



**HILÁRIO JÚNIOR DE ALMEIDA**

**SELENATO E SELENITO NA PRODUÇÃO,  
NUTRIÇÃO MINERAL E BIOFORTIFICAÇÃO  
DE CULTIVARES DE ALFACE**

**LAVRAS – MG**

**2010**

**HILÁRIO JÚNIOR DE ALMEIDA**

**SELENATO E SELENITO NA PRODUÇÃO, NUTRIÇÃO MINERAL E  
BIOFORTIFICAÇÃO DE CULTIVARES DE ALFACE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Fertilidade do Solo e Nutrição Mineral de Plantas, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. Valdemar Faquin

**LAVRAS – MG**

**2010**

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da  
Biblioteca da UFLA**

Almeida, Hilário Júnior de.

Selenato e selenito na produção, nutrição mineral e biofortificação de cultivares de alface / Hilário Júnior de Almeida. – Lavras : UFLA, 2010.

65 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2010.

Orientador: Valdemar Faquin.

Bibliografia.

1. Acúmulo. 2. Eficiência no transporte. 3. Solução nutritiva. 4. Teores. 5. Selênio. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 635.528911

**HILÁRIO JÚNIOR DE ALMEIDA**

**SELENATO E SELENITO NA PRODUÇÃO, NUTRIÇÃO MINERAL E  
BIOFORTIFICAÇÃO DE CULTIVARES DE ALFACE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, área de concentração em Fertilidade do Solo e Nutrição Mineral de Plantas, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 23 de julho de 2010

Dr. Luiz Roberto Guimarães Guilherme

UFLA

Dr. Jony Eishi Yuri

Agro Consultoria Yuri Ltda

Dr. Valdemar Faquin

Orientador

**LAVRAS – MG**

**2010**

## DEDICO

**A minha família, pela  
colaboração, compreensão,  
paciência nos momentos  
difíceis e por seu incentivo,  
tornando meu caminhar  
mais suave.**

## OFEREÇO

**A minha grande e querida amiga  
Irani, que sempre esteve presente  
nos momentos em que mais  
precisei, me ouvindo,  
aconselhando e fortalecendo.**

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus, “meu porto seguro”, por me iluminar nas horas de aflição, provações e pela sua proteção e orientação durante toda minha vida.

A Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Ciência do Solo (DCS/UFLA) pela oportunidade de realização do curso.

Ao professor Valdemar Faquin pela paciência, disposição, conhecimentos transmitidos e orientação de forma clara, segura e objetiva, que muito contribuíram para o desenvolvimento desta dissertação.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudo.

Aos técnicos Roberto e João Gualberto pelas análises, paciência e grande ajuda.

Aos doutorandos e amigos Sílvio Júnio Ramos, Fabrício Ávila, Diego França e Geila Carvalho pela dedicação e grande ajuda na realização deste trabalho.

Aos alunos de iniciação científica, especialmente a Carla Eliza, pela convivência agradável, dedicação e colaboração na execução do experimento.

Aos professores que durante a minha vida acadêmica me proporcionaram um enriquecimento intelectual e cultural.

Aos funcionários do DCS/UFLA pela amizade, disposição e atenção nos serviços prestados.

A minha família e amigos, por seu companheirismo, incentivo, carinho e amor ter garantido a oportunidade de realizar esse sonho.

Enfim, agradeço a todos os meus amigos que sempre estiveram prontos a me ajudar e que colaboraram para a realização desta conquista, e também a todas as pessoas que passaram pela minha vida deixando um pouco de si.

**MUITO OBRIGADO!**

*Tudo neste mundo tem o seu tempo;  
cada coisa tem sua ocasião.  
Há tempo de nascer e tempo de morrer;  
tempo de plantar e tempo de arrancar;  
tempo de matar e tempo de curar;  
Tempo de derrubar e tempo de construir.  
Há tempo de ficar triste e tempo de se alegrar;  
tempo de chorar e tempo de dançar;  
tempo de espalhar pedras e tempo de juntá-las;  
Tempo de abraçar e tempo de afastar.  
Há tempo de procurar e tempo de perder;  
tempo de economizar e tempo de desperdiçar;  
tempo de rasgar e tempo de remendar;  
tempo de ficar calado e tempo de falar.*

*Eclesiastes, 3:1-7*

## RESUMO

O trabalho foi realizado em casa de vegetação com o objetivo de avaliar o efeito da aplicação de selenato e selenito na biofortificação com Se, bem como verificar a influência dessas formas nos teores de macro e micronutrientes, em cinco cultivares de alface. Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial  $5 \times 3 \times 2$ , sendo cinco cultivares de alface (Maravilha de Verão, Rafaela, Great Lakes, Veneranda e Vera), três concentrações de Se na solução nutritiva (0, 10 e  $20 \mu\text{mol L}^{-1}$ ) e duas formas de Se (selenato de sódio –  $\text{Na}_2\text{SeO}_4$  e selenito de sódio –  $\text{Na}_2\text{SeO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ), com quatro repetições, perfazendo um total de 120 parcelas. Cada unidade experimental foi constituída por uma planta de cada cultivar por vaso. As sementes de alface foram semeadas em bandejas de poliestireno expandido contendo 128 células, preenchidas com vermiculita e irrigadas com água destilada nos primeiros cinco dias. A partir do sexto dia, até o décimo segundo dia, as plântulas foram irrigadas com solução nutritiva de Hoagland com 5% da força iônica. Em seguida, as mudas foram selecionadas e transplantadas para vasos de três L contendo solução nutritiva de Hoagland com 40% da força iônica, quando foram adicionados os respectivos tratamentos de Se. A solução de cultivo foi submetida à aeração constante e o pH monitorado diariamente, ajustando-se para o valor  $6,0 \pm 0,2$ . Aos 25 dias de exposição às formas de Se, procedeu-se à colheita das plantas, separando-as em parte aérea e raiz, onde cada parte foi lavada em água corrente, seguida por água bidestilada quatro vezes e conduzidas para estufa de circulação forçada de ar ( $50^\circ\text{C}$ ), até peso constante. Posteriormente, essas partes foram trituradas e submetidas à análise química para determinação dos teores de Se. Determinaram-se, também, os teores de macro e micronutrientes na parte aérea. Relacionando os teores de Se com a matéria seca produzida, foi determinado o acúmulo de Se na parte aérea e em toda a planta (parte aérea + raiz). Uma vez obtidos esses dados, estimou-se a eficiência no transporte do Se para a parte aérea (ETSeA). Os resultados mostraram que a aplicação do Se na forma de selenato promoveu maior translocação e teor de Se na parte aérea, sendo, portanto, mais indicada para biofortificação de cultivares de alface. Com o aumento nas concentrações de Se, o selenito mostrou ser mais tóxico que o selenato para o cultivo de alface em solução nutritiva. A aplicação do selenato resultou em aumento no teor de S na parte aérea, enquanto que o selenito reduziu os teores de P e ambas as formas de Se diminuíram os teores de micronutrientes.

Palavras-chave: Acúmulo. Eficiência no transporte. Solução Nutritiva. Teores. Selênio.

## ABSTRACT

The study was conducted in a greenhouse to evaluate the effect of selenate and selenite selenium in biofortification and check the influence of these forms in the levels of macro and micronutrients, in five varieties of lettuce. We used a completely randomized design in factorial 5 x 3 x 2, five lettuce cultivars (Wonder Summer, Rafaela, Great Lakes, Veneranda and Vera), three concentrations of Se in the nutrient solution (0, 10 and 20 mmol L<sup>-1</sup>) and two forms of Se (sodium selenate – Na<sub>2</sub>SeO<sub>4</sub>, and sodium selenite - Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub>.5H<sub>2</sub>O) with four replications, a total of 120 plots. Each experimental unit consisted of one plant of each cultivar per pot. Lettuce seeds were sown in polystyrene trays containing 128 cells, filled with vermiculite and irrigated with distilled water in the first five days. From the sixth day, the seedlings were irrigated with Hoagland solution with 5% of the ionic strength. Then the seedlings were selected and transplanted into pots containing three L Hoagland solution with 40% ionic strength, when the respective treatments were applied selenium. The solution culture was subjected to constant aeration and pH monitored daily by adjusting the value to 6.0 ± 0.2. At 25 days of exposure to forms of selenium proceeded to harvest the plants, separating them into shoot and root, where each part was washed in running water followed by doubly distilled water four times and conducted in a greenhouse in a forced air (50 ° C) until constant weight. Subsequently, these shares were crushed and subjected to chemical analysis to determine the levels of Se. We determined also the levels of macro and micronutrients in the shoot. Reconnecting with the selenium content of dry matter produced, we determined the accumulation of Se in shoots and whole plant (shoot + root). Once obtained these data, we estimated the efficiency of transfer of Se to the shoot (ETSeS). The results showed that application of selenium in the form of selenate, promoted greater translocation and selenium content in the shoot, and therefore more suitable for biofortification of lettuce. With increasing concentrations of selenium, selenite was more toxic than selenate to the cultivation of lettuce in nutrient solution. The application of selenate resulted in an increase in sulfur content in the shoot, whereas selenite reduced levels of phosphorus and both forms of selenium decreased the levels of micronutrients.

Keywords: Accumulate. Efficiency of transfer. Nutrient solution. Levels. Selenium.

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	10
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	11
<b>2.1</b>	<b>Alface - aspectos gerais</b> .....	11
<b>2.2</b>	<b>Selênio - aspectos gerais</b> .....	15
<b>2.3</b>	<b>Selênio - consumo e saúde</b> .....	18
<b>2.4</b>	<b>Selênio em plantas</b> .....	23
<b>2.5</b>	<b>Adubação com selênio</b> .....	28
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	31
<b>3.1</b>	<b>Delineamento experimental e tratamentos</b> .....	32
<b>3.2</b>	<b>Instalação e condução do experimento</b> .....	32
<b>3.3</b>	<b>Massa seca, teores de macros e micronutrientes nas cultivares de alface</b> .....	33
<b>3.4</b>	<b>Análise de selênio no tecido vegetal (USEPA 3051A)</b> .....	33
<b>3.5</b>	<b>Análises estatísticas</b> .....	34
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	34
<b>4.1</b>	<b>Massa seca da parte aérea e raiz</b> .....	35
<b>4.2</b>	<b>Transporte de selênio para parte aérea</b> .....	37
<b>4.3</b>	<b>Teores de selênio na parte aérea</b> .....	39
<b>4.4</b>	<b>Teores de enxofre na parte aérea</b> .....	41
<b>4.5</b>	<b>Teores de fósforo na parte aérea</b> .....	43
<b>4.6</b>	<b>Teores de magnésio e cálcio na parte aérea</b> .....	44
<b>4.7</b>	<b>Teores de micronutrientes na parte aérea</b> .....	46
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES</b> .....	48
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	49

## 1 INTRODUÇÃO

O selênio (Se) é essencial para o metabolismo humano, exercendo atividade biológica por meio de sua incorporação em proteínas, formando as selenoproteínas, que desempenham atividade antioxidante capaz de reduzir peróxidos no corpo humano. Além disso, atividade anticancerígena de algumas formas de Se no cólon, pulmão, pele e em outros órgãos tem sido demonstrada (STRATTON et al., 2003). Entretanto, a essencialidade do Se para as plantas ainda é motivo de controvérsia no meio científico (ZHU et al., 2009). Há relatos de que esse elemento pode ajudar as plantas a se manterem por mais tempo fisiologicamente ativas, aumentando a produção vegetal (DJANAGUIRAMAN et al., 2005).

A interação entre o Se e outros elementos químicos é principalmente documentada para humanos e animais. Para as plantas, pouca atenção é dada ao efeito desse elemento na absorção e teores de macro e micronutrientes. Alguns estudos têm mostrado que o Se compete com o P na absorção (HOPPER; PARKER, 1999) e aumenta a absorção de enxofre (WHITE et al., 2004), resultando, respectivamente, em menores e maiores teores desses nutrientes no tecido vegetal. Além disso, Feng et al. (2009) verificaram que os teores de Mn, Zn, Cu e Fe foram menores com o aumento das doses de Se no meio de cultivo. Portanto, faz-se necessário esclarecer melhor a influência do Se na nutrição de macro e micronutrientes em plantas.

A técnica de biofortificação com Se consiste basicamente no aumento da concentração desse elemento em culturas agrícolas através da sua introdução na adubação das plantas e por melhoramento genético, visando atender a necessidade humana ou animal (RÍOS et al., 2008). Nesse sentido, Chen et al. (2002), para a cultura do arroz; Ríos et al. (2008), para a alface e Stroud et al.

(2009), para trigo demonstraram que o teor de Se nessas culturas aumentou com a introdução desse elemento na adubação, garantindo, conseqüentemente, maior ingestão de Se pela população. No Brasil, há poucas informações a respeito da aplicação de Se em plantas. Todavia, são grandes as evidências de deficiência deste elemento em várias regiões do país (MAIHARA et al., 2004). Além disso, Ferreira et al. (2002) relataram que a concentração de Se nos alimentos de origem vegetal consumidos no Brasil é considerada baixa, em relação aos padrões internacionais.

Nesse contexto, considerada a importância de se estudar a biofortificação de culturas agrícolas com Se, associada à escassez de informações a esse respeito no Brasil, o presente trabalho teve por objetivo avaliar o efeito da aplicação de selenato e selenito na biofortificação com Se, bem como verificar a influência dessas formas de Se nos teores de macro e micronutrientes em cinco cultivares de alface, cultivadas em solução nutritiva.

## **2 REFERENCIAL TEÓRICO**

Em vista de ser a hortaliça folhosa mais consumida no mundo a alface tem sido largamente utilizada em estudos básicos de biofortificação com selênio.

