura do produto. O murchamento pode ser minimizado com a redução da transpiração, que pode ser feito com o aumento da umidade relativa no local da armazenagem, redução da temperatura, utilização de nutriente na pré-colheita que influenciam na estrutura celular do vegetal, entre outros (GALVÃO, 2009).

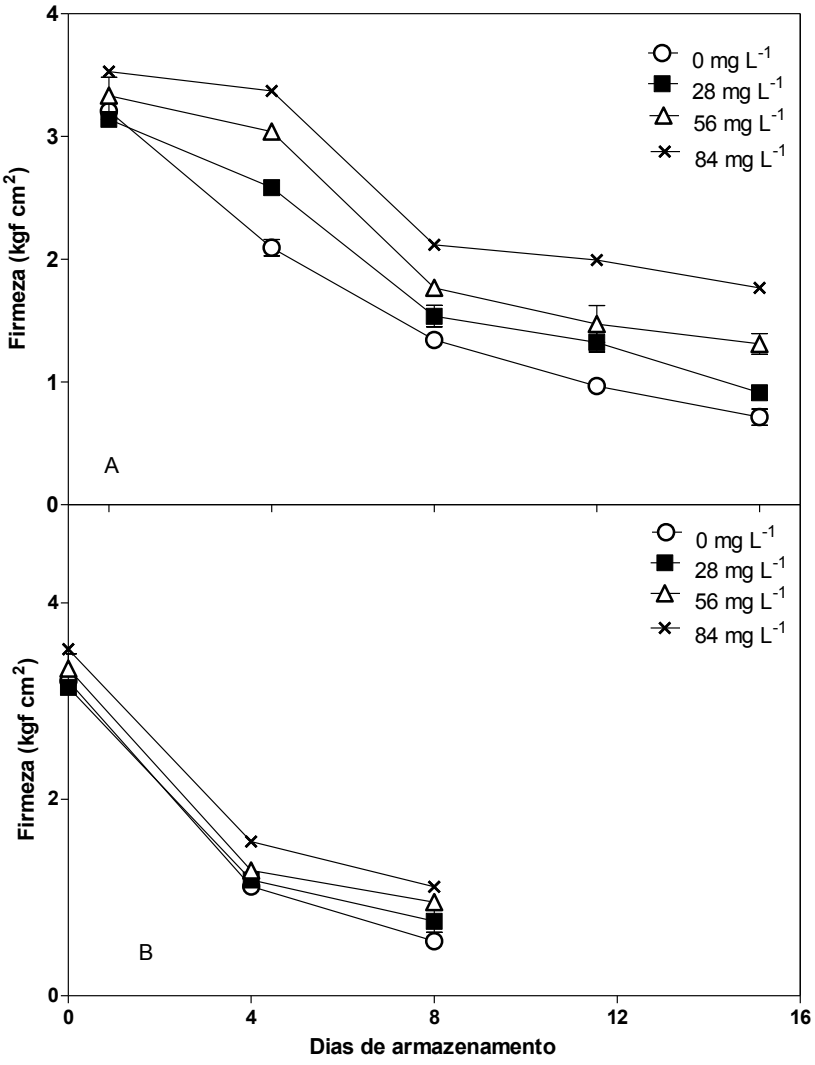

Figura 9. Firmeza, em folhas de alface 'Lucy Brown', armazenada a 8 °C (A) e 22 °C (B) e 80±3% UR, em função das quantidades de silício aplicadas na solução nutritiva.

França (2011) verificou nas alfaces 'Lucy Brown' e 'Vitória de Santo Antão' que a umidade relativa no ambiente de armazenamento a 5 °C (55% UR), em relação ao ambiente a 22 °C (42% UR) propiciou menor perda de massa fresca nas folhas novas armazenadas a essa temperatura, uma vez que a maior umidade promove redução do gradiente de pressão de vapor de água entre o produto e a atmosfera.

Segundo Oliveira (2012) houve retardamento da perda de massa fresca ao longo do armazenamento em coentro acondicionado a 5 °C e 80% de UR,

indicando o efeito benéfico da redução da temperatura no prolongamento da vida pós-colheita das hortaliças.

A utilização de silício na pré-colheita, mesmo em pequenas concentrações, pode ser uma maneira viável para controlar a perda de massa fresca durante o período de armazenamento.

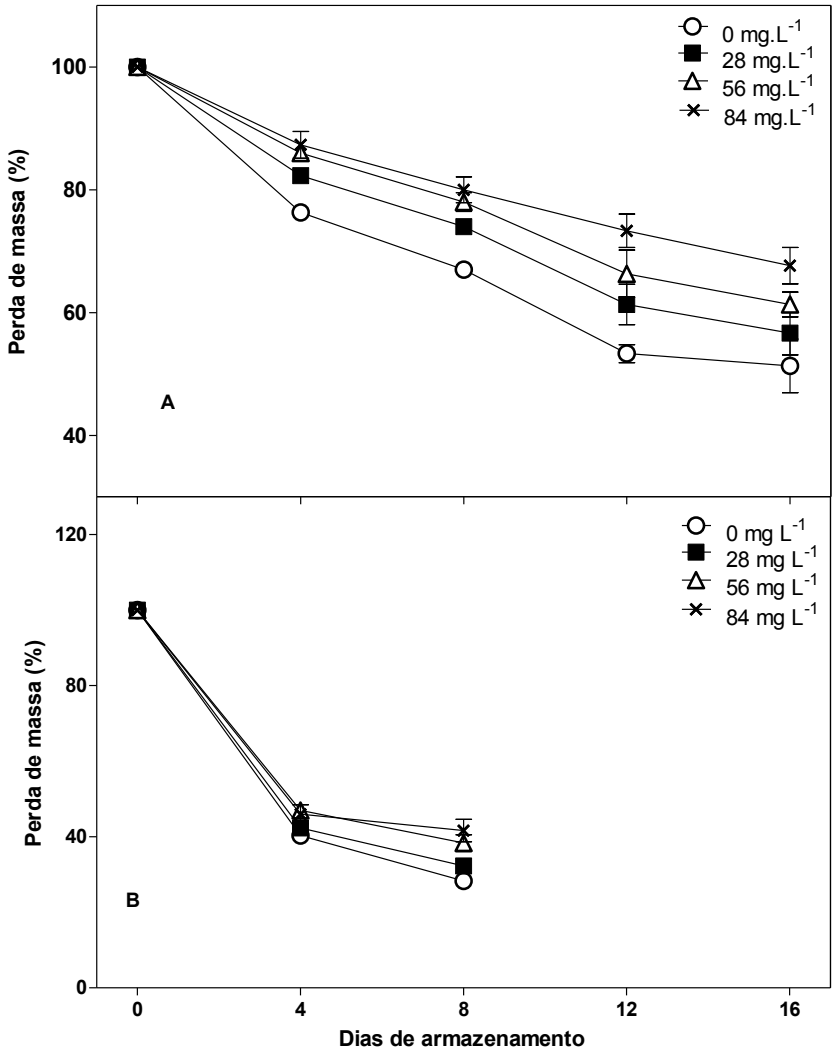

Figura 10. Perda de massa fresca, de alface 'Lucy Brown', armazenada a 8 °C (A) e 22 °C (B) e 80±3 %UR , em função das quantidades de silício aplicadas, na solução nutritiva.

Durante o período de armazenamento a 8 °C houve aumento na teor ácidos titulável até 12° dia, seguido de redução, principalmente no tratamento controle (Figura 11).

Durante o armazenamento a 22 °C o aumento no teor de ácidos orgânicos até o quarto dia foi bastante intenso e a partir deste período observou-se nas alfaces tratadas com silício menor acidez que da testemunha (Figura 11).

A redução do teor de ácidos orgânicos no final do período de armazenamento, provavelmente foi ocasionada pelo seu uso como substrato no processo respiratório (CHITARRA;CHITARRA, 2005).

Houve aumento nos valores de sólidos solúveis durante o período de armazenamento nas alfaces a 8°C. Este fato pôde ser evidenciado, principalmente, para os tratamentos com 28 e 56 mg L^{-1} de silício (Figura 12) que apresentaram valores médios de 5,6 °Brix. Esses valores foram maiores que os encontrados por Santos et al. (2010), quando avaliaram a qualidade da alface armazenada a 5 °C por 10 dias no qual encontraram o valor médio de 3,4 °Brix.

Nas alfaces armazenadas em temperatura ambiente (22 °C) observou-se aumento dos valores de sólidos solúveis até o 4° dia com posterior estabilização até o 8° dia. O tratamento com 28 mg L^{-1} de silício foi o que levou ao maior valor de sólidos solúveis (Figura 12). Esse aumento nos sólidos solúveis pode ser devido ao processo natural de senescência do vegetal, quando ocorre solubilização da parede celular dando origem a substâncias miscíveis em água, como o ácido galacturônico (CHITARRA;CHITARRA, 2005).

Em todos os tratamentos com silício, observa-se que o pH das alfaces armazenadas a 8 °C mantiveram-se constantes durante todo o período de armazenamento, com valor médio de 5,8 para as alfaces tratadas com 84 mg L^{-1} no 16° dia após o armazenamento (Figura 13).

Nas armazenadas a 22 °C foi verificado que nos primeiros quatro dias de armazenamento houve pequena variação nos valores de pH mas a partir deste período ocorreu incremento nestes valores (Figura 13). Todos os tratamentos com silício obtiveram valores médios de 6,3. Os valores de pH dos produtos armazenados nas duas temperaturas são próximos aos encontrados por Stertz et al. (2005) que encontraram valor de 6,05, em amostras de alface crespa da cultivar Verônica, em cultivo hidropônico.

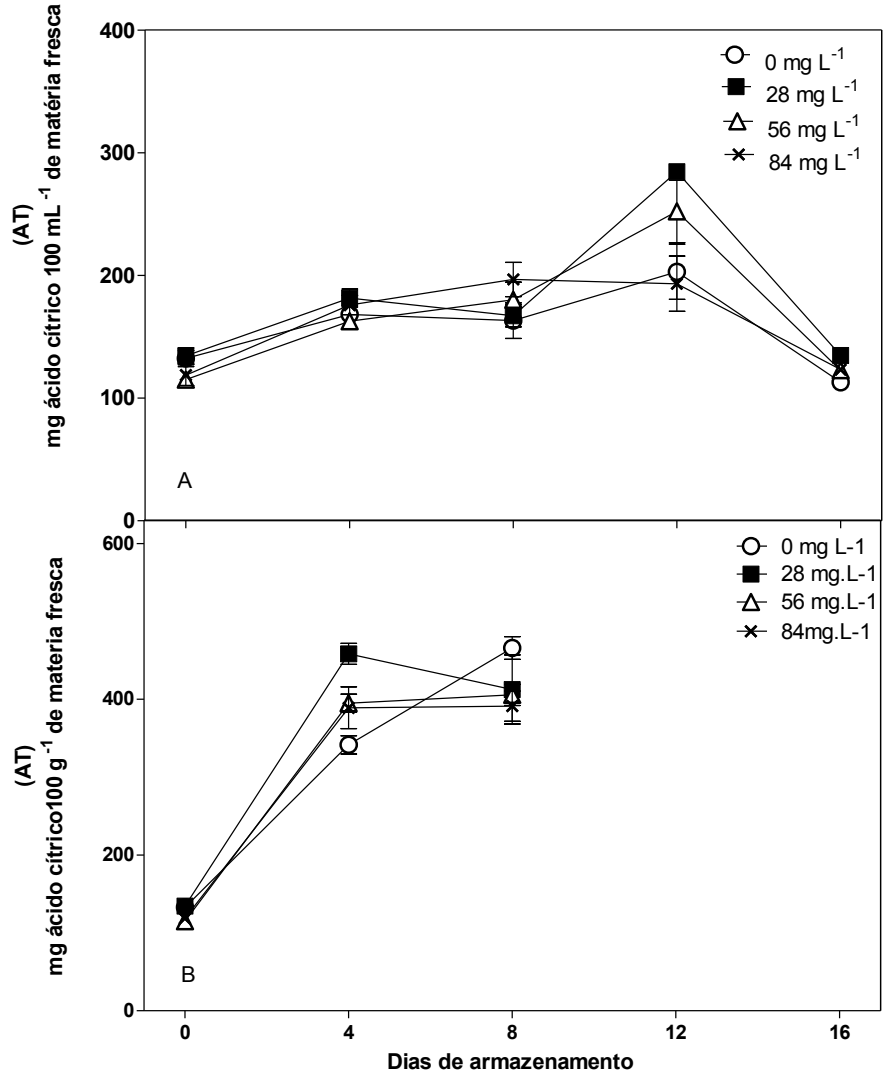

Figura 11. Acidez titulável (AT), de alface 'Lucy Brown', armazenada a 8 °C (A) e 22 °C (B) e 80±3% UR, em função das quantidades de silício aplicadas, na solução nutritiva.

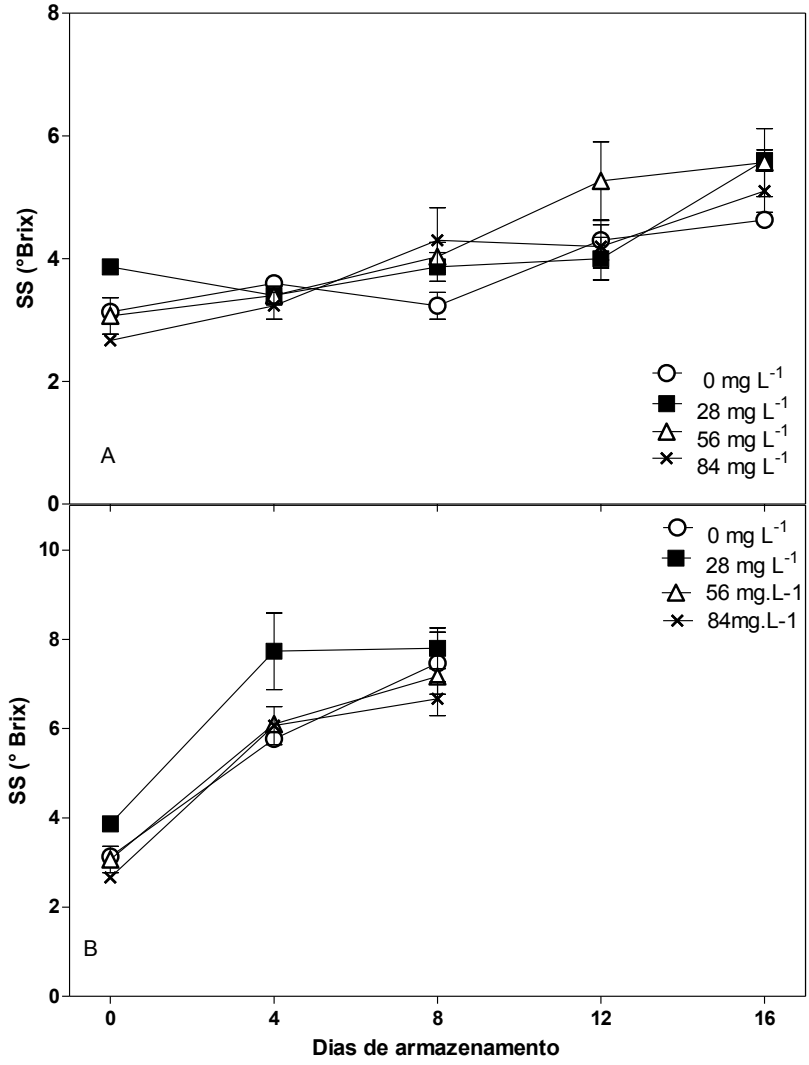

Figura 12. Sólidos Solúveis (SS), de alface 'Lucy Brown', armazenada a 8 °C (A) e 22 °C (B) e 80±3% UR, em função das quantidades de silício aplicadas, na solução nutritiva.

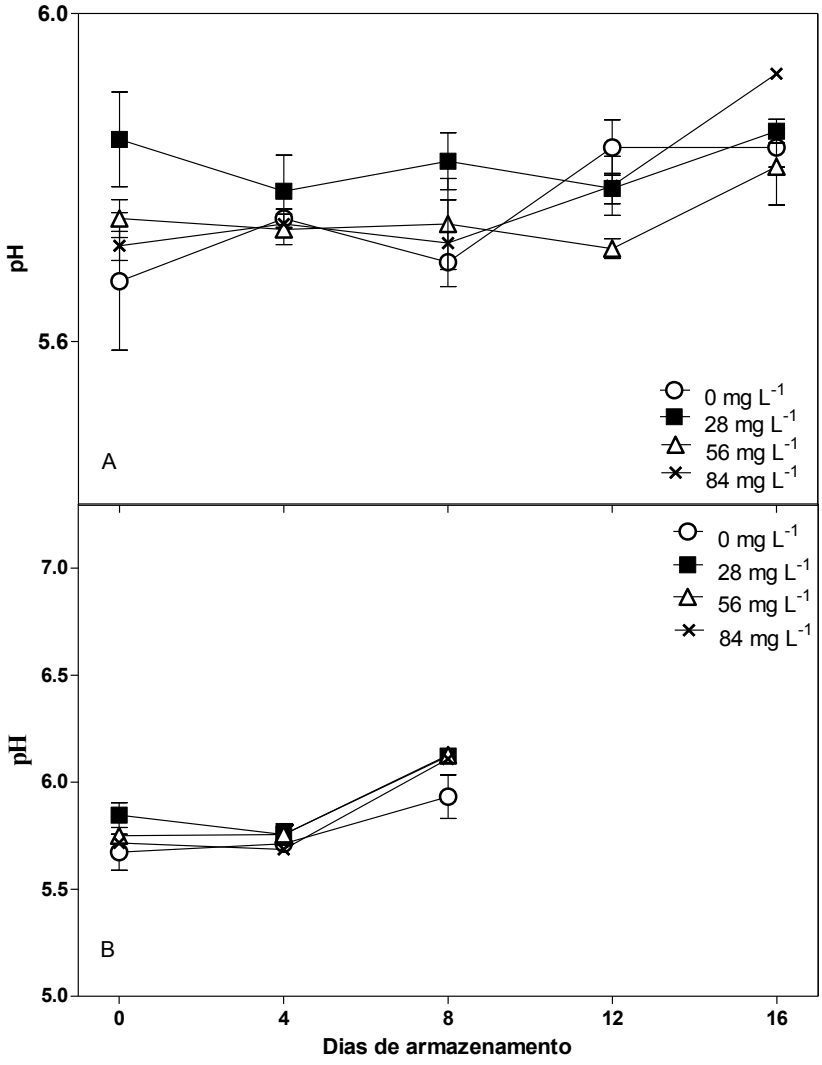

Figura 13. pH, de alface 'Lucy Brown', armazenada a 8 °C e 22 ° C e 80±3% UR, em função das quantidades de silício aplicadas, na solução nutritiva.

Nos teores de clorofila não houve grandes variações nos valores (Figura 14). No entanto, observou-se que para as alfaces submetidas à concentração de 56 mg L^{-1} se silício e armazenadas a 8 °C, o teor de clorofila foi estável até o quarto dia de armazenamento, ocorrendo posterior redução. Os teores de clorofila encontrados neste experimento são inferiores aos verificados por Morais et al. (2011) em alface crespa hidropônica, após 4 dias de armazenamento a 7 °C que foi de 387,7 mg $100g^{-1}$ de massa fresca o que foi atribuído à característica da cultivar, a alface americana possui folhas internas mais claras que outras cultivares de alface como é a crespa.

Nas alfaces armazenadas sob condições de ambiente (22 °C) não foi observado grandes alterações nos teores de clorofila durante o período de armazenamento, porém, ao final do experimento verificou-se que o teor de clorofila foi maior nas alfaces submetidas a concentração 28 mg L^{-1} de silício quando comparado aos demais tratamentos (Figura 14).

França (2011) observou que em alfaces da variedade “Vitória de Santo Antão”, o pré-resfriamento das folhas, seguido ou não de armazenamento refrigerado, não influenciou na coloração verde das folhas.

Barea;Reinehr (2006), ao avaliarem a redução da concentração de clorofila na alface armazenada a 5ºC e em presença de luz, observaram diminuição da concentração de clorofila da ordem de 50%, durante dez dias de armazenamento.

Durante o período de armazenamento foi observado aumento na atividade das enzimas polifenoloxidase (PPO) e peroxidase (POD) nas alfaces armazenadas a 8 °C (Figura 15). Houve maior atividade da PPO a partir do 12° dia de armazenamento, nos tratamentos com silício enquanto nos da testemunha este aumento foi constante (Figura 15A). No caso da POD, não aumento na atividade aconteceu durante todo o período de armazenamento (Figura 15B).

O escurecimento enzimático em alfaces é iniciado pela oxidação de compostos fenólicos, através da polifenoloxidase, onde, produtos iniciais, quinonas condensam-se rapidamente produzindo polímeros de coloração marrom insolúveis, as melaninas, afetando qualidade visual e, consequentemente, refletindo na qualidade do produto (HEIMDAL et al., 1995; MARTINEZ;WHITAKER, 1995).

A utilização do silício em hidroponia reduziram a atividade da enzima PPO e da POD retardando o escurecimento de alface ‘Lucy Brown’, a 8 °C.

Durante o período de armazenamento foi observado aumento na atividade da PPO e da POD das alfaces a 22 °C (Figura 16). A atividade da PPO no tratamento com 84 mg L^{-1} de silício foi a menor atividade enzimática (Figura 16A). No caso da POD, o tratamento com 56 mg L^{-1} de silício foi a que apresentou menor atividade quando comparado aos demais tratamentos (Figura 16B).