### **2.1 Alface - aspectos gerais**

A alface pertencente ao Reino Plantae, Classe Magnoliopsida, Ordem Asterales, Família Asteraceae, Gênero *Lactuca* e Espécie *Lactuca sativa*, tem como provável centro de origem o sul da Europa e o oeste da Ásia. Depois de ser difundida por toda a Europa, foi introduzida nas Américas, sendo então trazida ao Brasil, no ano de 1647, com a vinda dos portugueses. As espécies

silvestres trazidas nesta época, ainda podem ser encontradas em regiões de clima temperado, na Europa mediterrânea e na Ásia Ocidental.

Esta espécie vegetal já era utilizada como planta medicinal há 4500 a.C. Como hortaliça é registrada a sua utilização desde 2500 a.C. (GOTO; TIVELLI, 1998; WITAKER; RYDER, 1974). A alface é mundialmente conhecida, sendo consumida, principalmente, *in natura* em saladas, com inúmeras variedades de folhas, cores, formas, tamanhos e texturas e tem grande importância na alimentação e saúde humanas. Uma planta com 350 g apresenta, aproximadamente: 56 kcal, 95,80% de água, 2,3% de hidratos de carbono, 1,20% de proteínas, 0,20% de gorduras, 0,50% de sais minerais (13,3 mg de potássio, 147,0 mg de fósforo, 133,0 mg de cálcio e 3,85 mg de sódio, magnésio e ferro); contém ainda vitamina A (245 UI), vitaminas de complexo B (B1 – 0,31 mg e B2 – 0,66 mg) e C (35,0 mg). As folhas de coloração verde-escura, principalmente as folhas externas, contém 30 vezes mais vitamina A que as internas (FRANCO, 1987).

Essa hortaliça é normalmente produzida em cinturões verdes próximos aos grandes centros consumidores no Brasil, dada a alta perecibilidade do produto no período de pós-colheita, oriunda de seu alto teor de água e grande área foliar. Nos locais de produção é exigida qualidade, quantidade e principalmente regularidade de oferta do produto para atender o mercado consumidor durante todo o ano (BEZERRA NETO et al., 2005).

Até o início da década de 80, o cultivo de alface no Brasil era restrito às regiões de clima ameno, as quais possibilitavam o cultivo durante todo o ano. Todavia, o cultivo protegido e o melhoramento genético dessa cultura, possibilitou a adaptação da espécie ao clima tropical, com plantas mais resistentes à temperaturas elevadas, sem acarretar prejuízos ao crescimento e ao sabor, proporcionaram o aumento da produção dessa folhosa e a sua expansão de cultivo à outros grandes centros urbanos do sul e sudeste brasileiros, chegando

por consequência às regiões Nordeste e Norte do país (BRANCO, 2001; NAGAI, 1980).

No Brasil, a cultura da alface tem uma área plantada de aproximadamente 35 mil ha, sendo que o grupo que predomina é do tipo crespa, liderando com 70% do mercado. O tipo americana detém 15%, a lisa 10%, enquanto outras (vermelha, mimosa, etc) correspondem a 5% do mercado (COSTA; SALA, 2005). O consumo médio de hortaliças no país fica em torno de 41,0 kg/pessoa/ano (VILELA; HENZ, 2000) e a alface é considerada uma das principais, ocupando a sexta posição em importância econômica e oitava em termos de volume produzido e sua forma predominante de comercialização é *in natura* (SOARES; CANTOS, 2006).

Quanto a sua estrutura, a alface é uma planta herbácea delicada, com caule diminuto, ao qual se prendem as folhas. Estas por sua vez são amplas e crescem em volta do caule (em roseta), podendo ser lisas ou crespas, formando ou não uma cabeça. Conforme a cultivar, a coloração pode ocorrer em vários tons de verde e roxo. O sistema radicular é muito ramificado e superficial. Na ocasião em que a planta é transplantada, o sistema radicular explora apenas os primeiros centímetros do solo. Em semeadura direta a raiz pivotante pode atingir até 60 cm de profundidade (FILGUEIRA, 2000).

Segundo Filgueira (2003), as numerosas cultivares plantadas pelos olericultores do centro-sul originaram-se de trabalhos de melhoramento genético conduzidos no Brasil e no exterior. Uma das principais metas dos fitomelhoristas brasileiros tem sido desenvolver cultivares que apresente maior resistência ao pendoamento precoce. O desenvolvimento destas cultivares viabiliza o cultivo da alface ao longo de todo o ano, inclusive durante a primavera e verão. Desta forma, as cultivares de alface comercialmente utilizadas agrupam em seis grupos ou tipos, considerando-se o aspecto das folhas e a formação ou não da “cabeça repolhuda”:

a) tipo repolhuda – manteiga; as folhas são bem lisas, muito delicadas, de coloração verde-amareladas e aspecto amanteigado, formando uma típica cabeça compacta. A cultivar típica é a norte-americana White Boston, que já foi considerada padrão de excelência em alface. Porém, os hábitos de consumo se diversificaram. Atualmente, ela vem sendo substituída por outras cultivares como a Brasil 303, Carolina e Elisa;

b) tipo repolhuda - crespa ou americana; as folhas são caracteristicamente crespas, bem consistentes, com nervuras destacadas formando uma cabeça compacta. É uma alface resistente ao transporte e adequada para integrar sanduíches, resistindo melhor ao contato com o ovo estrelado ou bife quente. A cultivar típica é a norte-americana Great Lakes, da qual há várias seleções. Outras cultivares têm sido desenvolvidas, ou introduzidas como: Tainá, Madona, Rubette, Winslow, Lorca e Lucy Brown;

c) tipo solta - lisa; as folhas são macias, lisas e soltas, não havendo formação da cabeça. A cultivar típica é a Babá-de-Verão. Atualmente, há diversas cultivares como Monalisa, Luisa e algumas seleções diferenciadas da cultivar Regina.

d) tipo solta - crespa; as folhas são bem consistentes, crespas e soltas, não formando cabeça. A cultivar típica é a norte-americana Grand Rapids, tradicional. Entre as cultivares modernas, destacam-se Verônica, Vera, Marisa e Vanessa;

e) tipo mimosa; este é um tipo que recentemente vem adquirindo certa relevância. As folhas são delicadas e com aspecto “arrepido”. Bons exemplos são as cultivares Salad Bowl e Greenbowl;

f) tipo romana; este grupo de alfaces é de reduzida importância econômica, sendo de aceitação restrita pelos consumidores brasileiros. As folhas são alongadas e consistentes, com nervuras bem protuberantes, formando cabeças fofas. Bons exemplos são as tradicionais cultivares Romana Branca de Paris, Romana Balão, Parma e Conquistador.

Sabe-se hoje que para as cultivares de alface em geral, conduzidas em estufas e túneis, o período decorrente entre o transplante e colheita é de aproximadamente 30 dias, podendo ser um pouco maior no período de inverno (50 dias) . No sistema de cultivo a céu aberto e de plantio direto, o período de desenvolvimento pode chegar até a 80 dias (SGANZERLA, 1997; FILGUEIRA, 2003). Alfaces tipo lisas e crespas têm o seu ciclo mais curto, entre sete e dez dias, aproximadamente. Quando cultivadas em ambiente protegido, alfaces do tipo americana possuem ciclo mais longo, necessitando entre sete e quatorze dias a mais para serem colhidas (GOTO; TIVELLI, 1998).

## **2.2 Selênio – aspectos gerais**

O selênio (Se) foi identificado em 1817 por John Jacob Berzelius, professor de química em Estocolmo. Berzelius e o seu colega J. G. Gahn investigavam um método de produção de ácido sulfúrico em câmaras de chumbo quando, ao visitarem a fábrica de ácido sulfúrico de Gripsholm, observaram um líquido pardo-avermelhado no fundo da câmara que, ao ser aquecido com o maçarico, desprendia um odor fétido que se considerava até então característico e exclusivo do telúrio. Uma análise mais cuidadosa mostrou que não havia vestígios deste elemento, apesar de as suas propriedades serem idênticas. A esta nova substância foi dado o nome de selênio, termo que deriva do grego *selene* (Lua), por analogia com o do telúrio, cujo nome deriva de *tellus* (Terra) (BUTTERMAN; BROWN, 2004).

Durante muitos anos, este elemento permaneceu apenas como uma curiosidade de laboratório, pois não se conhecia nenhuma aplicação prática, até que, em 1873, Willoughby Smith descobriu que a resistência elétrica do selênio diminuía com o aumento da intensidade de luz incidente. Esta descoberta permitiu desenvolver as células fotoelétricas e outros dispositivos elétricos

sensores de luz (BUTTERMAN; BROWN, 2004). Como nutriente para os animais, o Se foi reconhecido apenas no final dos anos 50 (SCHWARZ; FOLTZ, 1957). Entretanto, por mais de um século, este elemento permaneceu conhecido como uma toxina (WHANGER, 2002).

O selênio é um elemento não metálico que apresenta número atômico 34 e massa atômica 78,96. Por pertencer ao grupo VI A da tabela periódica, apresenta considerável similaridade química com o enxofre, especialmente quanto as suas formas e compostos (NEAL, 1995). No ambiente, o Se ocorre naturalmente sob quatro estados de oxidação, podendo ser encontrado em diferentes reservatórios naturais (ar, água e solo), na forma elementar ( $\text{Se}^0$ ), na forma menos oxidada de selenito ( $\text{SeO}_3^{2-}$ ), na forma de seleneto ( $\text{Se}^{2-}$ ) e na forma mais oxidada de selenato ( $\text{SeO}_4^{2-}$ ). Também pode ser encontrado em formas orgânicas (compostos metilados, seleno-aminoácidos, selenoproteínas e seus derivados) ou como dióxido de selênio nas cinzas provenientes da calcinação de minérios sulfetados (FISHBEIN, 1991). Em condições naturais, os teores de Se em águas são bastante baixos, não ultrapassando 2 ou 3  $\mu\text{g L}^{-1}$  (WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO, 1987). Na atmosfera, contribuições advindas de fontes naturais por formas voláteis do elemento são inexpressivas (0,1 a 10  $\text{ng m}^{-3}$ ).

Anualmente, mais de 1.600 toneladas de Se são produzidas em todo o mundo. Acima de 80% dessa produção derivam do refino de cobre, uma vez que depósitos naturais são de ocorrência restrita (NEAL, 1995). Na indústria, o Se é extensivamente utilizado, sendo empregado na fabricação de equipamentos eletrônicos e fotográficos, em artigos de impressão, na xerografia, na formulação de reagentes químicos, plásticos, lubrificantes, na indústria cosmética e farmacêutica (DHILLON; DHILLON, 2003; GIRLING, 1984; LISK, 1972).

No meio ambiente, o Se é proveniente de fontes naturais (processos geofísicos e biológicos) e fontes antropogênicas (processos industriais e

agricultura) em que as primeiras são provavelmente responsáveis pela presença de Se no ambiente, enquanto as demais são responsáveis pela redistribuição deste no ambiente (WHO, 1987). Na crosta terrestre, o Se é um dos elementos mais dispersos. Sua abundância é relativamente baixa, sendo reportadas concentrações que variam de 0,05 a 0,09 mg kg<sup>-1</sup> (NEAL, 1995).

Segundo a Agency for Toxic Substances and Disease Registry (2003), os processos de intemperismo de rochas contribuem para a liberação de aproximadamente 100 a 200 toneladas de Se anualmente. Nos solos, sua ocorrência está vinculada, além do intemperismo, à composição química do material de origem. Concentrações de Se em rochas ígneas e metamórficas não ultrapassam 1 mg kg<sup>-1</sup>. Em rochas sedimentares, tais como arenitos, argilitos, siltitos e folhelhos, concentrações expressivas são constatadas, variando de 1 a mais de 100 mg kg<sup>-1</sup> (WHO, 1987).

À medida que este elemento tem seu estado de oxidação aumentado, sua mobilidade no solo é facilitada. Selenito é a espécie química predominante em regiões de alta umidade (NEAL, 1995) e em solos ácidos (NAKAMARU; TAGAMI; UCHIDA, 2005). No entanto, em ambientes onde predominam condições de neutralidade ou alcalinidade, o selenito tende à oxidação, passando para a forma de selenato, que é altamente móvel no perfil do solo, a exceção daqueles onde o pH é baixo e há o predomínio de óxidos de ferro e alumínio. Espécies de selenato predominam em águas alcalinas e em solos de regiões de clima árido e semi-árido, originados de rochas sedimentares (GEERING, 1968; GIRLING, 1984; WHO, 1987).

Desta forma, é importante destacar que cada espécie química de Se ocorre no solo em proporções arbitrárias, variando em função das condições químicas do solo, tais como o potencial redox, o pH, outros íons, natureza das superfícies adsorventes do solo, ou por efeitos microbiológicos (LISK, 1972). Em decorrência disso, o comportamento e a geodisponibilidade do Se em solos é

bastante instável (GOODSON et al., 2003). Contudo, devido a sua solubilidade mais elevada, o selenato é a espécie química com maior potencial tóxico.

### **2.3 Selênio - consumo e saúde**

O Se também pode ser encontrado em compostos fermentados (leveduras), os quais podem conter de 1000 a 2000 mg kg<sup>-1</sup> (SCHRAUZER, 2001). A maior parte do Se nesses fermentados está na forma de selenometionina, que pode ser usada na prevenção do câncer. Este nutriente também pode ser encontrado naturalmente nos alimentos de origem animal, frutos do mar, carnes, vísceras, grãos vegetais, sendo a castanha-do-Brasil o alimento mais rico neste mineral.

Na maioria dos países, as plantas são as maiores fontes de Se para os humanos e animais. O teor de Se nos alimentos depende do teor deste elemento no solo onde são cultivados ou onde os animais são criados (SOUZA; MENEZES, 2004). Estudos com Se no desenvolvimento humano e animal levaram ao reconhecimento de que na Europa, Ásia e alguns países da América esse elemento não é fornecido em níveis suficientes na alimentação e deficiências têm sido relatadas em muitos países (COMBS, 2001).

Na nutrição humana e animal, a função do Se é bastante conhecida. Sabe-se hoje que o Se é capaz de desempenhar certas funções atribuídas à vitamina E, originalmente. Estudos visando esclarecer esta relação mostraram que o Se é componente da glutathione peroxidase (GSH-Px), cuja ação seria a de controlar o nível de peróxido formado no metabolismo humano e animal; função esta desempenhada pela vitamina E, que é um poderoso antioxidante e atua prevenindo a formação de peróxidos (RAYMAN, 2002)

O selênio é um componente essencial em mais de 30 selenoproteínas ou seleno-enzimas em mamíferos (BROWN; ARTHUR, 2001; RAYMAN, 2002). Quinze seleno-enzimas foram caracterizadas em função de suas atividades

biológicas, incluindo quatro formas da glutathione peroxidase (GSH-Px), que são enzimas antioxidantes; três formas de redutase da tioredoxina, que desempenham um importante papel na regeneração de sistemas antioxidantes e na manutenção do estado redox intracelular e três formas de iodotironinas desidases, que estão envolvidas na produção do hormônio tireoideano ativo (BROWN; ARTHUR, 2001; FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION - FAO, 2001; RAYMAN, 2002).

Nestas selenoproteínas, o Se presente no aminoácido selenocisteína (Se-cis) é incorporado a partir da síntese protéica, mediada por ribossomos específicos e encaminhada para o códon UGA, que normalmente atua como um códon de parada (*stop codon*) (LOW; BERRY, 1996; STADTMAN, 1996). Apenas duas estruturas de RNA são requeridas neste processo, o RNAm Se-cis, para inserção e sequenciamento e um único RNAt da selenocisteína. Em condições fisiológicas normais, o Se do aminoácido Se-cis encontra-se quase totalmente ionizado, alcançando desta forma, uma extrema eficiência biológica como catalisador no sítio ativo das selenoproteínas (BROWN; ARTHUR, 2001; STADTMAN, 1996).

A deficiência de Se normalmente ocorre em animais, levando ao desenvolvimento de diversas doenças. Dentre elas, destaca-se a distrofia muscular, conhecida como a doença do músculo branco, que atinge carneiros e bezerros jovens (STADTMAN, 1979), e cuja ocorrência é mais frequente em regiões de alta pluviosidade da Nova Zelândia, onde a quantidade de selênio nas plantas forrageiras é baixa e está correlacionada com o baixo conteúdo do elemento no solo (WHANGER et al, 1977). Em humanos, duas doenças têm sido associadas à grave deficiência endêmica de Se: a doença de Keshan (uma cardiomiopatia) e a doença Kaschin-Beck (uma osteoartropatia). A doença de Keshan é endêmica em crianças e em mulheres em idade fértil e ocorre em uma distribuição geográfica que abrange localidades do nordeste ao sudoeste da

China. Esta área é caracterizada pela baixíssima disponibilidade de Se em seus solos e, conseqüentemente, concentrações extremamente diminutas de Se nos alimentos básicos (COMBS, 2001; FAO, 2001; TAN; HUANG, 1991).

O desenvolvimento da doença de Keshan provavelmente não envolve somente a deficiência de Se, mas também a infecção pelo Vírus de Coxsackie, que inicialmente não é virulento, mas torna-se virulento e miopatogênico em condições de deficiência deste nutriente no organismo humano (BECK; HANDY; LEVANDER, 2004; FAO, 2001). A doença de Kaschin-Beck tem sido detectada na China em crianças de cinco a treze anos de idade e, menos extensivamente, no Sudeste da Sibéria (FAO, 2001). Além da deficiência de Se, a doença Kaschin-Beck também exige cofatores para o seu completo desenvolvimento, como micotoxinas em alimentos ou ácidos fúlvicos na água (FAO, 2001).

Há evidências que uma deficiência de selênio menos pronunciada pode afetar a saúde humana na função imune, na infecção viral, na reprodução (especialmente na fertilidade do sexo masculino), na função da tiróide, asma e em condições inflamatórias (RAYMAN, 2000; RAYMAN, 2002). Estudos mostram que o selênio desempenha um papel importante na prevenção de doenças cardiovasculares, (RAYMAN, 2000; STRANGES ET AL., 2006) e atua como um anticarcinogênico poderoso (COMBS, 2005; COMBS; CLARK; TURNBULL, 2001; WHANGER, 2004).

Estudos epidemiológicos mostram uma relação inversa significativa entre a mortalidade por câncer e taxas de concentração de Se nas culturas forrageiras em alguns municípios dos EUA (CLARK; CANTOR; ALLAWAY, 1991). Vários ensaios clínicos com seres humanos têm demonstrado o efeito benéfico do Se na redução do câncer (COMBS, 2005; WHANGER, 2004), onde a suplementação com esse nutriente diminuiu significativamente a incidência e a mortalidade total causada pelo câncer, a incidência do câncer de próstata, do

câncer de cólon e do pulmão. Estes resultados são consistentes com um grande número de estudos em pequenos animais, onde este elemento reduziu a incidência de tumores na maioria dos ensaios (WHANGER, 2004).

O consumo de Se difere muito pelos humanos devido à variação na dieta e nas concentrações deste elemento em diferentes alimentos. Combs (2001) apresentou um resumo da ingestão estimada de Se em adultos de diferentes países, os valores obtidos variaram de 7 a 11  $\mu\text{g dia}^{-1}$  em áreas onde ocorrem a doença de Keshan, a vários milhares  $\mu\text{g dia}^{-1}$  em áreas seleníferas, como no município Enshi, na China Central. A maioria dos adultos europeus consomem Se na faixa de 30 a 100  $\mu\text{g dia}^{-1}$ , enquanto adultos norte-americanos ingerem de 60 a 220  $\mu\text{g dia}^{-1}$ . Na Nova Zelândia, onde baixo consumo de Se foi relatado em algumas populações, estes valores variaram de 19 a 80  $\mu\text{g dia}^{-1}$ .

Em alguns países europeus, o consumo de Se na alimentação humana diminuiu significativamente nas últimas décadas (RAYMAN, 2002). A ingestão média deste elemento por adultos do Reino Unido decresceu de 60 a 63  $\mu\text{g dia}^{-1}$  em meados da década de 70, para 29 a 39  $\mu\text{g dia}^{-1}$  em 1995 (LONDON, 1997; RAYMAN, 2002). A principal razão para redução do consumo deste nutriente foi a diminuição da importação de trigo da América do Norte (LONDON, 1997), que geralmente contém muito mais Se que o trigo produzido no Reino Unido. O grão de trigo produzido no Norte e no Sul de Dakota nos EUA chega a conter mais de 2000  $\mu\text{g kg}^{-1}$  de Se (COMBS, 2001). Da mesma forma, as concentrações de Se no trigo produzido na Nova Zelândia são consideravelmente inferiores ao que é produzido na Austrália e a importação de trigo deste país foi uma importante solução encontrada para aumentar o status de Se no sangue dos moradores da área de Hamilton, na Nova Zelândia (WATKINSON, 1981).

Atualmente, parece haver uma falta de consenso quanto o nível ideal de ingestão de Se para os seres humanos (THOMSON, 2004). O mínimo de Se na dieta alimentar requerido para a prevenção da doença de Keshan é cerca de 17

$\mu\text{g dia}^{-1}$  (YANG; XIA, 1995). No entanto, para a máxima atividade plasmática da GSH-Px, a exigência média é estimada em cerca de  $45 \mu\text{g dia}^{-1}$ . Os EUA e o Canadá recomendam na dieta alimentar o consumo de  $55 \mu\text{g dia}^{-1}$  (THOMSON, 2004). O consumo referencial para população europeia também está fixado em  $55 \mu\text{g dia}^{-1}$ . Na Austrália e Nova Zelândia, a recomendação de ingestão de Se para homens e mulheres adultos é de 70 e  $60 \mu\text{g dia}^{-1}$ , respectivamente (NATIONAL HEALTH AND MEDICAL RESEARCH COUNCIL, 2005).

No Reino Unido, o Referencial de Ingestão de Nutrientes - RNI (um nível que é considerado suficiente ou mais do que suficiente para cerca de 97% das pessoas da população) esta fixada em 75 e  $60 \mu\text{g dia}^{-1}$  de Se para homens e mulheres adultos, respectivamente (LONDON, 1991). Em contraste, as normativas da OMS e da FAO dizem que as estimativas de exigência de Se são de 40 e  $30 \mu\text{g dia}^{-1}$  para homens e mulheres, respectivamente (WHO, 1996). Combs (2001) sugeriu que um nível de Se plasmático acima de  $120 \mu\text{L}^{-1}$  poderia ser um valor alvo útil para minimizar os riscos de câncer. Para manter este nível de Se no plasma, é necessária a ingestão de aproximadamente  $1,5 \mu$  de Se  $\text{kg}^{-1}$  do peso corporal por dia, equivalente a 90 e  $120 \mu\text{g dia}^{-1}$  para uma pessoa de 60 e 80 kg, respectivamente. Nesse sentido, Clark et al (1997) relatam que o uso de uma suplementação diária contendo  $200 \mu\text{g dia}^{-1}$  de Se pode baixar o risco de desenvolver câncer de próstata, de pulmão ou do colo retal.

A toxicidade do selênio está relacionada ao seu consumo excessivo, ocasionando consequências adversas à saúde humana e animal. O envenenamento por selênio (selenose) leva aos seguintes sinais e sintomas: cansaço, náuseas, vômitos, diarreia, odor de alho na boca, dor abdominal, espasmos musculares, hepatomegalia, polineurite, distúrbios gastrointestinais e arritmias. Já a toxicidade crônica, leva à queda de cabelo, unhas quebradiças, reações de pele e alterações no sistema nervoso central (COMBS, 2001). Selenoses crônicas têm sido relatadas entre os moradores do município de Enshi

na China central, onde o solo e a água -- por serem seleníferos -- produzem alimentos contendo níveis extremamente elevados de Se (COMBS, 2001; YANG; XIA, 1995).

## 2.4 Selênio em plantas

O selênio é considerado um elemento-traço essencial na nutrição de mamíferos, porém, ainda não foi classificado como micronutriente para as plantas (KÁPOLNA et al., 2009). No entanto, é possível encontrar na literatura relatos de que esse elemento satisfaz o critério direto de essencialidade por participar de algum composto ou de alguma reação. Alguns estudos mostram efeitos benéficos do Se ao aumentar a atividade antioxidante nas plantas, elevando, assim, a produção vegetal (DJANAGUIRAMAN et al., 2005).

Todas as plantas absorvem Se da solução do solo. Entretanto, essa capacidade pode variar em função da espécie vegetal, estágio de crescimento, forma química e solubilidade do Se, como também da umidade e fatores biogeoquímicos que influenciam na disponibilidade deste nutriente, que é controlada pela especiação do elemento na solução do solo. Sendo assim, as plantas podem absorvê-lo na forma de selenato ( $\text{SeO}_4^{-2}$ ), selenito ( $\text{SeO}_3^{-2}$ ), ou como complexos orgânicos de Se (ALLAWAY, 1973; MIKKELSEN; PAGE; BINGHAM, 1989). O selenato é a forma predominantemente absorvida pelas plantas, ocorrendo normalmente em solos alcalinos e bem arejados (RAYMAN, 2002), enquanto a selenometionina é geralmente considerada a melhor forma orgânica de selênio absorvida e utilizada (MARTINEZ, 2007).

Há uma estreita semelhança física e química encontrada entre o selênio e o enxofre, de modo que ambos são encontrados no ambiente nos estados de oxidação  $2^-$ ,  $0$ ,  $4^+$  e  $6^+$  (MIKKELSEN; PAGE; BINGHAM, 1989). Ligado a isso, a maioria das plantas é capaz de substituir o selênio pelo enxofre, ou vice-

versa, durante a sua absorção e realizar o seu posterior metabolismo (BROWN; SHIRFT, 1982), uma vez que os dois elementos competem pelos mesmos sítios de absorção ativa por uma S permease de alta afinidade (BRYANT; LAISHLEY, 1988, SHRIFT; ULRICH, 1969).

Desta forma, o selenato é absorvido pelas raízes das plantas por transportadores de sulfato, apesar das diferentes espécies vegetais apresentarem diferentes seletividades entre o sulfato e o selenato (BELL; PARKER; PAGE, 1992; TERRY et al., 2000). Em contrapartida, pouco se conhece a respeito dos mecanismos envolvidos na absorção de selenito pelas plantas, sugerindo que o mesmo seja absorvido pelas raízes através da difusão passiva (ARVY, 1993; SHRIFT; ULRICH, 1969). O selenato e selenito também diferem na sua mobilidade no interior de plantas. O  $\text{SeO}_4^{2-}$  é facilmente distribuído a partir de raízes para a parte aérea, onde acredita-se que a sua assimilação em compostos orgânicos ocorra nas folhas através da sua redução inicial para  $\text{SeO}_3^{2-}$ . Por sua vez, o selenito ou seus produtos metabólicos tendem a se acumular nas raízes, incorporando-se a vários aminoácidos selenoéteres como a Se-metilselenocisteína, selenocistatione e Se-metilselenometionina (ANDERSON; SCARF, 1983; ARVY, 1993; ASHER; BUTLER; PETERSON, 1977; BROWN; SHIRFT, 1982; SOUZA et al., 1998; ZAYED; LYTLE; TERRY, 1998).

A razão pela qual menor quantidade de selenito é translocado para a parte aérea está relacionada à conversão mais rápida a formas orgânicas de Se, como selenometionina, que são retidas dentro das raízes. A distribuição de Se em várias partes da planta difere também de acordo com as espécies, sua fase de desenvolvimento, condição fisiológica, bem como da concentração de outras substâncias, especialmente sulfatos e fosfatos, considerando que, na maioria das espécies de plantas, os Se-aminoácidos substituem os S-aminoácidos e são incorporados em suas proteínas correspondentes (TRELEASE; BEATH, 1949; ZAYED; LYTLE; TERRY, 1998).