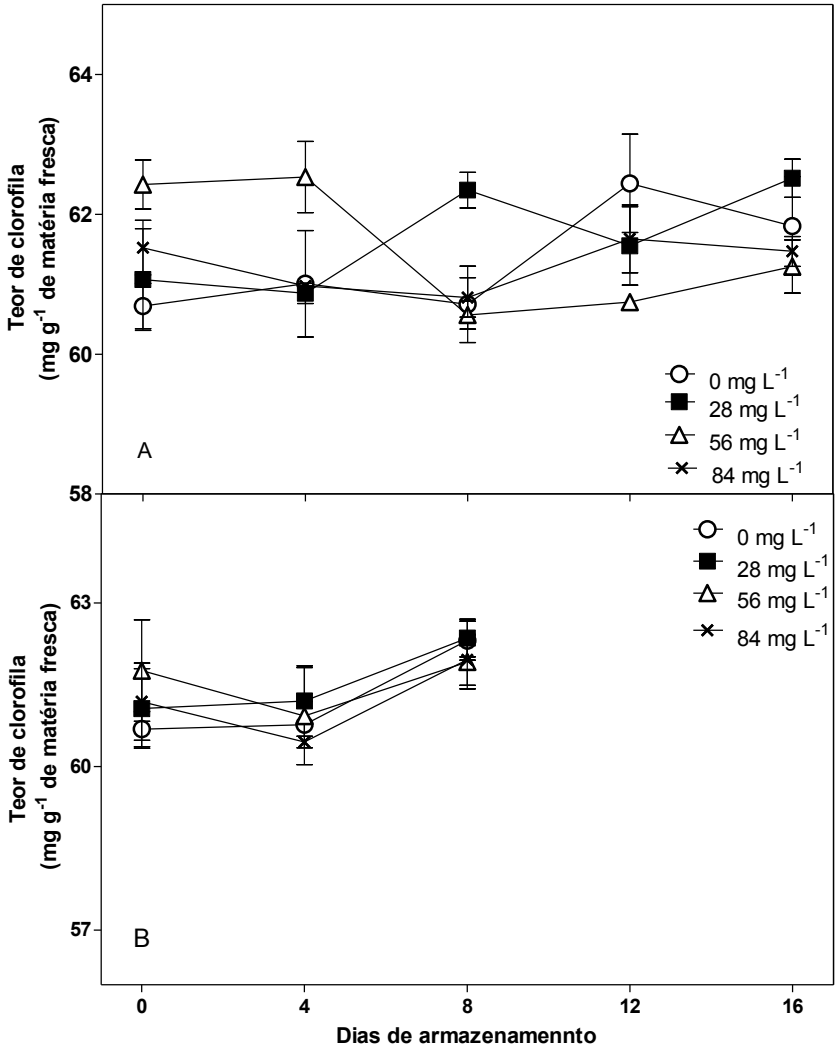

Figura 14. Teor de clorofila, de alface 'Lucy Brown', armazenada a 8 °C (A) e 22 °C (B) e 80±3% UR, em função das quantidades de silício aplicadas, na solução nutritiva.

As ações das enzimas POD e PPO afetam principalmente a capacidade das hortaliças em manterem suas características sensoriais, como cor e sabor. A atividade da peroxidase pode resultar em reações oxidativas que envolvem doadores de hidrogênio em alimentos. A inativação dessa enzima está associada à formação de odores indesejáveis em frutas e hortaliças e, é

considerada necessária para minimizar o risco de deterioração. De acordo com Lamikanra;Watson (2001), mudanças oxidativas e na coloração, decorrentes da atuação da PPO são resultantes das atividades da creolase e catecolase (VAMOS-VIGYAZO, 1981; PADIGLIA et al., 1995; PONCE; VALLE;ROURA, 2004).

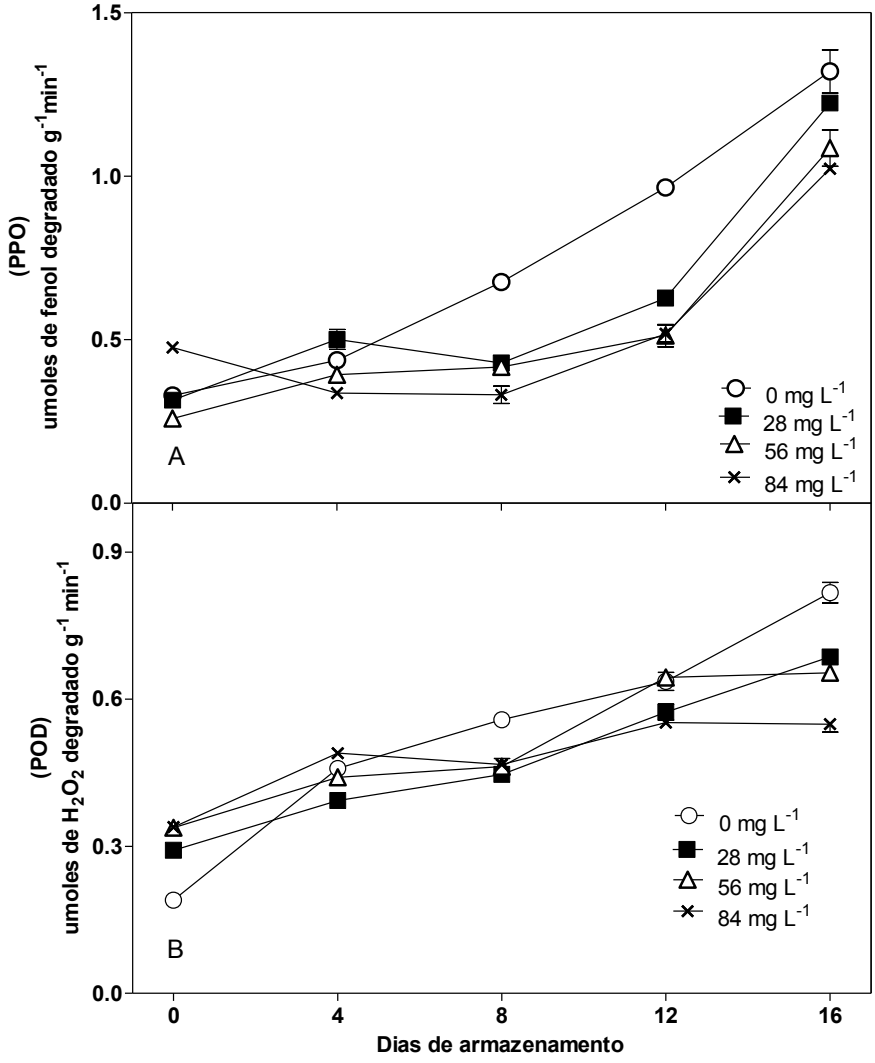

Figura 15. Atividade enzimática da polifenoloxidase (PPO) (A) e da peroxidase (POD) (B), de alface 'Lucy Brown', armazenada a 8 °C e 80±3% UR, em função das quantidades de silício aplicadas, na solução nutritiva.

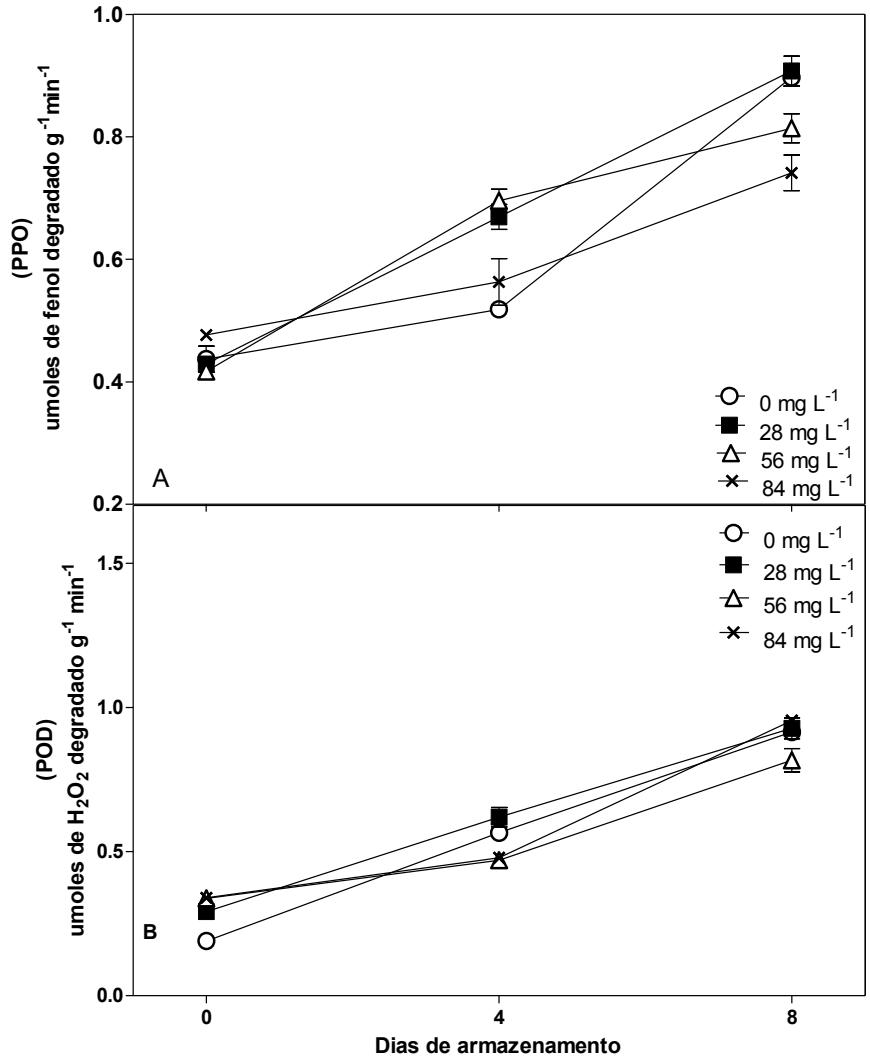

Figura 16. Atividade enzimática da polifenoloxidase (PPO) (A) e da peroxidase (POD) (B), de alface 'Lucy Brown', armazenada a 22 ° C e 80±3% UR, em função das quantidades de silício aplicadas, na solução nutritiva.

Os sintomas de escurecimento aos quatro dias após o armazenamento a 22 °C podem ser observados na Figura 17. Neste período, as que mantiveram a melhor aparência foram as submetidas ao tratamento com 56 e 84 mg L^{-1} de silício (Figura 22).