As plantas se diferenciam muito quanto a sua habilidade em acumular selênio nos tecidos (ROSENFELD; BEATH, 1964). Algumas são capazes de hiperacumular este elemento na parte aérea, quando crescem em solos seleníferos. Essas plantas são conhecidas como indicadoras, seleníferas ou acumuladoras de Se e incluem várias espécies dos gêneros *Astragalus*, *Stanleya*, *Morinda*, *Neptunia*, *Oonopsis* e *Xylorhiza* que podem acumular centenas a milhares de miligramas de selênio  $\text{kg}^{-1}$  de massa seca em seus tecidos, sendo algumas responsáveis por provocarem selenose aguda em vários animais (KOPSELL; RANDLE, 2000). Evidências científicas atualmente disponíveis revelam que vegetais membros da família Brassicaceae são seleníferos na medida em que facilmente captam selênio inorgânico a partir do solo, incorporando-o a compostos químicos e orgânicos bioativos (MAYLAND et al., 1989). Desta forma, plantas seleníferas indicam que o selênio se encontra realmente presente no solo em quantidades potencialmente elevadas (BROYER; LEE; ASHER, 1997).

Embora as espécies acumuladoras de selênio sejam adaptadas a solos seleníferos, nem todas as espécies de plantas que vivem nesses solos são acumuladoras de selênio. Algumas acumulam somente poucos miligramas de selênio  $\text{kg}^{-1}$  de massa seca. Dentro do gênero *Astragalus*, espécies acumuladoras e não-acumuladoras podem crescer próximas umas das outras. Em solos seleníferos, por exemplo, *Astragalus bisulcatus* apresentou 5530, *Stanleya pinnata* 1190, *Atriplex nuttallii* 300 e gramíneas 23 mg de selênio  $\text{kg}^{-1}$  MS (BROYER; LEE; ASHER, 1997; TERRY et al, 2000).

Entretanto, a maioria das espécies é conhecida como ‘não-acumuladora’, considerando que estas espécies acumulam selênio em quantidades menores que 25 mg  $\text{kg}^{-1}$  de massa seca quando cultivadas em solos seleníferos, ou ‘acumuladoras secundárias’ que normalmente crescem bem em solos livres de selênio e também em solos com teores deste elemento variando de baixo a

médio, podendo acumular de 25 a 100 mg de Se kg<sup>-1</sup> do peso seco, como por exemplo a alfafa, o trigo, a alcachofra Suíça e a cebola . Plantas cultivadas em solos não-seleníferos exibem níveis de selênio entre 0,01 e 1 mg de selênio kg<sup>-1</sup> massa seca (TERRY et al, 2000).

As plantas acumuladoras de selênio possuem um mecanismo diferente de discriminação do substrato na fase de ativação do seleno-aminoácido (BURNELL, 1981). Durante a síntese protéica, as células das plantas acumuladoras excluem o seleno-aminoácido de seus polipeptídios (BROWN; SHRIFT, 1981), seja por um processo que impede essa síntese ou através da modificação do seleno-aminoácido, bloqueando sua incorporação em proteínas (EUSTICE; KULL; SHRIFT, 1981). Desta forma, a acumulação do selênio pode ocorrer por compartimentalização dentro do vacúolo (NEUHIERL; BÖCK 1996), como selenato, ou na forma de seleno-aminoácido não-protéico (LÄUCHLI 1993, TERRY, et al 2000). No entanto, esse mecanismo não pode ser usado pelas plantas não-acumuladoras, uma vez que essas não possuem um sistema enzimático capaz de discriminar os aminoácidos que possuem Se (NEUHIERL et al, 1999). Sendo assim, podem incorporar grandes quantidades de seleno-aminoácidos em suas proteínas, o que resulta em toxicidade (BURNELL, 1981) e ocasionando, mais frequentemente, ligeira clorose, diminuição da síntese protéica e matéria seca (MENGEL; KIRKBY, 2001).

Cientificamente, o primeiro efeito positivo do Se no crescimento das plantas foi relatado por Singh; Singh e Bhandari (1980), cujos estudos demonstraram que a aplicação de 0,5 mg kg<sup>-1</sup> de Se na forma de selenito estimulou o crescimento e o rendimento da matéria seca da mostarda indiana (*Brassica juncea* L.). Mais recentemente, foi revelado que o Se aplicado em baixas concentrações proporcionou o aumento no crescimento de mono e dicotiledôneas. O aumento em crescimento também foi observado com a

aplicação de Se em alface, azevém (HARTIKAINEN et al., 1997; HARTIKAINEN; XUE, 1999) e na soja (DJANAGUIRAMAN et al, 2005).

Vários estudos têm demonstrado o papel protetor do Se em relação ao estresse oxidativo em plantas superiores, em que a presença deste elemento aumenta a atividade da glutathione peroxidase (GSH-PX) e diminui a atividade da peroxidação lipídica (CARTES; GIANFREDA; MORA, 2005; DJANAGUIRAMAN et al., 2005; HARTIKAINEN; XUE, 1997;). Cartes; Gianfreda e Mora (2005) demonstraram que o selenito foi mais eficiente do que o selenato na indução da atividade da GSH-PX em plantas de azevém. Além disso, fontes de Se aplicadas afetaram também as atividades das enzimas catalase e superóxido dismutase (XUE; HARTIKAINEN, 2000).

A adição em baixas concentrações de Se diminuiu o estresse oxidativo provocado pela radiação ultravioleta em alface e azevém (HARTIKAINEN; XUE, 1999) e no morangueiro (VALKAMA et al., 2003). Níveis adequados de Se foram suficientes para elevar a capacidade antioxidante e retardar a senescência nas folhas da alface, azevém e da soja (DJANAGUIRAMAN, 2005; HARTIKAINEN; XUE, 1999; HARTIKAINEN, 2005; PENNANEN; XUE; HARTIKAINEN, 2002; XUE; HARTIKAINEN, 2000; XUE; HARTIKAINEN; PIIRONEN, 2001).

Em batata, Xue; Hartikainen e Piironen (2001) e Pennanen; Xue e Hartikainen (2002) mostraram que o Se retardou a diminuição na produção de tocoferóis, especialmente a forma mais biologicamente ativa, *l*-tocoferol. Também, a adição do Se na cultura da batata mostrou ter efeito no mesófilo das folhas, afetando a integridade das membranas celulares (KONG; WANG; BI, 2005). Munshi; Combs e Mondy, 1990 e Munshi e Mondy (1992) verificaram que a suplementação de Se na forma de selenito diminuiu a concentração de nitrato e a maturidade de tubérculos da batata, onde também foi observado um aumento no conteúdo total de proteínas e aminoácidos.

## 2.5 Adubação com selênio

De acordo com a Organização das Nações Unidas (ONU), 852 milhões de pessoas -- aproximadamente 13% da população mundial -- encontravam-se subnutridas entre os anos 2000 e 2006, sendo que 96% destas em países em desenvolvimento (DIBB; ROBERTS; WELCH, 2005). As deficiências ocasionadas pela ausência de ferro, iodo, selênio, vitamina A e zinco são hoje em dia as que causam maior preocupação em relação à saúde humana e animal, principalmente nos países em desenvolvimento (MORAES, 2008).

Diante das evidências em relação à baixa ingestão de Se por grande parte da população mundial e considerando os possíveis benefícios que a ingestão deste nutriente pode trazer à saúde humana, estratégias têm sido desenvolvidas para possibilitar o incremento do selênio em níveis considerados nutricionalmente adequados. Dentre as estratégias atualmente utilizadas, a adubação de plantas com sais de Se -- prática agrônômica denominada biofortificação -- vem sendo amplamente difundida no mundo. Entretanto, tais estudos com Se são ainda inexistentes no Brasil. Somados a esse fato, focos de deficiência de Se têm sido identificados em várias regiões do Brasil (BOAVENTURA; COZZOLINO, 1993; MAIHARA et al., 2004; MORAES; TOKARNIA; DOBEREINER, 1999), tornando indispensáveis estudos com a biofortificação com Se nas culturas agrícolas.

A adição do Se aos fertilizantes é praticada, principalmente, na Ásia, Europa e Oceania. Com uma prática que teve início em 1984, a Finlândia promove o melhor exemplo de biofortificação com Se, em que esse elemento é comumente adicionado à mistura de NPK, na forma de selenato (EUROLA; HIRVI; VENALAINEN, 2000). De acordo com Aro, Alfthan e Varo (1995), a experiência finlandesa tem se caracterizado por ser uma prática segura na fertilização de culturas com Se, de baixo custo, fácil execução e muito eficaz na

elevação do nível de Se na população. Esses autores relatam que nos três anos após o início do programa, a ingestão dietética de Se triplicou e a concentração do nutriente no plasma sanguíneo quase duplicou. Desde 1985, observa-se uma diminuição na taxa de doenças cardiovasculares e de alguns tipos de câncer.

De acordo com Hartikainen (2005), a técnica da biofortificação com Se nas plantas é ideal para inserir esse elemento na cadeia alimentar, considerando que as plantas atuam de forma eficiente no controle da ingestão excessiva e/ou acidental, que pode ocorrer em humanos pelo uso de suplementos alimentares contendo Se. Segundo Graham et al. (2007), a biofortificação através da inclusão de Se na adubação apresenta potencial de proporcionar benefícios contínuos, ano após ano, a um custo inferior ao uso de suplementos alimentares e da fortificação de produtos pós-colheita nas indústrias.

Em 2004 no Brasil, iniciaram-se os trabalhos do programa HarvestPlus-Brasil, visando desenvolver variedades de arroz, feijão, mandioca, milho, trigo e batata-doce com maiores concentrações de ferro, zinco e betacaroteno. O programa está sendo coordenado pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e outras instituições. Entretanto, no programa HarvestPlus-Brasil não foram incluídos estudos com Se.

Em um experimento realizado na China para avaliar métodos de aplicação de Se na biofortificação do arroz, utilizando fertilizante enriquecido com Se aplicado no solo e selenito de sódio via foliar, Hu et al. (2002) observaram que não houve diferença significativa na produção de grãos da cultura, nas diferentes formas de aplicação de Se. Entretanto, os autores verificaram que os métodos de aplicação do Se proporcionaram aumento considerável no seu teor nos grãos. Os autores ainda sugeriram que o arroz enriquecido com Se, em uma população que tem o consumo médio de arroz em  $350 \text{ g dia}^{-1}$  por pessoa, pode aumentar a absorção de Se em humanos em mais de  $100 \text{ } \mu\text{g dia}^{-1}$ , diminuindo, desta forma, o risco de doenças cardiovasculares.

Em estudo realizado em 2004, Euliss e Carmichael (2004) verificaram na cultura da canola (*Brassica napus* L.) uma pequena redução na produção dessa cultura quando se aplicou 2 mg L<sup>-1</sup> de Se, na forma de selenito. Entretanto, os autores verificaram considerável aumento no teor de óleo na semente, o que poderia ser usado potencialmente como suplemento na dieta humana, chegando a diminuir, efetivamente, as taxas de certos tipos de câncer.

Na Nova Zelândia, o selenato é incorporado em adubos granulados contendo 1% de selênio (peso/peso), sendo então aplicados em doses de 0,5 a 1,0 kg por hectare, o que equivale à aplicação de 5-10 g de selênio por hectare em pastagem ou culturas. Pesquisas atuais incluem a produção de adubos de liberação lenta, que, aplicados nas doses de 0,5 a 1,0 kg por hectare, suplementam a forragem por dois anos nas condições da Nova Zelândia. (EUROLA et al., 2003).

Aspila (2005) relata que alguns proprietários preferem colocar o fertilizante selenizado em faixas de terra a aplicá-lo na pastagem como um todo. Desta forma, a quantidade correta de selênio é prevista para toda a área a ser tratada. Experimentalmente, isto tem sido feito em faixas pequenas de até 5% do total da área a ser adubada. No entanto, na prática, recomenda-se que 25% da pastagem sejam tratados para garantir que os animais possam se alimentar das pastagens enriquecidas. A toxicidade não parece ser um problema, desde que os animais em pastejo igualem o seu consumo de selênio com o consumo de uma mistura de forragens selenizadas e não selenizadas.

Os fertilizantes selenizados possuem maior eficiência se aplicados junto com o nitrogênio, fósforo e potássio. O material selenizado pode ser adicionado ao solo parcelado em duas vezes, sendo uma na primavera e outra por ocasião das chuvas, quando ocorre a rebrota das plantas. Utilizando produtos de liberação lenta, uma só aplicação na primavera é suficiente (EUROLA et al., 2003). Em condições finlandesas, uma só aplicação tem sido suficiente para

incrementar o conteúdo de selênio a níveis desejados. Quando o selênio é aplicado como indicado nos fertilizantes, supre a necessidade dos animais e elimina as outras formas de aplicação (EUROLA; HIETAMNIEMI, 2005).

De acordo com Eurola e Hietamniemi (2005), seja na forma de selenito ou de selenato de sódio, a pulverização foliar de selênio tem mostrado maior eficiência de absorção pelas plantas do que as pulverizações foliares de selênio sob forma de misturas de fertilizantes, como aqueles aplicados no solo. No entanto, há muitos riscos com a aplicação foliar, sendo que o aproveitamento e acumulação por parte das culturas dependem de diversos fatores tais como o estágio de crescimento, assim como dependem das condições climáticas durante e após a aplicação. Ademais, o uso do selênio via foliar necessita normalmente de uma operação extra no campo e, conseqüentemente, implica custos mais elevados.

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

A escolha da alface para o presente estudo deveu-se ao fato de ser a hortaliça folhosa mais consumida em todo o mundo. Sendo assim, tanto em cultivo hidropônico, quanto em cultivo a campo, o seu enriquecimento com selênio (biofortificação) seria uma prática altamente desejável visando à entrada desse elemento na cadeia alimentar humana.