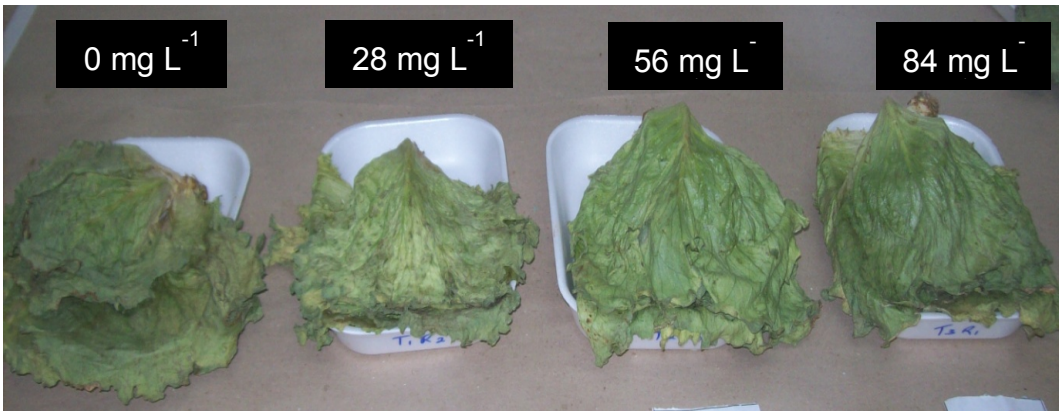

Figura 17. Sintomas de escurecimento em alface ‘Lucy Brown’, armazenada 22 °C e 80±3% UR, em função das quantidades de silício aplicadas, na solução nutritiva.

A atividade da enzima fenilalanina amônia-liase (PAL) diminuiu durante o período de armazenamento a 8 °C (Figura 18A).

Até o 4° dia após o armazenamento observou-se redução na atividade da PAL e a partir do 8° dia ocorreu um ligeiro aumento, este aumento da atividade da PAL para as alfaces armazenadas a 22 °C pode ter sido ocasionada devido ao estresse ocasionado na planta devido à alta temperatura e ao período em que o produto ficou exposto a esta temperatura elevada (Figura 18B).

É interessante observar que independente da concentração utilizada houve resposta positiva com relação à aplicação de silício na pré-colheita e seu efeito na pós-colheita

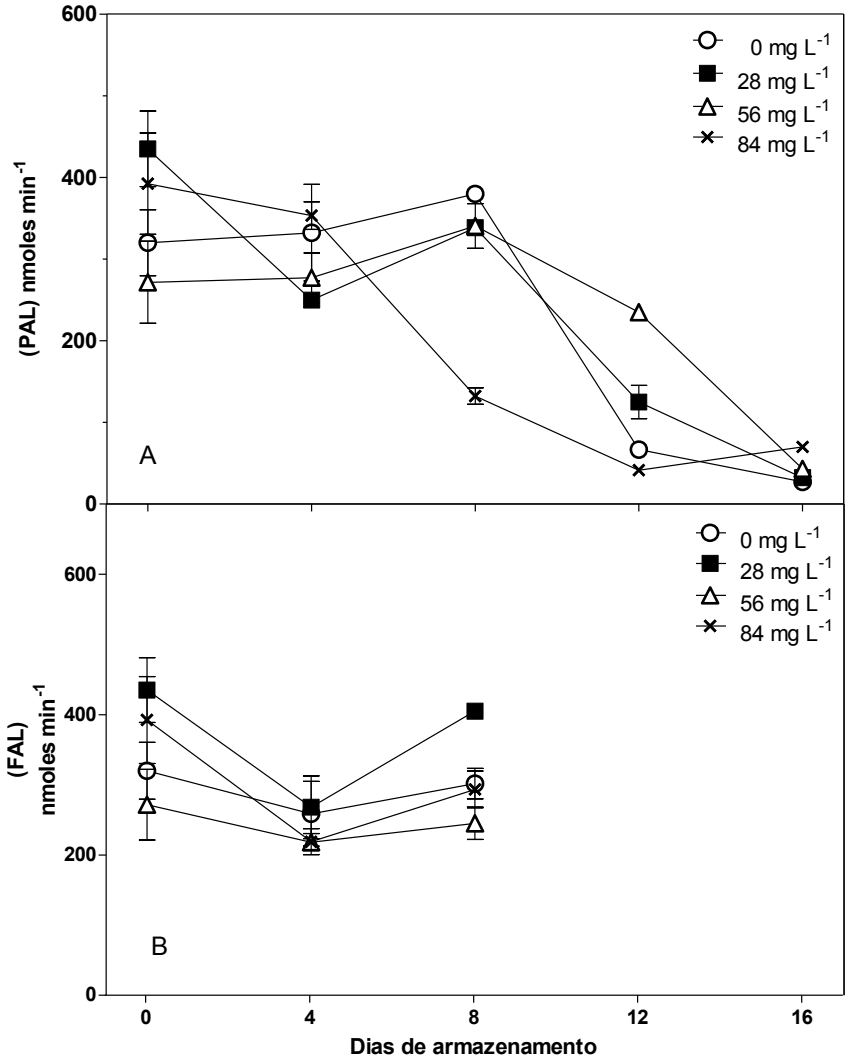

Figura 18. Fenilalanina amônia-liase (PAL), de alface 'Lucy Brown', armazenada à 8 °C (A) e 22 °C (B) e 80±3% UR respectivamente, em função das quantidades de silício aplicadas, na solução nutritiva.

4.3 Efeito do silício em características pós-colheita da alface após processamento mínimo

Até o quarto dia de armazenamento ocorreu redução nos níveis de O_2 e aumento nos níveis de CO_2 no interior das embalagens, devido a respiração estimulada pelas injúrias mecânicas causadas pelo processamento (Figura 19). Os resultados apresentados neste trabalho corroboram com os de Mattos

(2005), ao verificar que em alfaces minimamente processadas, ocorreu aumento na atividade respiratória após o processamento mínimo.

As alterações nos teores de O_2 e CO_2 foram maiores nas alfaces que receberam aplicação de silício, com destaque para o tratamento com 28 mg L^{-1}. Isto pode estar relacionado ao fato do silício estar mais presente nas paredes dos estômatos e nas células epidérmicas (BARBOSA FILHO et al., 2001) das alfaces tratadas com o silício, fazendo com que ocorresse, ao longo do armazenamento, a manutenção da integridade das células e, com isso, o processo respiratório mais intenso.

Os resultados estão de acordo com os obtidos por Della Colleta (2009) que verificou aumento nos níveis de CO_2 até o quarto dia de armazenamento com posterior redução até o 10° dia em cenouras, repolhos roxos e couves minimamente processados e acondicionados em embalagens de polietileno de alta densidade (PEAD).

Observou-se maior firmeza nas folhas de alface, proporcional à concentração de silício (Figura 20). O silício se caracteriza por fazer parte da estrutura da planta, sua presença na parede celular pode aumentar o conteúdo de hemicelulose e de lignina, aumentando a rigidez da célula (BARBOSA FILHO et al., 2001). Além disso, a sílica pode ser depositada como uma camada sob a cutícula. Esse efeito reduz a transpiração, mantém a célula mais túrgida e, consequentemente, a firmeza das folhas prolongando o armazenamento (KIM et al., 2002).

Quando a hortaliça começa a perder água após a colheita, o silício que se encontra na forma de ácido monossilícico é transformado em ácido polissilícico e, ao se polimerizar, diminui a flexibilidade das paredes dos estômatos mantendo-os fechados. Com isso, a perda de água por transpiração diminui (KORNDORFER et al., 2002; LUZ;GUIMARÃES;KORNDORFER, 2006).

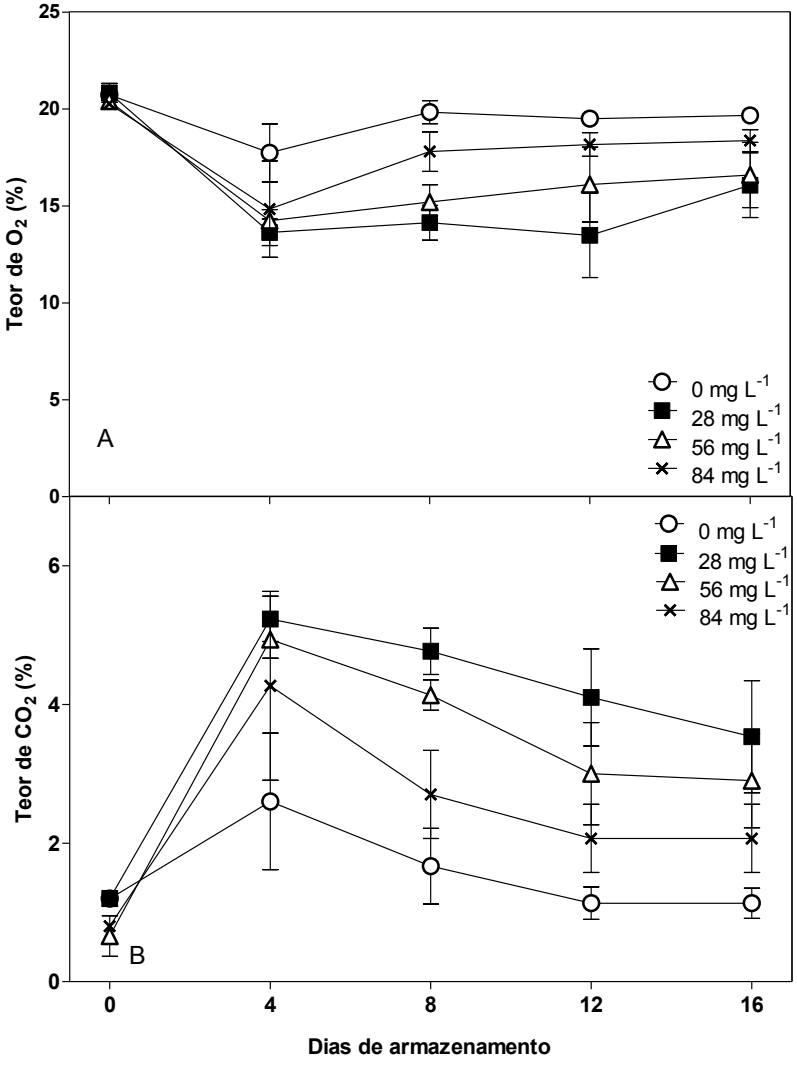

Figura 19. Teor de O_2 (A) e CO_2 (B), no interior das embalagens, contendo alface 'Lucy Brown' minimamente processada em função das quantidades de silício aplicadas, na solução nutritiva.

No decorrer do período de armazenamento, até o 8° dia, houve redução no teor de ácidos orgânicos (Figura 21). A redução da acidez titulável em produtos minimamente processados ocorre em consequência do metabolismo normal do CO_2 ou em resposta do tecido ao neutralizar a acidez gerada pelo CO_2 durante o processo respiratório (KADER, 1986). Mattos (2005) também observaram em alfaces minimamente processadas na redução no teor de ácidos orgânicos durante o período experimental, pois estes ácidos também são utilizados como substrato na respiração, apresentando resultados semelhantes aos encontrados neste trabalho.

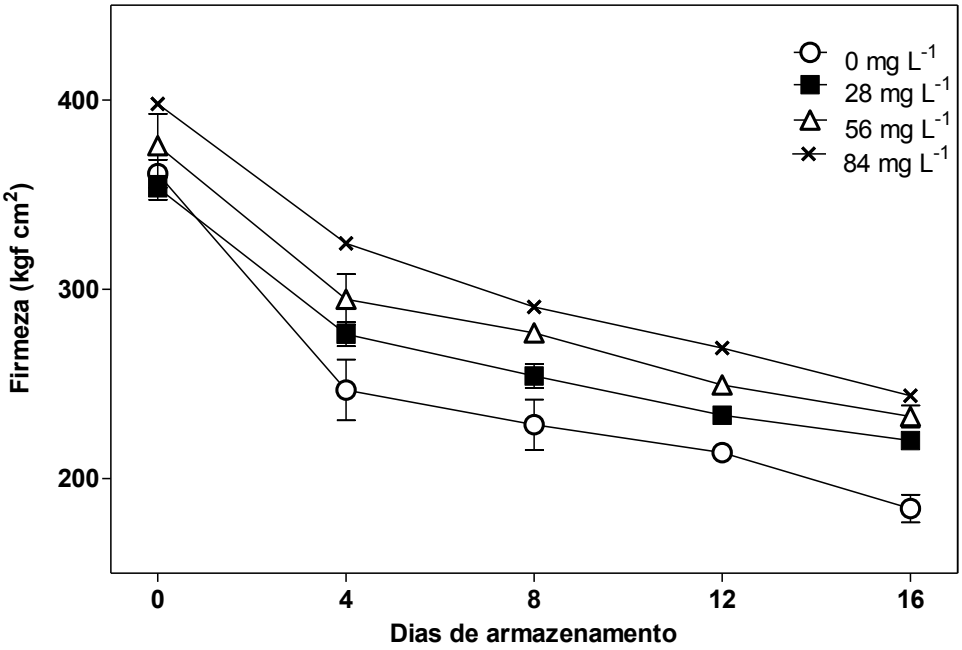

Figura 20. Firmeza, de alface 'Lucy Brown' minimamente processada em função das quantidades de silício aplicadas, na solução nutritiva.

Entretanto, a partir do 8° dia de armazenamento observou-se aumento na acidez, principalmente para o tratamento com 28 mg L^{-1} de silício (Figura 21). As alfaces tratadas com silício apresentaram maior quantidade de água (mais túrgidas) em suas células quando comparados aos outros tratamentos. Nestas células há maior produção de CO_2 e este reage com a água formando ácido carbônico, responsável pelo aumento da acidez. Segundo Chitarra;Chitarra

(2005) os compostos fenólicos apresentam caráter acídico, pois apresentam hidrogênio no seu grupamento hidroxílico,fazendo com que este grupo se desprenda por ionização quando entra em contato com a água podendo contribuir para a elevação da acidez durante o armazenamento. Isso está de acordo com os resultados obtidos neste experimento, ao verificar aumento nas atividades das enzimas polifenoloxidase e peroxidase a partir do 8° dia de armazenamento (Figura 24).

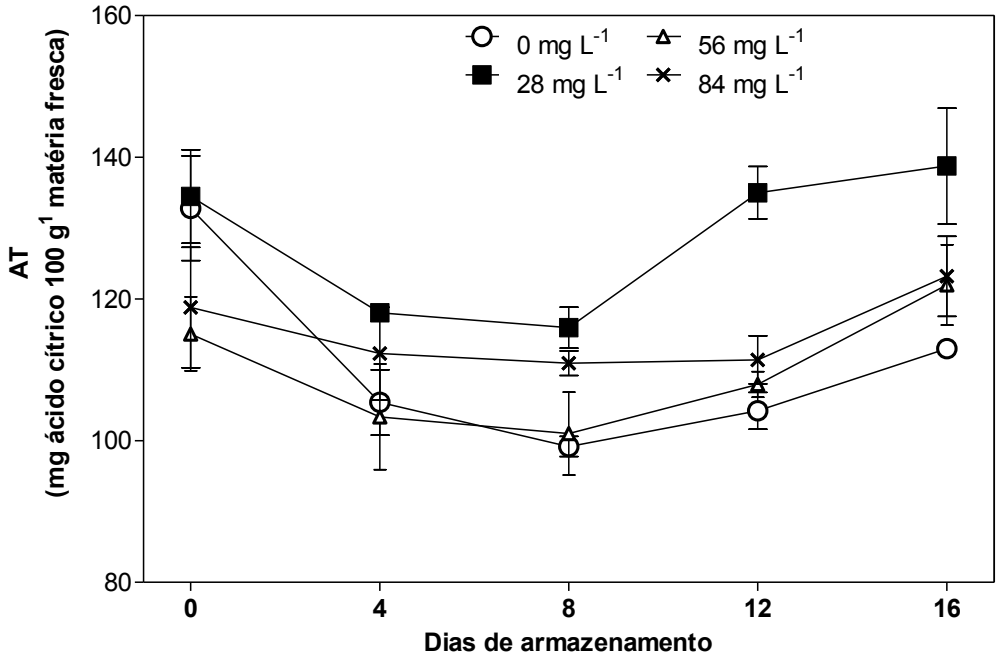

Figura 21. Acidez titulável (AT), de alface 'Lucy Brown' minimamente processada em função das quantidades de silício aplicadas, na solução nutritiva.

Verifica-se que os teores de sólidos reduziram durante o período de armazenamento até o 4° dia, mantendo-se constante até o final do período (Figura 22).

Os resultados estão de acordo com os encontrados por Roversi;Masson (2004) ao avaliar alface crespa minimamente processada embalada em sacos plásticos de polietileno com modificação ativa da atmosfera.

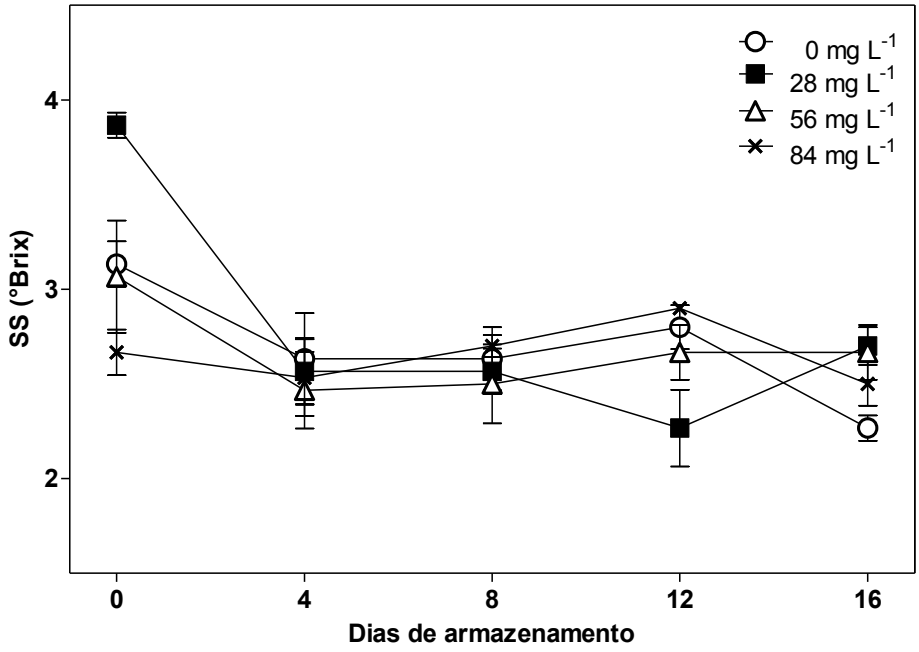

Figura 22. Sólidos solúveis, de alface 'Lucy Brown' minimamente processada em função de concentrações de silício na solução nutritiva.

Os teores de clorofila se mantiveram estáveis nos produtos minimamente processado durante o período de armazenamento, com os do controle apresentaram as menores médias. A menor degradação da clorofila durante o armazenamento foi baixa indicando manutenção da cor verde mantendo-se apta para o consumo até o final do armazenamento (Figura 23).

A baixa temperatura de armazenamento (3 °C) também deve ter contribuído para evitar a degradação deste pigmento, como efeito da diminuição do metabolismo do produto e, consequentemente, no controle de processos degradativos e na senescência do mesmo (HEATON;MARANGONI, 1996). Carnelossi et al. (2002) também constataram em embalagens de baixa permeabilidade, a 1 °C e 5 °C, que os teores totais de clorofila em couve minimamente processada se mantiveram constantes durante o período de armazenamento.

A atmosfera modificada, em virtude dos seus efeitos inibitórios no metabolismo, também deve ter contribuído para a manutenção dos teores relativos de clorofila. Isto indica que a redução nos níveis de O_2 e o aumento nos de CO_2 na atmosfera que envolve os produtos frescos é uma alternativa para

promover a retenção de clorofila e outros pigmentos durante o período de estocagem (MANTILLA et al., 2010).

Ao analisar plantas de *Valerianella locusta* cultivadas em meio hidropônico contendo silício na solução nutritiva, Gottardi et al. (2012) também observaram manutenção da clorofila na pós-colheita, retardando a senescência foliar e prolongando sua vida útil.

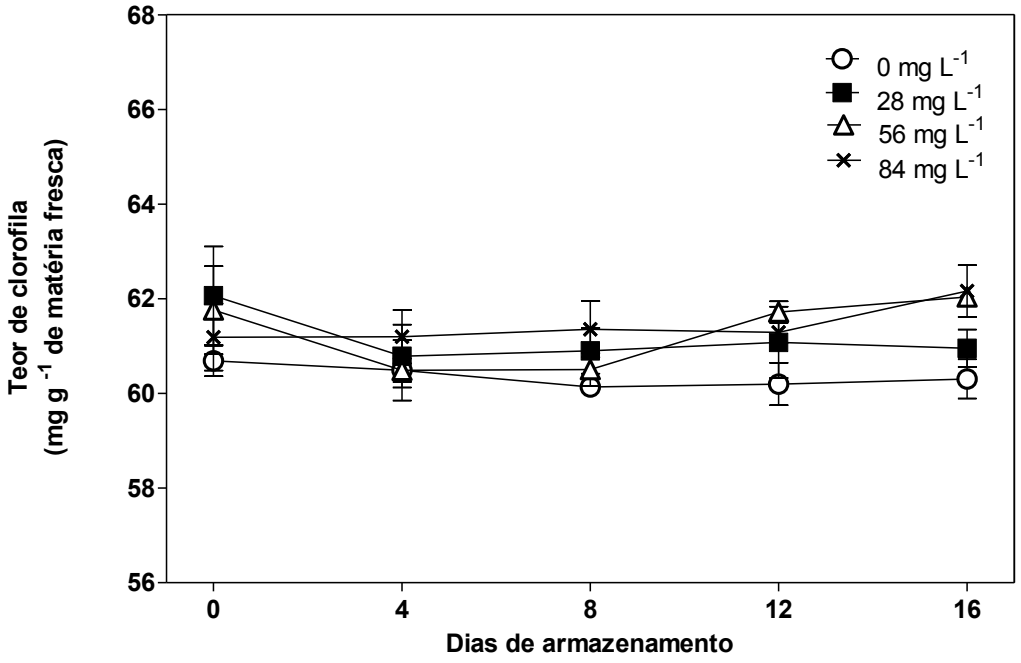

Figura 23. Teor de clorofila, de alface 'Lucy Brown' minimamente processada em função de concentrações de silício, na solução nutritiva.