O presente trabalho foi conduzido em casa de vegetação no Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, no município de Lavras, estado de Minas Gerais, cujas coordenadas geográficas são 21°13'35" S, 44°58'43" W e altitude de 918 metros. Segundo a classificação climática de Köppen, o clima de Lavras é Cwa, temperado chuvoso (mesotérmico), com inverno seco e verão chuvoso, subtropical, e temperatura do mês mais quente maior que 22°C, de acordo com Brasil (1992).

As normais climatológicas (médias de 1961-1990) do local são: temperatura média de 19,4°C, pressão atmosférica de 913,9 hPa; temperatura máxima absoluta de 34,8°C; temperatura mínima absoluta de 1,8°C; umidade relativa média do ar de 76,2%; precipitação total anual de 1529,7 mm e insolação total anual de 2483,4 h (BRASIL, 1992).

### **3.1 Delineamento experimental e tratamentos**

Utilizou-se o delineamento experimental inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5 x 3 x 2, sendo cinco cultivares de alface (Maravilha de Verão, Rafaela, Great Lakes, Veneranda e Vera), três concentrações de Se na solução nutritiva (0, 10 e 20  $\mu\text{mol L}^{-1}$ ) e duas formas de Se (selenato de sódio –  $\text{Na}_2\text{SeO}_4$ , e selenito de sódio –  $\text{Na}_2\text{SeO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ , ambos reagentes Sigma-Aldrich), com quatro repetições, perfazendo um total de 120 parcelas. Cada unidade experimental foi constituída por uma planta de cada cultivar por vaso.

### **3.2 Instalação e condução do experimento**

As sementes de alface foram semeadas em bandejas de poliestireno expandido contendo 128 células, preenchidas com vermiculita e irrigadas com água destilada nos primeiros cinco dias. A partir do sexto dia, até o décimo segundo dia, as plântulas foram irrigadas com solução nutritiva de Hoagland (HOAGLAND; ARNON, 1950) com 5% da força iônica. Posteriormente, as mudas foram selecionadas quanto ao vigor e uniformidade, tendo suas raízes lavadas com água destilada e transplantadas para vasos de três L contendo solução nutritiva de Hoagland com 40% da força iônica, quando então foram aplicados os respectivos tratamentos de Se.

Durante todo período experimental, a solução de cultivo foi submetida à aeração constante e o pH monitorado diariamente, ajustando para  $6,0 \pm 0,2$  pela correção com NaOH ou HCl  $0,1 \text{ mol L}^{-1}$ . A troca da solução nutritiva foi realizada levando-se em conta a redução de 30% da condutividade eletrolítica inicial. Após 25 dias de exposição às formas de Se, procedeu-se à colheita das plantas, separando-as em parte aérea e raiz.

### **3.3 Massa seca, teores de macros e micronutrientes nas cultivares de alface**

A parte aérea e raízes foram lavadas em água corrente e, em seguida, por água bidestilada por quatro vezes e submetidas à secagem em estufa com circulação forçada e renovação de ar a  $50^\circ\text{C}$  e, então, pesadas para determinação da massa seca. Em seguida, o material foi moído em moinho tipo Wiley e submetido à digestão nítrico-perclórica, conforme descrito por Malavolta; Vitti e Oliveira (1997).

No extrato, Ca, Mg, Mn, Fe, Cu e Zn foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica; o P, por colorimetria; o S, por turbidimetria e o K, por fotometria de chama.

### **3.4 Análise de selênio no tecido vegetal (USEPA 3051A)**

Cerca de 0,5 grama da massa seca da parte aérea e de raiz das plantas de alface foram digeridos por 10 mL de  $\text{HNO}_3$  concentrado em frascos de Teflon<sup>®</sup> PTFE, à pressão de 0,76 Mpa, durante 10 minutos, em forno de microondas, marca CEM, modelo Mars 5. A temperatura alcançada a esta pressão é de aproximadamente  $175^\circ\text{C}$ . No extrato obtido, foram adicionados mais 10 mL de água bidestilada e este extrato foi posteriormente filtrado para se proceder à

análise multielementar, baseada na metodologia descrita pela United States Environmental Protection Agency - USEPA (1998). Esse método é considerado o procedimento oficial nos EUA para determinação de elementos-traço poluentes em solos, adubos e outros materiais. Esse método extrai o teor máximo potencialmente biodisponível de um dado metal em uma condição extrema, visto que nem todo o material é dissolvido (LINK et al., 1998). Cada bateria de análise continha duas amostras como referência dos valores de elementos-traço e uma amostra em branco para fins de controle de qualidade. Em todos os extratos, foi feita a filtragem em papel de filtro Whatman 42 e foi efetuada a leitura do selênio por absorção atômica com forno de grafite.

Relacionando os teores de Se com a matéria seca produzida, foi determinado o acúmulo de Se na parte aérea e em toda a planta (parte aérea + raiz). Uma vez obtidos esses dados, estimou-se a eficiência no transporte do Se para a parte aérea (ETSeA) = [mg de Se acumulado na parte aérea / mg de Se acumulado na planta] (LI; MCGRATH; ZHAO, 1991).

### **3.5 Análises estatísticas**

Os dados obtidos de massa seca da parte aérea, da raiz, dos teores de selênio e de macro e micronutrientes no tecido vegetal das cultivares de alface e do transporte de selênio para a parte aérea foram submetidos à análise de variância e testes de médias com auxílio do programa estatístico Sisvar (FERREIRA, 1999). As médias dos tratamentos componentes do fatorial foram comparadas entre si pelo teste de Scott-Knott ( $P \leq 0,05$ ).

## **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

A produção de massa seca da parte aérea e raiz, o transporte e o teor de

Se na parte aérea foram influenciados significativamente pelas cultivares de alface, concentrações de Se e pelas formas de Se na solução nutritiva, bem como pela interação entre estes fatores.

#### **4.1 Massa seca da parte aérea e raiz**

Com exceção do tratamento controle ( $0 \mu\text{mol L}^{-1}$  de Se) e independentemente da cultivar, os valores da matéria seca da parte aérea foram estatisticamente superiores quando se utilizou o Se na forma de selenato (Figura 1 A e B).

Para a matéria seca da raiz, apenas a cultivar Great Lakes, nas concentrações 10 e  $20 \mu\text{mol L}^{-1}$  apresentou diferença significativa entre as formas de Se utilizadas, sendo o selenato superior ao selenito (Figura 1 C e D). Para todas as cultivares, o aumento das concentrações de Se de 10 para  $20 \mu\text{mol L}^{-1}$ , em ambas as formas aplicadas, diminuiu a produção de massa seca da parte aérea e de raiz, à exceção da cultivar Veneranda para parte aérea e raiz (Figura 1 A e C) e Vera e Rafaela, para a raiz (Figura 1 C), quando cultivadas na presença do selenato.

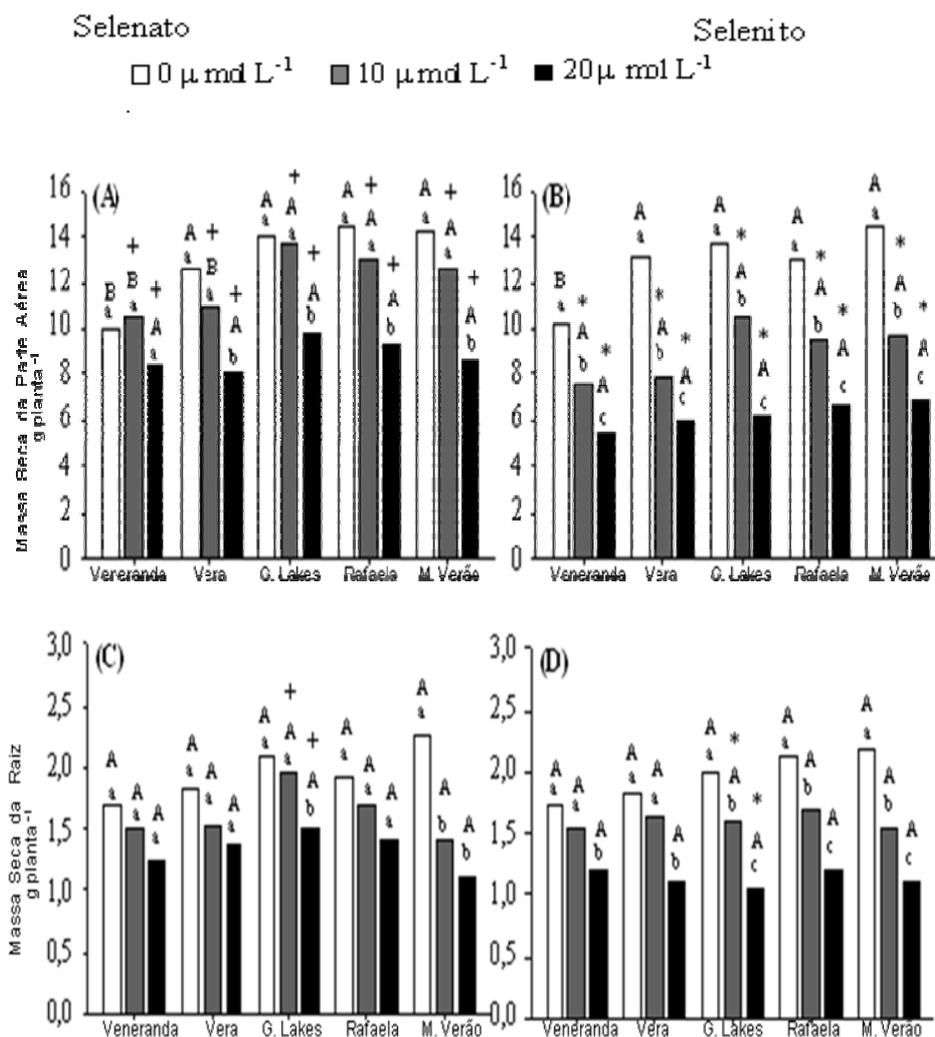


Gráfico 1 Massa seca da parte aérea (A e B) e massa seca da raiz (C e D) de cultivares de alface em função da aplicação de diferentes concentrações e formas de Se. Médias seguidas de mesma letra, minúscula, comparando concentrações de Se dentro de cada cultivar e maiúscula, comparando as cultivares em cada concentração e forma de Se, não diferem entre si (Scott-Knott,  $P \leq 0,05$ ). Médias seguidas por símbolos diferentes (+ e \*), comparando as formas de Se (selenato e selenito) dentro de cada concentração de Se e cultivar, diferem entre si (Scott-Knott,  $P \leq 0,05$ )

Essa redução na produção da parte aérea e raiz pode estar relacionada à substituição do enxofre (S) na cisteína e metionina, formando selenocisteína e selenomerionina. Segundo Zhu et al. (2009) essa substituição ocorre devido à semelhança estrutural entre o Se e o S e afeta a síntese e função de aminoácidos e proteínas nas plantas. Além disso, Pazurkiewicz-Kocot; Kita e Andpietruszka (2008) relataram que o Se no interior da planta atua como análogo do S, interferindo nas reações bioquímicas celulares.

Em geral, os resultados encontrados para a parte aérea mostram que as cultivares de alface apresentaram maior tolerância para o Se na forma de selenato, sendo o selenito mais tóxico. Segundo Cartes; Gianfreda e Mora (2005), a maior toxidez do selenito deve-se ao seu efeito de proporcionar mais rapidamente a peroxidação lipídica nas folhas vegetais. Os resultados encontrados no presente estudo são semelhantes aos observado por Ríos et al. (2008) ao avaliarem a biofortificação com Se e a indução da capacidade antioxidante em plantas de alface utilizando o selenato e selenito e aos verificados por Hopper e Parker (1999) em *Trifolium fragiferrume* e *Lolium perenne*.

#### **4.2 Transporte de selênio para parte aérea**

Alguns estudos mencionam que o selenato e o selenito proporcionam distintas respostas na translocação do Se das raízes para a parte aérea (ZHANG et al., 2003). Desta forma, verifica-se na Figura 2 A e B que a translocação do Se foi sempre maior quando fornecido na forma de selenato. Nos tratamentos que receberam as concentrações de 10 e 20  $\mu\text{mol L}^{-1}$  de Se, em média, cerca de 80 e 50% do elemento aplicado foram translocados para a parte aérea, para o selenato e selenito, respectivamente.