Houve redução da atividade da polifenoloxidase (PPO) até o 8° dia de armazenamento, seguida de incremento nos valores, principalmente para a concentração de 84 mg L^{-1} (Figura 24A). Segundo Soares;Maringoni;Lima (2004), o aumento da atividade pode estar relacionado a uma situação de estresse, devido ao corte das folhas por ocasião do processamento, o que acelerou o metabolismo do vegetal.

Fawe et al. (1998) demonstraram em pepinos, que plantas tratadas com silício também apresentaram aumento na atividade das enzimas polifenoloxidase, peroxidase, quitinases e fitoalexinas flavonóides o que ocasionou proteção a esses vegetais.

Segundo Moretti (2007) o processamento mínimo de um vegetal promove o aumento da respiração, a produção de etileno e a indução e síntese de compostos fenólicos. Além disso, acarreta o extravasamento de substratos fenólicos do vacúolo, que entram em contato com as enzimas catalisadoras das reações de oxidação dos polifenóis (polifenoloxidase) presentes no citoplasma, formando as melaninas, que resultam no escurecimento enzimático (ALENCAR;KOBLITZ, 2008; JACOMINO et al., 2008).

A atividade da peroxidase (POD) teve um aumento constante para concentração de 84 mg L^{-1} de silício, devido a manutenção da integridade da célula provavelmente pela aplicação de silício na solução hidropônica (Figura 24B). A enzima POD é capaz de catalisar a oxidação de componentes celulares, tais como peróxido de hidrogênio ou peróxidos orgânicos. Em vegetais, este grupo de enzimas constitui proteção antioxidativa, podendo ocorrer aumento da atividade quando a planta for submetida a diversos tipos de estresse (SIEGEL, 1993).

As contagens de microrganismos mesófilos no 16° dia de armazenamento se mantiveram baixas, porém maiores do que no início do armazenamento. Verificou-se que para o tratamento com a concentração de 28 mg L^{-1} de silício os valores foram superiores (Tabela 2).

Para coliformes fecais e totais a 45 °C, no início e no final do armazenamento, as contagens foram muito baixas (<3,0 NMP g^{-1}), exceto para o tratamento com 56 mg L^{-1} de silício que foi de 4 NMP g^{-1} no início do armazenamento, no entanto, este valor ainda é considerado baixo. Segundo Roversi;Masson (2004) o efeito de inibição de fungos e bactérias na alface com atmosfera modificada não foi evidente. O autor observou que em até dez dias de estocagem não houve diferença significativa entre os valores obtidos.

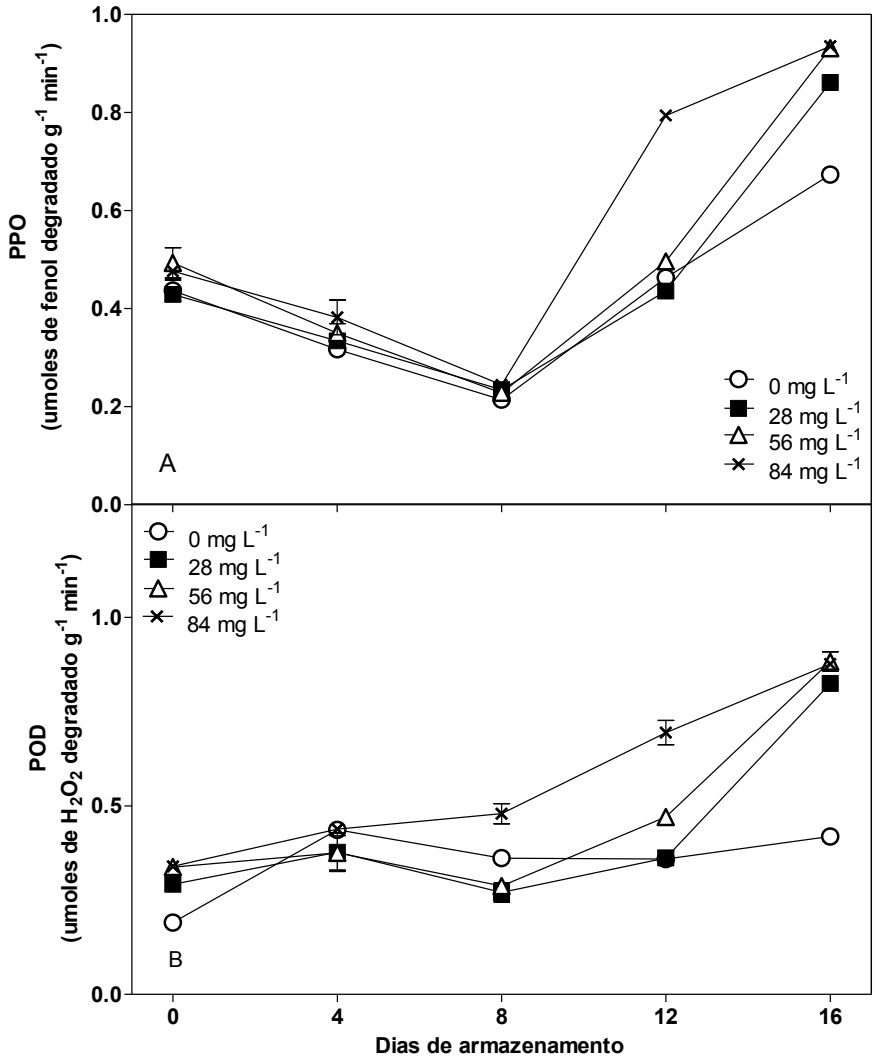

Figura 24 Atividades das enzimas polifenoloxidase (PPO-A) e peroxidase (POD-B) de alface 'Lucy Brown' minimamente processada em função das quantidades de silício aplicadas, na solução nutritiva.

Tabela 2. Análises microbiológicas inicial e aos 16 dias de armazenamento de alface 'Lucy Brown' minimamente processada em função de concentrações de silício na solução nutritiva.

Tratamentos	Microrganismos mesófilos (UFC g^{-1})	Coliformes totais a 45 °C (NMP g^{-1})	Coliformes fecais a 45 °C (NMP g^{-1})
Análise inicial			
0 mg L^{-1}	$1,1x10^2$	<3,0	<3,0
28 mg L^{-1}	$1,0x10^2$	<3,0	<3,0
56 mg L^{-1}	$1,8x10^2$	4,0	<3,0
84 mg L^{-1}	$1,7x10^2$	<3,0	<3,0
Análise aos 16 dias de armazenamento			
0 mg L^{-1}	$2,4x10^2$	<3,0	<3,0
28 mg L^{-1}	$5,4\ x10^2$	<3,0	<3,0
56 mg L^{-1}	$4,8x10^2$	<3,0	<3,0
84 mg L^{-1}	$3,8x10^2$	<3,0	<3,0

UFC g^{-1} = unidades formadoras de colônias g^{-1}; NMP = número mais provável grama^{-1}

A Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) pela Resolução RDC nº12 de 2 janeiro de 2001 (ANVISA, 2001), estabelece limites máximos de 5 x 10^2 NMP g^{-1} de coliformes a 45ºC para frutas frescas, *in natura*, preparadas, sanificadas, refrigeradas ou congeladas, para consumo direto. Para fungos e bolores não existem limites máximos estabelecidos para os produtos minimamente processados, no entanto, valores maiores que 10^5 UFC g^{-1} indicam riscos de deterioração, e/ou presença de patógenos (PINHEIRO et al., 2005; ARRUDA, 2007).

No decorrer do período de armazenamento não foi verificado escurecimento das folhas de alface americana, mantendo-se com a coloração verde por 16 dias. Mesmo com o aumento da atividade da PPO a manutenção da integridade das células permitiu com que não houvesse alteração na coloração verde das folhas, mantendo-as túrgidas por todo o período.

5. CONCLUSÕES

A concentração de 84 mg L^{-1} de Si proporcionou maior absorção de silício e massa fresca para as alfaces. As folhas velhas apresentaram maior teor de silício quando comparada com as folhas novas.

A associação da dose de 84 mg L^{-1} de Si com a temperatura de 8 ºC propiciaram maior firmeza das folhas, menor perda de massa fresca e baixa atividade das enzimas polifenoloxidase e peroxidase durante o período.

A concentração de 84 mg L^{-1} de silício aumentou a firmeza das folhas e manteve constante os teores de clorofila nas alfaces minimamente processadas conservando sua vida útil por 16 dias.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADNAN, T. A. B. T.; AUGUSTIN, M. A.; GHAZALI, H. M. Polyfenoloxydase from starfruit. **Pertanika**, v.9, n.2, p. 219-224, 1986.

AGRIANUAL 2013: anuário da agricultura brasileira. São Paulo: **FNP** Consultoria & Comércio, 2013. 143p.

ALENCAR, S. M.; KOBLITZ, M. G. B. Oxirredutases. In: KOBLITZ, M. G. B. (coord). **Bioquímica de Alimentos**. Rio de Janeiro, Guanabara Koogan, p. 125-152, 2008

ANVISA. **Agência Nacional De Vigilância Sanitária**. Resolução- RDC nº12, de 2 de janeiro de 2001.[online] Disponível em :< http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/12_01rdc.htm> (Acessado em 15 de junho de 2011).

AOAC. **Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists International.** 16 ed. Washington: Ed. Patrícia Cunniff, 850p. v. 2, 1997.

APHA. Committee on Microbiological Methodos for Foods. **Compendium of methods for the microbiological examination of foods**. 3 ed. Washington: American Public Health Association, 2001. 1219p.

ARNON, D.I. Copper enzymes in isolated chloroplasts: polyphenoloxydase in *Beta vulgaris*. **Plant Physiology***,* Maryland, v. 24, n.1, p.1-15, 1949.

ARRUDA, M.C. **Processamento mínimo de laranja 'Pêra'.** 2007, 92p. Tese (Doutorado em Agronomia). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007

BARBOSA FILHO, M. P.; SNYDER, G.H.; FAGERIA, N. K. DATNOFF, L.; SILVA, O. F. Silicato de cálcio como fonte de silício para arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.25, p. 325-330, 2001.

BAREA, J. L; REINEHR, C. O. 2006. Decaimento da concentração de clorofila na alface armazenada sob refrigeração e em presença de luz. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA EM ENGENHARIA, 21. **Anais eletrônicos...** Ijuí: UNIJUÍ. Disponível em: <http://200.169.53.89/download/CD%20congressos/2006/CRICTE%202006/trabalhos/819365-ega-01-09-84655.pdf. Acessado em 03 de maio de 2011.

BATAGLIA, O. C.; FURLANI, A. M. C.; TEIXEIRA, J. P. F.; FURLANI, P. R.; GALLO, J.R. **Métodos de análise química de plantas**. Campinas: Instituto Agronômico, 1983. 48p. (Boletim Técnico, 78).

BLISKA JUNIOR, A.; HONÓRIO, S. L. **Cartilha tecnológica de hidroponia**. Campinas: UNICAMP. 24p, 1995.

CALBO, A. G. Desenvolvimento de um equipamento para medir turgor em folhas e outros órgãos (turgômetro). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FISIOLOGIA VEGETAL, 3., 1991, Vicosa, MG. **Resumos...** Vicosa: SBFV, 1991. p. 13.

CAMARGO, M. S. Soil reaction and absorption of silicone by rice. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v.64, n.2, p.176-180, 2007.

CARNELOSSI, M. A. G.; SILVA, E. O.; CAMPOS, R. S.; SOARES, N. F. F.; MINIM, V. P. R.; PUSCHMANN, R. Conservação de folhas de couve minimamente processadas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campinas, v.4, n.2, p.149- 155, 2002.

CARVALHO, J. G. de; MACHADO, A. Q.; NASCIMENTO, I. R. do; BOAS, R. C. V. Desempenho da cultura do tomate adubado com Silifértil. **Horticultura Brasileira,** Brasília, v.20, n.2, p.402, 2002. Suplemento 1.

CHAKRABORTY, U., DUTTA, S., CHAKRABORTY, B. Drougth induced biochemical changes in young tea leaves. **Indian Journal of Plant Physiology**, Índia, v.6, n.1, p.103-6, 2001.

CHITARRA, M. I. F., CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças**: fisiologia e manuseio. Lavras: Ed UFLA, 2005. 785p.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. Processamento mínimo de alface. In: Moretti, C. L. (Eds), **Manual de Processamento Mínimo de Frutas e Hortaliças**, Brasília: Embrapa hortaliças e SEBRAE, p.301-341, 2007.

COMETTI, N. N. Nutrição mineral da alface (Lactuca sativa L.) em cultura hidropônica – sistema NFT. .(Tese doutorado), 2003. 128f. Seropédica: Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

COSTA, C. P.; SALA, F. C. A evolução da alfacicultura brasileira. **Horticultura Brasileira**, Brasília, DF, v. 23, n. 1, 2005.

DAVIS, M.; SUBBARAO, K.V.;.RAID, R. N.; KURTZ, E. A. **Compendium of lettuce diseases.** St. Paul: American Phytopathological Society, 1997. 79 p.

DELLA COLLETA, R.C.L. **Respostas fisiológicas de cenoura, repolho roxo e couve minimamente processados isolados e em combinação.** 2009. 69f. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

EPSTEIN, E. Silicon. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v.50, p.1-641, 1999.

EPSTEIN, E; BLOOM, J. A. **Nutrição mineral de plantas: Princípios e perspectivas.** Londrina: Planta, 403p, 2006.

ESTAÇÃO AGROCLIMATOLÓGICA UNESP-Jaboticabal. Disponível em < http://www.exatas.fcav.unesp.br/estacao/est_tab_meteor_01_02.htm >. Acesso em: 28 maio 2013.

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

FARIA, J. A. F. **Estabilidade de alimentos em embalagens plásticas**. Apostila da Disciplina TP - 244 - Embalagem e Estabilidade de Alimentos. Campinas: Faculdade de Engenharia de Alimentos, Unicamp, 1990. 84p.

FAWE, A.; ABOU-ZAID, M.; MENZIES, J.G.; BÉLANGER, R. R. Silicon mediated accumulation of flaninoid phytoalexins in cucumber. **Phytopathology**, v.88, p. 396-401, 1998.

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**, Lavras-MG, v. 34, n. 5, p. 1093-1101, 2010.

FINGER, L. F.; VIEIRA, G. **Controle da perda pós-colheita de água em produtos hortícolas**. Viçosa : UFV. 29 p. (Caderno didático, 19), 1997.

FRANÇA, C. F. M. **Conservação e qualidade pós-colheita em duas variedades de alface submetidas ao hidroresfriamento**. 2011. 44f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2011.

FURLANI, P. R.; SILVEIRA, L. C. P.; BOLONHEZI, D.; FAQUIN, V. **Cultivo hidropônico de plantas**. Campinas: Instituto Agronômico, 1999. 52 p. (Boletim Técnico, n. 180).

FURLANI, P. R. **Instrução para o cultivo de hortaliça de folha pela técnica de hidroponia - NFT.** Campinas: Instituto Agronômico, 1998. 30p. (Documentos IAC, 168).

GAFFNEY, J. J.; BAIRD, C. D.; CHAU, K. V. Influence of airflow rate, respiration, evaporative cooling. And other factors affecting weight loss calculations for fresh fruits and vegetables. **Transations of the American Society of Heating, Refrigeration and Airconditioning,** England, v. 91, p. 690-707, 1985.

GALVÃO, H. L. **Conservação pós-colheita de quiabo e jiló.** 2009. 136f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal de Viçosa-MG, 2009.

GOTTARDI, S.; LACUZZO, F.; TOMASI, N.; CORTELLA, G.; MANZOCCO, L.; PINTON, R.; ROMHELD, V.; MIMMOT, T.; SCAMPICCHIO, M.; COSTA, L.D.; CESCO, S. Beneficial effects of silicon on hydroponically grown corn salad (Valerianella locusta (L.) Laterr) plants, **Plant Physiology and Biochemistry,** Paris, v.56, p. 14-23, 2012.

GOMES, T. M.; BOTREL, T. A.; MODOLO, V. A.; OLIVEIRA, R. F. Aplicação de CO2 via água de irrigação na cultura da alface. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.23, n.2, p.316-319, 2005.

HARDENBURG, R. E.; WATADA, A. E.; WANG, C. Y. **The commercial storage of fruits, vegetables and florist, and nursery stocks.** Washington: USDA, 1986. 130p. (Agriculture Handbook, 66).

HEATON, J. W., MARANGONI, A. G. Chlorophyll degradation in processed foods and senescent plant tissues. **Trends Food Science Technology**., v.7, n.1, p.8-15,1996.

HEIMDAL, H., KUHN, B.F., POLL, L., LARSEN, L.M. Biochemical changes and sensory quality of shredded and package iceberg lettuce. **Journal of Food Science**, Chicago, v.60, n.6, p.1265-1268, 1995.

INANAGA, S.; OKASAKA, A.; TANAKA, S. Does silicon exist in association with Calcium and silicon binding compounds in cell walls of rice shoots. **Soil Science and Plant Nutrition**, Tokyo, v. 41, n.1, p.103-110, 1995.

JACKSON, L.; MAYBERRY, K.; LAEMMLEN, F.; KOIKE, S.; SCHULBACH, K**.;** CHANEY, W**. Iceberg lettuce production in California**. Disponível em: < http://www.agmrc.org/media/cms/7215_9E0CF0CBDF80E.pdf > Acesso em: 16 junho 2013.

JACOMINO, A. P; ARRUDA, M. C; BRON, I. U; KLUGE, R. A. Transformações bioquímicas em hortícolas após a colheita. In: KOBLITZ, M. G. B (coord) **Bioquímica de alimentos.** Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. p. 153-189, 2008.

JONES, D.H. Phenylalanine ammonia-lyase: regulation of its induction, and its role in plant development. **Phytochemistry**, The Netherlands, v.23, n.7, p.1349-59, 1984.

JULIATTI, F. C.; RAMOS, H. F.; KORNDÖRFER, G. H.; OLIVEIRA, R. G.; AMADO, D. F.; CARNEIRO, L. M. e S.; LUZ, J. M. Q. **Controle da queima das folhas de cenoura pelo uso do silício**. In: Congresso Brasileiro de Fitopatologia, XXXVI, 2003, Uberlândia. Resumos...Uberlândia, 2003. CD-ROM. 2003.

KADER, A. A. (Ed.). **Postharvest technology of horticultural crops**. 3. ed. California: University of California, 2002. 535 p. (Publication 3311).

KADER, A. A. Biochemical and physiological basis for effects of controlled and modified atmospheres on fruits and vegetables. **Food Technology**,, v.40, p.99-104, 1986.

KIM, S. G.; KIM, K. W.; PARK, E. W.; CHOI, D. Silicon-induced cell wall fortification of rice leaves: a possible cellular mechanism of enhanced host resistance to blast, **Phytopathology**, v. 92 , p.1095‑1103, 2002.

KORNDÖRFER, G. H. Elementos benéficos. In: FERNANDES, M. S., ed. **Nutrição mineral de plantas**. Viçosa, Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2006. p. 355-374.

KONDORFER, G.H.; PEREIRA, H.S.; CAMARGO, **M.S. Silicatos de cálcio e magnésio na agricultura. 3**. ed. Uberlândia, GPSi/ICIAG/UFU, 2004. 28p. (Boletim Técnico, 1)

KORNDORFER, G. H; PEREIRA, H. S.; CAMARGO, M.S. **Silicato de cálcio e magnésio na agricultura.** Uberlândia: UFU. 23p. (Boletim técnico, 01), 2002.

LAMIKANRA, O.; WATSON, M. A. Effects of ascorbic acid on peroxidase and polyphenoloxidase activities in fresh-cut cantaloupe melon. **Food Chemistry and Toxicology,** v. 66, p.1283-1286, 2001.

LANA, R. W. Q.; CÉSAR, E. U. R.; KORNDÖRFER, G. H.; ZANÃO JÚNIOR, L. A. Efeito do silicato de cálcio sobre a produtividade e acumulação de silício no tomateiro, **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.20, n.2, julho, 2002. Suplemento 2.

LANNING, F. C. Nature and distribution of silica in strawberry plants. **Proceedings American Society Horticultural Science**, v.76, p.349-358, 1960.

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,** Brasília, v.24, n.3, p. 295-300, 2006.

MA, J. F.; YAMAJI, N. Silicon uptake and accumulation in higher plants. **Trends Plant Science**, v.11, p. 392-397, 2006.

MA, J.F.; MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. **Silicon as a beneficial element for crop plant**. In: DATNOFF, L.E.; SNYDER, G.H.; KORNDÖRFER, G.H., eds. Silicon in agriculture. Amsterdam, Elsevier Science, 2001. p.17-39.

MANTILLA, S. P. S.; MANO, S. B.; VITAL, H. C.; FRANCO, R. M. Atmosfera modificada na conservação de alimentos. Revista Acadêmica, **Ciências Agrárias e Ambientais**, Curitiba, v. 8, n. 4, p. 437-448, 2010.