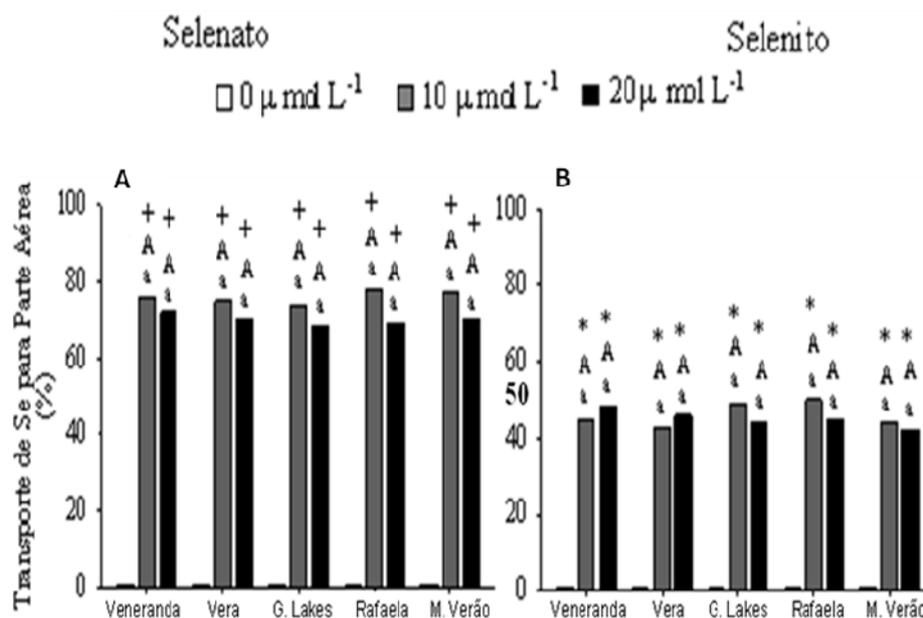


Gráfico 2 Transporte de Se para parte aérea (A e B) de cultivares de alface em função da aplicação de diferentes concentrações e formas de Se. Médias seguidas de mesma letra, minúscula, comparando concentrações de Se dentro de cada cultivar e maiúscula, comparando as cultivares em cada concentração e forma de Se, não diferem entre si (Scott-Knott,  $P \leq 0,05$ ). Médias seguidas por símbolos diferentes (+ e \*), comparando as formas de Se (selenato e selenito) dentro de cada concentração de Se e cultivar, diferem entre si (Scott-Knott,  $P \leq 0,05$ )

Esses resultados são semelhantes aos obtidos em outros trabalhos, os quais relatam superioridade do selenato sobre o selenito na translocação de Se pelas plantas (CARTES; GIANFREDA; MORA, 2005; CHEN et al., 2002; ZHANG et al., 2003). Li; Mcgrath e Zhao (2008) relataram que o Se do selenito -- quando absorvido pelas plantas -- é rapidamente convertido para as formas orgânicas, as quais apresentam baixa mobilidade no xilema. Em contrapartida, o selenato não é facilmente convertido para as formas orgânicas e é altamente móvel no xilema. Ríos et al. (2008) também verificaram que para uma mesma

concentração de Se aplicada, o fornecimento de selenato proporcionou maior translocação e maior acúmulo de Se na parte aérea em plantas de alface.

#### **4.3 Teores de selênio na parte aérea**

Segundo Terry et al. (2000), as formas de Se proporcionam diferentes teores de Se nas plantas. Nesse sentido, verificou-se que o teor foliar de Se aumentou com o aumento da sua concentração em solução, para todas as cultivares e formas de Se (Figura 3 A e B). Independentemente da concentração aplicada, os teores foliares, em todas as cultivares foram sempre maiores quando se utilizou o selenato (Figura 3 A e B). Isso se deve à maior mobilidade do Se nessa forma, conforme comentado anteriormente e mostrado na Figura 2 A e B, cujos resultados concordam com os observados por (CARTES; GIANFREDA; MORA, 2005; CHEN et al., 2002; RÍOS et al., 2008).

O que se busca em programas de biofortificação com Se é elevar o seu teor, sem comprometer a produção agrícola. Nesse sentido, observou-se que a biofortificação com Se nas cultivares de alface dependeu da concentração e forma de Se aplicada. Na concentração de  $10 \mu\text{mol L}^{-1}$ , o selenato não comprometeu a produção da parte aérea (Figura 1 A) e ainda promoveu o aumento no teor de Se nessa parte da planta em todas as cultivares (Figura 3 A). Por outro lado, independentemente da concentração e cultivar, essa mesma concentração de selênio comprometeu a produção de matéria seca da parte aérea e foi sempre inferior na biofortificação com Se (Figura 3 A e B). Por esse resultado, infere-se que o selenato foi mais eficiente na biofortificação de alface, podendo ser um modo mais efetivo para aumentar a ingestão desse elemento em humanos.

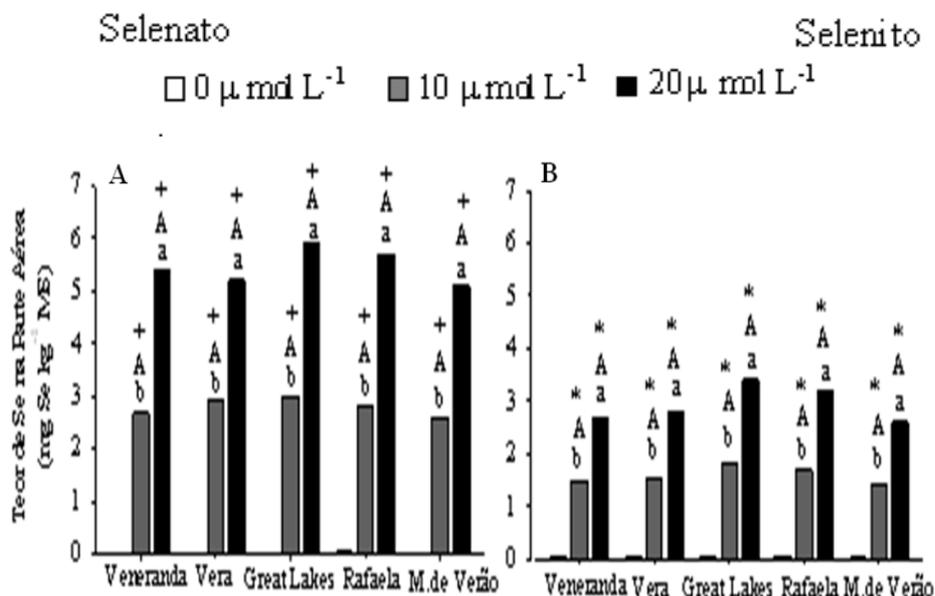


Gráfico 3 Teor de Se na parte aérea (A e B) de cultivares de alface em função da aplicação de diferentes concentrações e formas de Se. Médias seguidas de mesma letra, minúscula, comparando concentrações de Se dentro de cada cultivar e maiúscula, comparando as cultivares em cada concentração e forma de Se, não diferem entre si (Scott-Knott,  $P \leq 0,05$ ). Médias seguidas por símbolos diferentes (+ e \*), comparando as formas de Se (selenato e selenito) dentro de cada concentração de Se e cultivar, diferem entre si (Scott-Knott,  $P \leq 0,05$ )

Considerando que no Brasil o consumo *per capita* de folhas frescas de alface é de 33,3 g dia<sup>-1</sup> (YURI et al., 2005), que a alface apresenta 96% de água em sua composição (FAQUIN; ANDRADE, 2004) e que a recomendação de ingestão de Se em adultos é de 50-70 µg dia<sup>-1</sup> (RÍOS et al., 2008), verificou-se que, independentemente da cultivar de alface, o teor encontrado de Se na parte aérea atendeu à recomendação de ingestão de Se em humanos em aproximadamente 5%, quando o selenato foi aplicado na concentração de 10 µmol L<sup>-1</sup>. Esses resultados são inferiores aos encontrados por Ríos et al. (2008).

Desta forma, sugere-se, a partir desse estudo, incrementar as pesquisas

sobre a biofortificação de diferentes culturas com Se, a fim de garantir uma ingestão ideal de Se para a população brasileira, que apresenta indicativo de um baixo consumo de Se (MAIHARA et al., 2004). Somado a esse fato, tem-se que a melhoria da concentração de micronutrientes tornou-se uma tarefa urgente, pois cerca de metade da população mundial sofre com a desnutrição de Fe, Zn e Se.

#### **4.4 Teores de enxofre na parte aérea**

Os teores de enxofre na parte aérea das cultivares de alface não foram influenciados pelas concentrações de selênio na solução quando se utilizou o selenito (Figura 4 B), fato que foi observado quando do uso do selenato na concentração de 20  $\mu\text{mol L}^{-1}$  (Figura 4 A). Quando se comparam as formas de selênio, observa-se que o selenato -- também na maior concentração -- promoveu maior teor de S para as cultivares Great Lakes, Rafaela e Maravilha de Verão (Figura 4 A e B).

Ao aumentarem a concentração de selenato na solução de cultivo, Mikkelsen e Wan (1990) também verificaram aumento significativo no teor de S na parte aérea de cevada e arroz. Esses autores relatam que a interação sinérgica entre o Se e o S pode ocorrer em muitas espécies vegetais. Kopsell; Randle e Mills (2000) em *Brassica oleraceae* e White et al. (2004) em *Arabidopsis thaliana* também observaram resultados semelhantes aos do presente trabalho.

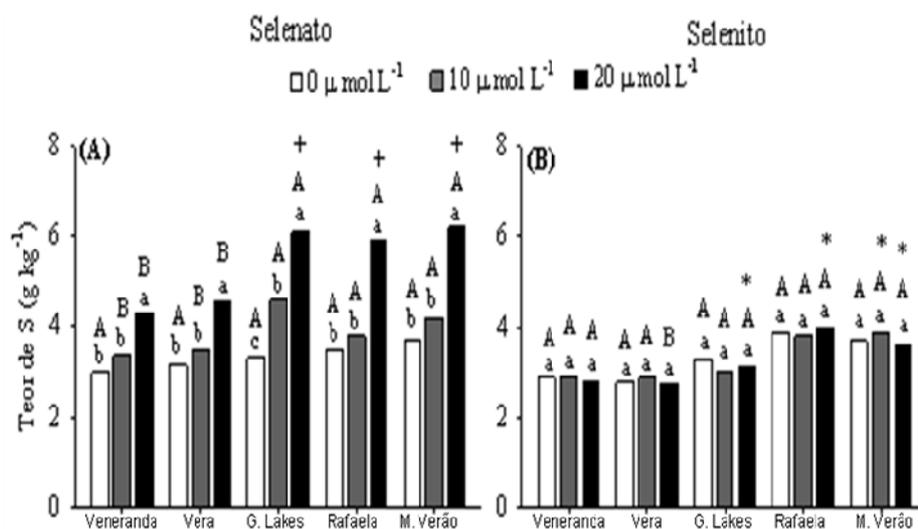


Gráfico 4 Teor de S (A e B) na parte aérea de cultivares de alface, em função da aplicação de diferentes concentrações e formas de Se. Médias seguidas de mesma letra, minúscula, comparando concentrações de Se dentro de cada cultivar e maiúscula, comparando as cultivares em cada concentração e forma de Se não diferem entre si (Scott-Knott,  $P \leq 0,05$ ). Médias seguidas por símbolos diferentes (+ e \*), comparando as formas de Se (selenato e selenito) dentro de cada concentração de Se e cultivar, diferem entre si (Scott-Knott,  $P \leq 0,05$ )

Entretanto, vale ressaltar que as primeiras pesquisas visando estudar o efeito do Se na nutrição mineral de plantas relataram que o selenato inibia a absorção de sulfato, o que promovia diminuição do teor de S no tecido vegetal (LEGGETT; EPSTEIN, 1956; FERRARI; RENOSTO, 1972). No entanto, nesses trabalhos, foram utilizadas proporções equivalentes de selenato e sulfato na solução de cultivo. Essa inibição também foi observada por Barack e Goldman (1997), em que a alta disponibilidade de selenato diminuiu o teor de S na cultura da cebola, o que pode ser atribuído, segundo os autores, à inibição competitiva com o sulfato, promovida pelo excesso de selenato em solução de cultivo. Desta forma, o presente estudo mostra que o selenato -- em menores

concentrações que o sulfato -- favorece o aumento nos teores de S em plantas de alface.

#### 4.5 Teores de fósforo na parte aérea

Os teores de fósforo na parte aérea das cultivares de alface foram reduzidos pela aplicação de selenito na solução, mesmo na menor concentração ( $10 \mu\text{mol L}^{-1}$ ), fato esse não observado quando se utilizou o selenato (Figura 5 A e B), mostrando uma possível inibição competitiva do selenito na absorção de P, resultando em menor teor de P nas plantas.

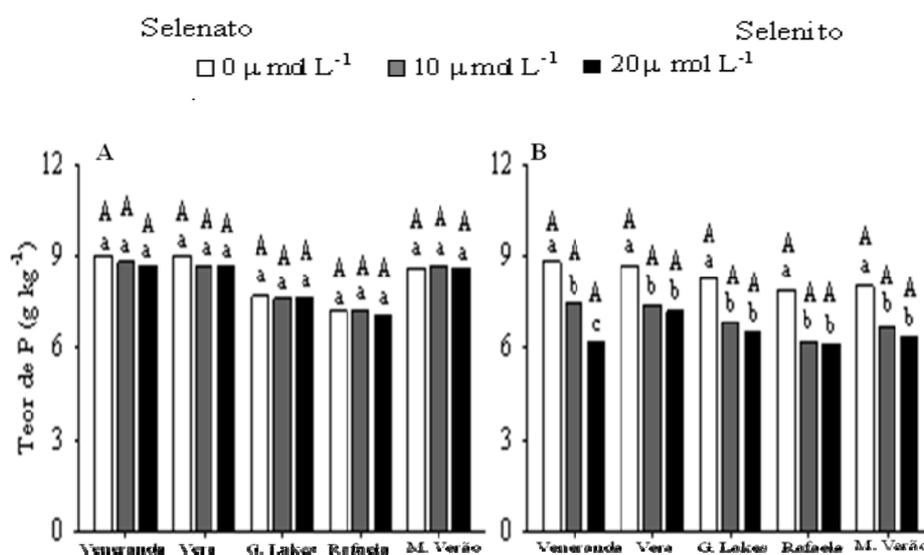


Gráfico 5 Teor de P (A e B) na parte aérea de cultivares de alface, em função da aplicação de diferentes concentrações e formas de Se. Médias seguidas de mesma letra, minúscula, comparando concentrações de Se dentro de cada cultivar e maiúscula, comparando as cultivares em cada concentração e forma de Se, não diferem entre si (Scott-Knott,  $P \leq 0,05$ ). Médias seguidas por símbolos diferentes (+ e \*), comparando as formas de Se (selenato e selenito) dentro de cada concentração de Se e cultivar, diferem entre si (Scott-Knott,  $P \leq 0,05$ ).

Hopper e Parker (1999) também observaram inibição competitiva entre o selenito e o P. Segundo esses autores, um aumento nas concentrações de selenito ou de fosfato na solução de cultivo pode promover alterações nos teores desses elementos em diversas plantas. Tal fato foi observado por Liu et al. (2004), onde o suprimento de P não alterou a absorção e o teor de Se em condições normais para o crescimento do arroz. Entretanto, com o aumento da disponibilidade de P na solução de cultivo, esses autores verificaram redução no teor de Se, em todas as concentrações de selenito utilizadas.

#### **4.6 Teores de magnésio e cálcio na parte aérea**

O aumento das concentrações de ambas as formas de selênio na solução não afetou os teores de Mg (Figura 6 A e B) e de Ca (Figura 6 C e D) nas cultivares de alface, à exceção da Veneranda para o Ca em ambas as formas de Se, onde o aumento da concentração dessa na solução reduziu seu teor nessa cultivar.

Trabalhando com selenito em milho, Pazurkiewicz-Kocot; Kita e Andpietruszka (2008) e com selenato, Hawrylak-Nowak (2008) também não observaram efeito das formas de selênio nos teores de Mg na cultura. Kopsell et al. (2000) também não observaram efeitos do selenato na solução de cultivo sobre os teores de Ca em *Brassica oleracea*.

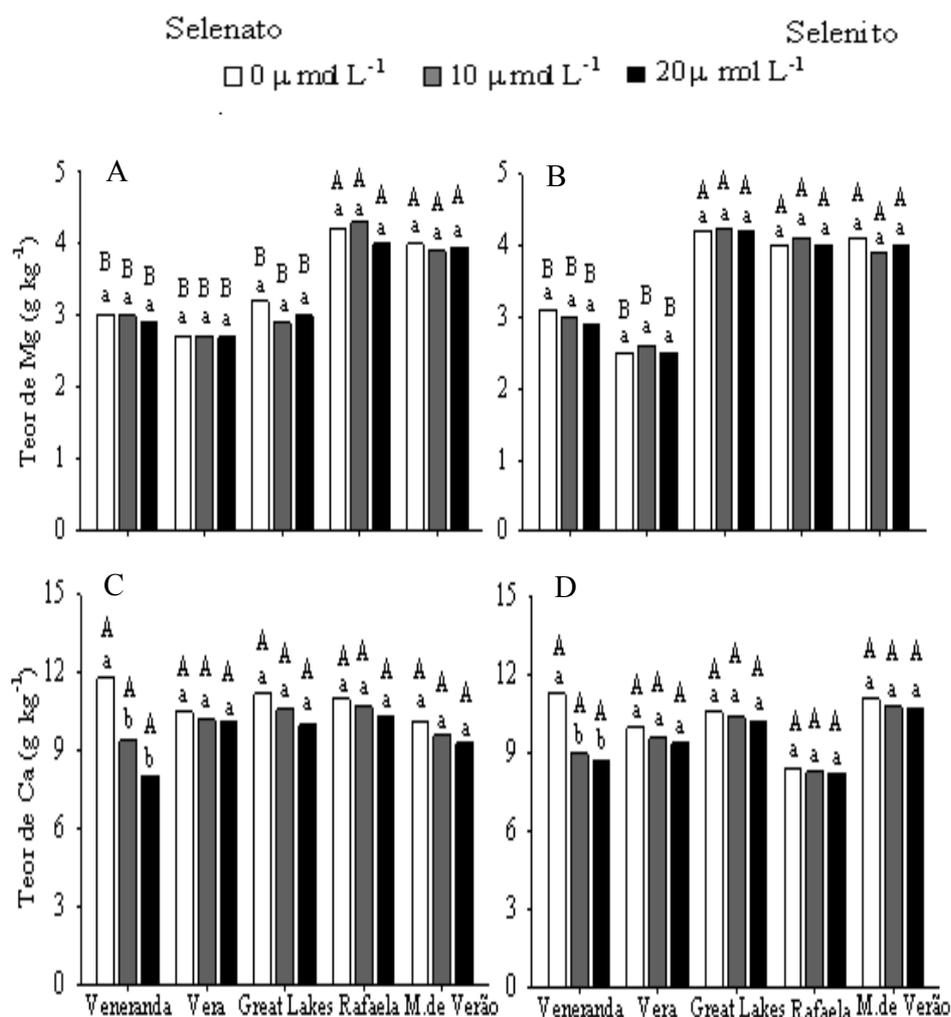


Gráfico 6 Teores de Mg (A e B) e Ca (C e D) na parte aérea de cultivares de alface, em função da aplicação de diferentes concentrações e formas de Se. Médias seguidas de mesma letra, minúscula, comparando concentrações de Se dentro de cada cultivar e maiúscula, comparando as cultivares em cada concentração e forma de Se, não diferem entre si (Scott-Knott,  $P \leq 0,05$ ). Médias seguidas por símbolos diferentes (+ e \*), comparando as formas de Se (selenato e selenito) dentro de cada concentração de Se e cultivar, diferem entre si (Scott-Knott,  $P \leq 0,05$ )

#### 4.7 Teor de micronutrientes na parte aérea

De maneira geral e embora nem sempre significativo, verificou-se que o aumento das concentrações de ambas as formas de Se diminuiu os teores de micronutrientes em todas as cultivares de alface. Comparando-se as formas de Se, apenas para o Mn na cultivar Vera (Figura 7 C e D) e para o Fe na cultivar M. de Verão (Figura 7 E e F), o selenato proporcionou teores mais elevados que o selenito.

Ao aplicarem selenito em *Pteris vittata*, cultivada em solução nutritiva e em solo, Feng et al. (2009) observaram que as baixas concentrações de Se diminuíram os teores de Cu, Mn, Fe e Zn, para ambos os sistemas de cultivo. A diminuição nos teores desses micronutrientes se deve, segundo esses autores, ao efeito antagônico do Se para esses elementos. Da mesma forma, Pazurkiewicz-Kocot; Kita e Andpietruszka (2008) verificaram diminuição nos teores de Cu e Mn em folhas de milho quando adicionaram selenito na adubação. Também relataram que a presença do Se no interior vegetal pode alterar o coeficiente de permeabilidade de íons na membrana plasmática e, conseqüentemente, o transporte e o acúmulo de micronutrientes nas células vegetais. Ainda de acordo com esses autores, a mudança de capacidades de transporte de íons e seus efeitos no acúmulo de nutrientes são, provavelmente, os primeiros sintomas observados dos efeitos de Se nas plantas.

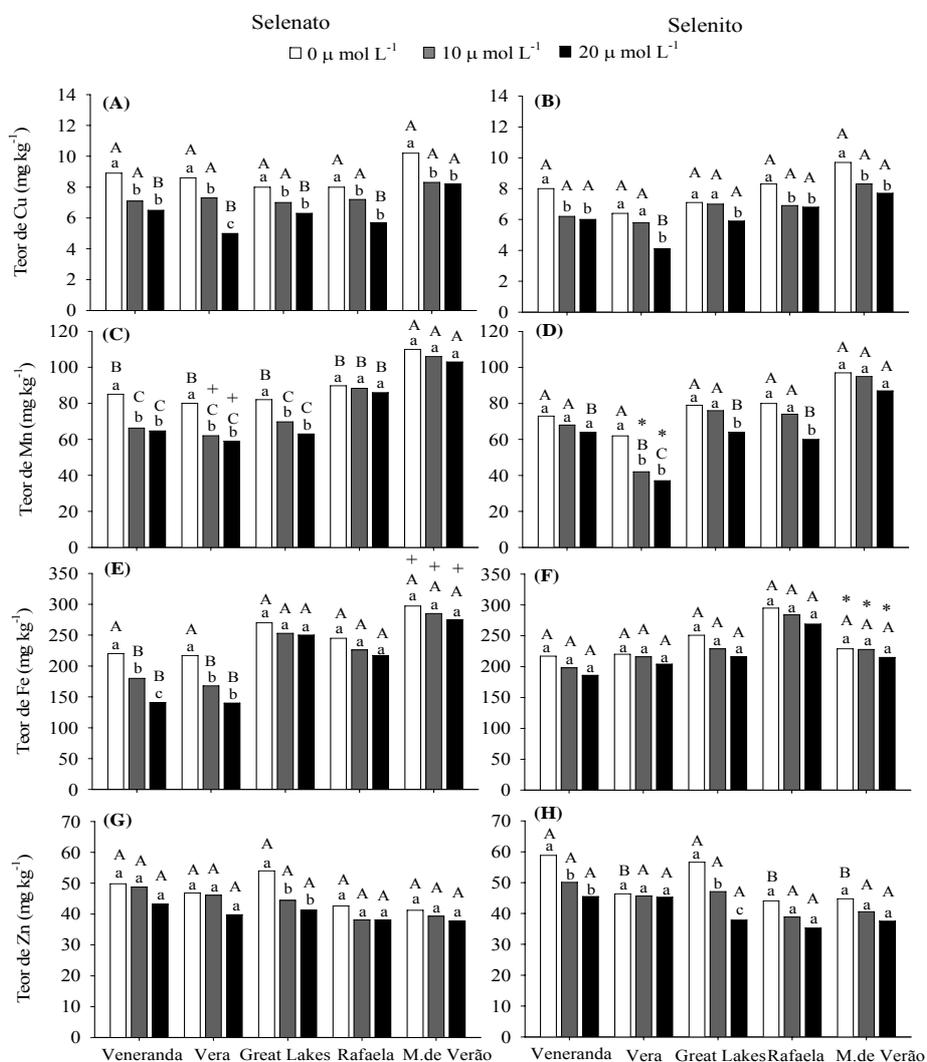


Gráfico 7 Teores de Cu (A e B), Mn (C e D), Fe (E e F) e Zn (G e H) na parte aérea de cultivares de alface, em função da aplicação de diferentes concentrações e formas de Se. Médias seguidas de mesma letra, minúscula, comparando concentrações de Se dentro de cada cultivar e maiúscula, comparando as cultivares em cada concentração e forma de Se, não diferem entre si (Scott-Knott,  $P \leq 0,05$ ). Médias seguidas por símbolos diferentes (+ e \*), comparando as formas de Se (selenato e selenito) dentro de cada concentração de Se e cultivar, diferem entre si (Scott-Knott,  $P \leq 0,05$ )

Dessa maneira, o presente estudo mostra a importância de aumentar o teor de Se em culturas agrícolas, a fim de favorecer a entrada desse elemento para o consumo humano. Entretanto, tal estratégia pode influenciar os teores de macro e micronutrientes nas plantas, afetando seu equilíbrio nutricional e, conseqüentemente, sua produtividade.

## **5 CONCLUSÕES**

A aplicação do Se na forma de selenato mostrou ser mais indicada para a biofortificação em cultivares de alface.

O selenito mostrou ser mais tóxico que o selenato para o cultivo de alface em solução nutritiva.

A aplicação do selenato resultou em aumento no teor de S na parte aérea, enquanto o selenito reduziu o teor de P e ambas as formas de Se diminuíram os teores de micronutrientes.

## REFERÊNCIAS

AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY. **Toxicological profile for selenium**. Georgia, 2003. 31 p. Disponível em: <<http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp92-p.pdf>>. Acesso em: 1 maio 2010.

ALLAWAY, A. Selenium in the food chain. **The Cornell Veterinarian**, Ithaca, v. 63, n. 2, p. 151-170, 1973.

ANDERSON, J. W.; SCARF, A. R. Selenium and plant metabolism. In: ROBB, D. A.; PIERPOINT, W. S. (Ed.). **Metals and micronutrients: uptake and utilization by plants**. London: Academic, 1983. p. 241-275.

ARO, A.; ALFTHAN, G.; VARO, P. Effects of supplementation of fertilizers on human selenium status in Finland. **Analyst**, Helsinki, v. 120, n. 3, p. 841-843, 1995.

ARVY, M. P. Selenate and selenite uptake and translocation in bean plants (*Phaseolus vulgaris*). **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 44, n. 6, p. 1083-1087, 1993.

ASHER, C. J.; BUTLER, G. W.; PETERSON P. J. Selenium transport in root systems of tomato. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 28, n. 2, p. 279-291, 1977.

ASPILA, P. History of selenium supplemented fertilization in Finland. In: EUROLA, M.; HIETAMNIEMI, V. **Twenty years of selenium fertilization**. Helsinki: Agrifood, 2005. p. 8-13. (Agrifood Reports, 69). Disponível em: <<http://www.mtt.fi/met/pdf/met69.pdf>>. Acesso em: 28 abr. 2007.

BARAK, P.; GOLDMAN, I. L. Antagonistic relationship between selenate and sulfate uptake in onion (*Allium cepa*): implications for the production of organosulfur and organoselenium compounds in plants. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 45, n. 4, p. 1290-1294, 1997.

BECK, M. A.; HANDY, J.; LEVANDER, O. A. Host nutritional status: the neglected virulence factor. **Trends in Microbiology**, Cambridge, v. 12, n. 9, 417-423, 2004.

BELL, P. F.; PARKER, D. R.; PAGE, A. L. Contrasting selenate sulfate interactions in selenium-accumulating and nonaccumulating plant species. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 56, n. 1, p. 1818-1824, 1992.

BEZERRA NETO, F. et al. Sombreamento para a produção de mudas de alface em alta temperatura e ampla luminosidade. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.23, n.1, p. 133-137, 2005.

BOAVENTURA, G. T.; COZZOLINO, S. M. F. Selenium bioavailability in the regional urban diet of Mato Grosso, Brazil. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, Basingstoke, v. 43, n. 4, p. 223-229, 1993.

BRANCO, R. B. F. **Avaliação de cultivares e épocas de cultivo de alface nas condições de solo e hidroponia, em ambiente protegido**. 2001. 80 p. Dissertação (mestrado) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2001.

BRASIL. Ministério da Agricultura e da Reforma Agrária. Departamento Nacional de Meteorologia. **Normais climatológicas: 1961-1990**. Brasília, 1992. 84 p.

BROWN, K. M.; ARTHUR, J. R. Selenium, selenoproteins and human health: a review. **Public Health Nutrition**, Wallingford, Oxon, v. 4, n. 2, p. 593-599, 2001.