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

MARTINEZ, M.V., WHITAKER, J.R. The biochemistry and control of enzymatic browning. **Trends in Food Science and Technology**, v.6, n.6, p.195-200, 1995.

MATSUNO, H.; URITANI, I. Physiological behavior of peroxidase isozymes in sweet potato root tissue injured by cutting or with black rot. **Plant and Cell Physiology**, Tokyo, v.13, p. 1091-1101, 1972

MATTOS, L. M; MORETTI, C. L; CHITARRA, A. B; CHITARRA, M. I. F. Atividade respiratória e evolução de etileno em alface crespa minimamente processadaarmazenada sob duas temperaturas. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras-MG, v. 32, n. 6, p. 1985-1990, 2008.

MATTOS, L. M; MORETTI, C. L; CHITARRA, A. B; PRADO, M. E. T. Qualidade de alface crespa minimamente processada armazenada sob refrigeração em dois sistemas de embalagem. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 25, n. 4, p. 504-508, 2007.

MATTOS, L. M. **Alface crespa minimamente processada: embalagem sob diferentes sistemas de atmosfera modificada e armazenamento refrigerado.** 2005. 151f. Tese (Doutor em ciência dos alimentos)- Universidade de Lavras, Lavras, 2005.

MELO, S. P. **Silício e fósforo para estabelecimento do capim-marandu num Latossolo Vermelho-Amarelo**. Piracicaba, 2005. 110p. Tese (doutorado em ciências do solo). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2005.

MEURER, E. J. Potássio. In: FERNANDES, M. S. (Ed.) **Nutrição mineral de plantas.**Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciências do Solo, p. 282-298, 2006.

MITANI, N.; MA, J. F. Uptake system of silicon in different plant species. **Journal of Experimental Botany**, Reino Unido, v. 56, p. 1255-1261, 2005.

MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Silicon deficiency of tomato plant. **Soil Science and Plant Nutrition,** v.24, n.2, p.175-189, 1978.

MIYAKE, Y.; TAKAHASHI, E. Effect of silicon on growth of solution cultured cumcuber plants, **Soil Science and Plant Nutrition**, v.29, p.71-83, 1983.

MORAIS, P. L. D. de, DIAS, N. S.; ALMEIDA, M. L. B.; SARMENTO, J. D. A.; SOUZA NETO, O. N. Qualidade pós-colheita da alface hidropônica em ambiente protegido sob malhas termorefletoras e negra. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 58, n.5, p. 638-644, 2011.

MORETTI, C. L. Panorama de processamento mínimo de frutas e hortaliças. In: **Manual de processamento mínimo de frutas e hortaliças**. Brasília: Embrapa Hortaliças e SEBRAE. p. 25-40, 2007

OHSE, S.; DOURADO-NETO, D.; MANFRON, P. A.; SANTOS, O. S. Qualidade de cultivares de alface produzidos em hidroponia. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 1, p. 181-185, 2001

OLIVEIRA, L. S. de. **Efeito do hidroresfriamento, da temperatura e da rehidratação na conservação pós-colheita de coentro**. 2012. 63f. Dissertação (Mestrado em fitotecnia). Universidade Federal de Viçosa, 2012.

PADIGLIA, A.; CRUCIANI, E.; PAZZAGLIA, G.; MEDDA, R.; FLORIS, G. Purification and characterization of *Opuntia* peroxidase. **Phytochemistry,** v. 38, p. 295-297, 1995.

PEIXOTO, E. A. Aluminium effects on lipid peroxidation and on the activities of enzymes of oxidative metabolism in sorghum. **Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal**, Campinas, v.11, n.3, p. 137-143, 1999.

PELEG, Z.; SARANGA, Y., FAHIMA, T.; AHARONI, A.; ELBAUM, R. Genetic control over silica deposition in wheat awns, Physiololy Plant, n.140, p. 10-20, 2010.

PINHEIRO, N.M.S.; FIGUEIREDO, E. A.T.; FIGUEIREDO, R.W.; MAIA, G.A.; SOUZA, P.H. M. Avaliação da qualidade microbiológica de frutos minimamente processados comercializados em supermercados de fortaleza. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p. 153-156, 2005

PONCE, A. G.; VALLE, C. E.; ROURA, S. I. Natural essential oils as reducing agents of peroxidase activity in leafy vegetables. **Lebensmittel-Wissenschaft & Technology,** v. 37, p.199-204, 2004.

PORTAL HIDROPONIA. Disponível em: http://www.portalhidroponia.com.br/semente-de-alface-lucy-brown-25mx-seminis.html. Acesso em: 8 julho d e 2013.

PORTE A.; MAIA, L. H. **Alterações fisiológicas, bioquímicas e microbiológicas de alimentos minimamente processados**. Disponível em: <http://calvados.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/alimentos/article/view/1227>. Acesso em: 14 fevereiro 2011.

PRADO, R. M. **Nutrição de plantas**. São Paulo: Editora UNESP, 2008. 417p.

RESENDE, G. M.; YURI, J. E; SOUZA, R. J. Épocas de plantio e doses de silício no rendimento de alface tipo americana. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 25, n.3, p. 455-459, 2007.

RESENDE, G. M; YURI, J. E; MOTA, J. H.; FREITAS, S. A. C.; RODRIGUES, J. C.; SOUZA, R. J; CARVALHO, J. G. Adubação foliar com silício em alface americana (*Lactuca sativa* L.) em cultivo de verão. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 2, julho, 2003 – Suplemento CD.

RICKMAN, J. C., BARRETT, D. M., BRUHN, C. M. Review Nutritional comparison of fresh, frozen and canned fruits and vegetables. Part 1.Vitamins C and B and phenolic compounds. Department of Food Science and Technology, University of California.Society of Chemical Industry. **Journal Science Food Agriculture**, p. 0022–5142, 20072007

RIVERO, R.M., RUIZ, J.M., GARCIA, P.C. Resistance to cold and heat stress: accumulation of phenolic compounds in tomato and watermelon plants. **Plant Science,** v.160, n.2, p.315-21, 2001.

ROVERSI, R. M; MASSON, M. L. Qualidade da alface crespa minimamente processada acondicionada em atmosfera modificada. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 28, n. 4, p. 823-830, 2004.

ROVERSI, R. M; MASSON, M. L. Qualidade sensorial da alface crespa minimamente processada embalada em diferentes filmes plásticos sob

atmosfera modificada. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 29, n. 4, p. 824-832, 2005.

SANTOS, M. M.; GALVÃO, J. C. C.; SILVA, I. R.;MIRANDA, G. V.; FINGER, F. L. Épocas de aplicação de nitrogênio em cobertura na cultura do milho em plantio direto, e alocação do nitrogênio na planta. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, Viçosa, v. 34, p. 1185-1194, 2010.

SANTOS, A. O.; RIBEIRO NETO, B. L.; ZWIRTES, D. S.; SILVA, R. B.; YONENAGA, W. H. Produção de alface hidropônica: uma abordagem pela dinâmica de sistemas. In: 4º Congresso Brasileiro de Sistemas, 2008, Franca. **Resumos...** Franca, 2008

SANTOS, R. H. S. Crescimento, produção e qualidade da alface (Lactuca sativa.) cultivada com composto orgânico. Viçosa-MG: UFV (tese de mestrado), 2001.

SHEWFELT, R. L. Mensuring quality and maturity. Posthaverst handling: A systems approach, **Academic,** p. 99-123, 1993.

SIEGEL, B.Z. Plant peroxidases: an organism perspective. **Plant Growth Regulation**, v.12, p. 303-312, 1993.

SILVA, J. M. da; ORGARELLI, M. D.; DEL AGUILA, J. S.; SASAKI, F. F; KLUGE, R. A. Métodos de determinação de clorofila em alface e cebolinha minimamente processadas**. Revista Iberoamericana de Tecnología Poscosecha**, México, v. 8, n. 2, p. 53-59, 2007.

SKURA, B.J., POWRIE, W.D. **Modified atmosphere packing of fruits and vegetables**. *In*: VEGETABLE processing. New York : VCH Publishers, 1995. 279p.

SOARES, R. M.; MARINGONI, A.C.; LIMA, G.P.P. Ineficiência de Acibenzolar S-metil na indução de resistência de feijoeiro à murcha-de-curtobacterium. **Fitopatologia Brasileira**, v. 29, p. 373-377, 2004.

SOBRINHO, R. R. de L.; ARAÚJO, J. L. A.; RODRIGUES, T. M.; TREVISAN, D.; RODRIGUES, C. R.; FAQUIN, V. Crescimento da alface americana em solução nutritiva sob diferentes concentrações e formas de aplicação de silício. In: FERTBIO, 2004. **Anais**... Lages: UDESC(CD-ROM).

STAFF, H. **Hidroponia.** 2ª ed. Cuiabá: SEBRAE/MT, 1998. 101p. (Coleção Agroindústria; v. 11).

STEEL, R. G. D.; TORRIE, J. H. **Principles and procedures of statistics. A biometrical approach**. 2nd ed. McGraw-Hill Book Company:New York. 1987. 633 p.

STERTZ, S. C.; FREITAS, R. J S.; ROSA, M.; PENTEADO, P. T. P. S. Qualidade nutricional e contaminantes de alface (*Lactuca sativa* L.) convencional, orgânica e hidropônica. Visão Acadêmica, v.6, p.51-59, 2005.

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

VAMOS-VIGYAZO, L. Polyphenol oxidase and peroxidase in fruits and vegetables. **Food Science Nutrition**, v. 15, p.49-127, 1981.

VOOGT W; SONNEVELD C. Silicon in horticultural crops grown in soilless culture. In: DATNOFF LE; SNYDER GH; KORNDORFER GH (Eds). **Silicon in Agriculture.** London: Elsevier Science B.V. p.115-131, 2001.

WANG, S. Y.; GALLETTA, G. J. Foliar application of potassium silicate induces metabolic changes in strawberry plants. **Journal Plant Nutrition**, v.21, p. 157-167, 1998.

YURI, J. E.; SOUZA, R., J.; RESENDE, G. M.; MOTA, J. H. Comportamento de cultivares de alface americana em Santo Antônio do Amparo. **Horticultura Brasileira**, Brasília, 23, n.4, p. 870-874, 2005.

YURI, J. E.; RESENDE, G. M.; MOTA, J. H.; FREITAS, S. A. C.; RODRIGUES JUNIOR, J. C.; SOUZA, R. J.; CARVALHO, J. G. Resposta da alface americana (*Lactuca sativa* L.) a doses e épocas de aplicação de silicato de potássio em cultivo de inverno. **Horticultura Brasileira**, Brasília-DF, v. 21, n.2, 2003 – suplemento CD.

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

ZAGORY, D. Controlled and modified atmospheres. II. Advances in MAP. In: UCDAvis **Postharvest Technology. Fresh-Cut products: Maintaining quality and safety.** Davis, 2000, p. seção 7b, p.4-5.