BROWN, T. A.; SHRIFT, A. Exclusion of selenium from proteins of selenium-tolerant *Astragalus* species. **Plant Physiology**, Rockville, v. 67, n. 5, p. 1051-1053, 1981.

BROWN, T. A.; SHRIFT, A. Selenium: Toxicity and tolerance in higher plants. **Biological Reviews**, London, v. 84, n. 1, p. 57-59, 1982.

BROYER, T. C.; LEE, D. C.; ASHER, C. J. Selenium nutrition of green plants: effects of selenite supply on growth and selenium content of alfalfa and subterranean clover. In: BAUER, F. **Selenium and soils in the Western United States**. Moscow: University of Idaho, 1997. p. 1-6. Disponível em: <<http://egj.lib.uidaho.edu/egj07/bauer.htm>>. Acesso em: 10 maio 2010.

BRYANT, R. D.; LAISHLEY, E. J. Evidence of two transporters of sulfur and selenium oxyanions in *Clostridium pasteurianum*. **Canadian Journal of Microbiology**, Saskatoon, v. 34, n. 5, p. 700-703, 1988.

BURNELL, J. N. Selenium metabolism in *neptunia amplexicaulis*. **Plant Physiology**, Rockville, v. 67, n. 2, p. 316-324, 1981.

BUTTERMAN, W. C.; BROWN, R. D. **Mineral commodity profiles, selenium**. Washington: U.S. Department of the Interior, 2004. 40 p.

CARTES, P.; GIANFREDA, L.; MORA, M. L. Uptake of selenium and its antioxidant activity in ryegrass when applied as selenate and selenite forms. **Plant and Soil**, The Hague, v. 276, n. 1-2, p. 359-367, 2005.

CHEN, L. et al. Determination of selenium concentration of rice in China and effect of fertilization of selenite and selenate on Se content of rice. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 50, n. 18, p. 5128-5130, 2002.

CLARK, L. C.; CANTOR, K. P.; ALLAWAY, W. H. Selenium in forage crops and cancer mortality in United States counties. **Archives of Environmental Health**, Chicago, v. 46, n. 1, p. 37-42, 1991.

CLARK, L.C. et al. Effects of selenium supplementation for cancer prevention in patients with carcinoma of the skin - a randomized controlled trial. **JAMA - Journal of the American Medical Association**, Chicago, v. 276, n. 24, p. 1957-1963, 1996.

COMBS, G. F. Current evidence and research needs to support a health claim for selenium and cancer prevention. **Journal of Nutrition**, Philadelphia, v. 135, n. 2, p. 343-347, 2005.

COMBS, G. F. Selenium in global food systems. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, New York, v. 85, n. 5, p. 517-547, 2001.

COMBS, G. F.; CLARK, L. C.; TURNBULL, B. W. An analysis of cancer prevention by selenium. **Biofactors**, Oxford, v. 14, n. 9, p. 153-159, 2001.

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

DHILLON, K. S.; DHILLON, S. K. Distribution and management of seleniferous soils. **Advances in Agronomy**, New York, v. 79, n. 1, p. 119-184, 2003.

DIBB, D. W.; ROBERTS, T. L.; WELCH, R. M. From quantity to quality: the importance of fertilizers in human nutrition. In: INTERNATIONAL PLANT NUTRITION COLLOQUIUM, 15., 2005, Beijing. **Proceedings...** Beijing: IPN, 2005. p. 20-25.

DJANAGUIRAMAN, M. et al. Selenium - an antioxidative protectant in soybean during senescence. **Plant and Soil**, The Hague, v. 272, n. 1-2, p. 77-86, 2005.

EULISS, K. W.; CARMICHAEL, J. S. The effects of selenium accumulation in hydroponically grown canola (*Brassica napus*). **Biological & Biomedical Sciences**, North Dakota, v. 1, n. 10, Jan. 2004. Disponível em: <<http://www.jyi.org/volumes/volume10/issue1/articles/euliss.html>>. Acesso em: 10 out. 2008.

EUROLA, M. et al. **Results of the Finnish selenium monitoring program 2000-2001**. Jokioinen: Agrifood Research Finland, 2003. 42 p. (Agrifood Research Reports, 36).

EUROLA, M.; HIETANIEMI, V. **Twenty years of selenium fertilization**. Helsinki: Agrifood, 2005. 108 p. (Agrifood Reports, 69). Disponível em: <<http://www.mtt.fi/met/pdf/met69.pdf>>. Acesso em: 28 abr. 2010.

EUROLA, M.; HIRVI, I.; VENALAINEN, E. R. Elintarvikkeiden seleenipitoisuus. In: EUROLA, M.; HIETANIEMI, V. (Ed.). **Report of the selenium monitoring programme 1997-1999**. Jokioinen: Agricultural Research Centre of Finland, 2000. p. 18-21.

EUSTICE, D. C.; KULL, F. J.; SHRIFT, A. In vitro incorporation of selenomethionine into protein by *Astragalus* polysomes. **Plant Physiology**, Rockville, v. 67, n. 5, p. 1057-1060, 1981.

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

FENG, R. et al. Effects of Se on the uptake of essential elements in *Pteris vittata* L. **Plant and Soil**, The Hague, v. 325, n. 1-2, p. 123-132, 2009.

FERRARI, G.; RENOSTO, F. Regulation of sulfate uptake by excised barley roots in the presence of  $\text{SeO}_4$ . **Plant Physiology**, Rockville, v. 49, n. 2, p. 114-116, 1972.

FERREIRA, D.F. **Sistema para análise de variância para dados balanceados (SISVAR)**. Lavras: UFLA; 1999. 92p.

FERREIRA, K. S. et al. Concentrações de selênio em alimentos consumidos no Brasil. **Revista Panamericana de Salud Pública**, Washington, v. 11, n. 3, p. 172-177, 2002.

FILGUEIRA, F. A. R. **Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças**. Viçosa, MG: Ceres, 2000. 402p.

FISHBEIN, L. II25 selenium. In: MERIAN, E. (Ed.). **Metals and their compounds in the environment: occurrence, analysis, and biological relevance**. New York: VCH Weiheim, 1991. p. 1153-1190.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **Human vitamin and mineral requirements**. Rome, 2001. 303 p.

FRANCO, C. **Tabela de composição química dos alimentos**. 8. ed. Rio de Janeiro: Atheneu, 1987. 227p.

GEERING, H. R. et al. Solubility and redoxcriteria for the possible forms of selenium in soils. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 32, n. 1, p. 36-40, 1968.

GIRLING, C. A. Selenium in agriculture and the environment. **Agriculture, Ecosystems and Environment**, Amsterdam, n. 1, v. 11, p. 37-65, 1984.

GOODSON, C. C. et al. Soil selenium uptake and root system development in plant taxa differing in Se-accumulating capability. **New Phytologist**, London, v. 159, n. 2, p. 391-401, 2003.

GOTO, R.; TIVELLI, S. W. **Produção de hortaliças em ambiente protegido**: condições subtropicais. São Paulo: UNESP, 1998. 319 p.

GRAHAM, R. D. et al. Nutritious subsistence food systems. **Advances in Agronomy**, New York, v. 92, n. 1, p. 1-74, 2007.

HARTIKAINEN, H. Biogeochemistry of selenium and its impact on food chain quality and human health. **Journal of Trace Elements in Medicine and Biology**, Stuttgart, v. 18, n. 4, p. 309-318, 2005.

HARTIKAINEN, H. et al. Quality of the ryegrass and lettuce yields as affected by selenium fertilization. **Agricultural and Food Science in Finland**, Jokioinen, v. 6, n. 4, p. 381-387, 1997.

HARTIKAINEN, H.; XUE, T. The promotive effect of selenium on plant growth as triggered by ultraviolet irradiation. **Journal of Environmental Quality**, Madison, v. 28, n. 4, p. 1372-1375, 1999.

HARTIKAINEN, H.; XUE, T.; PIIRONEN, V. Selenium as an anti-oxidant and pro-oxidant in ryegrass. **Plant and Soil**, The Hague, v. 225, n. 1-2, p. 193-200, 2000.

HAWRYLAK-NOWAK, B. Effect of selenium on selected macronutrients in maize plants. **Journal of Elementology**, Olsztyn, v. 13, n. 4, p. 513-519, 2008.

HOAGLAND, D.; ARNON, D. I. The water culture method for growing plants without soil. **Circular California Agricultural Experiment Station**, Berkeley, n. 347, Jan. 1950. Disponível em: <[http://pmb.berkeley.edu/newpmb/faculty/arnon/Hoagland\\_Arnon\\_Solution.pdf](http://pmb.berkeley.edu/newpmb/faculty/arnon/Hoagland_Arnon_Solution.pdf)>. Acesso em: 10 fev. 2010.

HOPPER, J.; PARKER, D. Plant availability of selenite and selenate as influenced by the competing ions phosphate and sulfate. **Plant and Soil**, The Hague, v. 210, n. 2, p. 199-207, 1999.

HU, Q. et al. Determination of selenium concentration in rice and the effect of foliar application of Se-enriched fertilizer or sodium selenite on the selenium content of rice. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, London, v. 82, n. 8, p. 869-872, 2002.

KÁPOLNA, E. et al. Effect of foliar application of selenium on its uptake and speciation in carrot. **Food Chemistry**, Barking, v. 115, n. 4, p. 1357-1363, 2009.

KONG, L.; WANG, M.; BI, D. Selenium modulates the activities of antioxidant enzymes, osmotic homeostasis and promotes the growth of sorrel seedlings under salt stress. **Plant Growth Regulation**, Boston, v. 45, n. 2, p. 155-163, 2005.

KOPSELL, D. A.; RANDLE, W. M.; MILLS, H. A. Nutrient accumulation in leaf tissue of rapid-cycling *Brassica oleracea* responds to increasing sodium selenate concentrations. **Journal of Plant Nutrition**, New York, v. 23, n. 1, p. 927-935, 2000.

LÄUCHLI, A. Selenium in plants: uptake, functions, and environmental toxicity. **Botanica Acta**, Stuttgart, v. 106, n. 1, p. 455-468, 1993.

LEGGETT, J. E.; EPSTEIN, E. Kinetics of sulfate absorption by barley roots. **Plant Physiology**, Rockville, v. 31, n.3, p. 222-226, 1956.

LI, B.; MCKEAND, S. E.; ALLEN, H. L. Genetic variation in nitrogen use efficiency of loblolly pine seedlings. **Forest Science**, Bethesda, v. 37, n. 2, p. 613-626, 1991.

LI, H.; MCGRATH, S.; ZHAO, F. Selenium uptake, translocation and speciation in wheat supplied with selenate or selenite. **New Phytologist**, London, v. 178, n. 1, p. 92-102, 2008.

LINK, D. D.; WATER, P. J.; KINGSTON, H. M. Development and validation of the new EPA microwave assisted leach method 3051A. **Environmental Science and Technology**, Easton, v. 32, n. 22, p. 3628–3632, 1998.

LISK, D. J. Trace metals in soils, plants, and animals. **Advances in Agronomy**, New York, v. 24, n.2, p. 267-311, 1972.

LIU, Q. et al. Effects of the interactions between selenium and phosphorus on the growth and selenium accumulation in rice (*Oryza sativa*). **Environmental Geochemistry and Health**, Kew, v. 26, n. 2, p. 325-330, 2004.

LONDON. Department of Health. **Dietary reference values for food energy and nutrients for the United Kingdom**. London: Her Majesty's Stationery Office, 1991. 210 p. (Report on Health and Social Subjects, 41).

LONDON. Ministry of Agriculture Fisheries and Food. **MAFF food surveillance information sheet**. London, 1997. No page.

LOW, S. C.; BERRY, M. J. Knowing when not to stop: selenocysteine incorporation in eukaryotes. **Trends in Biochemical Sciences**, Amsterdam, v. 21, n. 6, p. 203–208, 1996.

MAIHARA, V. A. et al. Daily dietary selenium intake of selected Brazilian population groups. **Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry**, Budapest, v. 259, n. 3, p. 465-468, 2004.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2 ed. Piracicaba: POTAFOS, p. 319, 1997.

MAYLAND, H. F. et al. Selenium in seleniferous environments. In: JACOBS, L. W. (Ed.). **Selenium in agriculture and the environment**. Madison: Soil Science of America and American Society of Agronomy, 1989. p. 15-50. (SSSA Special Publication, 23).

MENGEL, K.; KIRKBY, E. A. **Principles of plant nutrition**. Bern: International Potash Institute, 2001. 872 p.

MIKKELSEN, R. L.; PAGE, A. L.; BINGHAM, F. T. Factors affecting selenium accumulation by agricultural crops. In: JACOBS, L. W. (Ed.). **Selenium in agriculture and the environment**. Madison: American Society of Agronomy, 1989. p. 65-94.

MIKKELSEN, R. L.; WAN, H. F. The effect of selenium on sulfur uptake by barley and rice. **Plant and Soil**, The Hague, v. 121, n. 1, p. 151-153, 1990.

MORAES, M. F. Relação entre nutrição de plantas, qualidade de produtos agrícolas e saúde humana. **Informações Agronômicas**, Piracicaba, n. 123, p. 21-23, set. 2008.

MORAES, S. S.; TOKARNIA, C. H.; DOBEREINER, J. Microelement deficiencies and imbalances in cattle and sheep in some regions of Brazil. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 1, p. 19-33, 1999.

MUNSHI, C. B.; COMBS, G. F.; MONDY, N. I. Effect of selenium on the nitrogenous constituents of the potato. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, Washington, v. 38, n. 11, p. 2000-2002, 1990.

MUNSHI, C. B.; MONDY, N. I. Glycoalkaloid and nitrate content of potatoes as affected by method of selenium application. **Biological Trace Elemental Research**, London, v. 33, n. 1-3, p. 121-127, 1992.

NAGAI, H. Obtenção de novos cultivares de alface (*Lactuca sativa* L.) resistentes ao mosaico e ao calor. **Revista de Olericultura**, São Paulo, v. 18, n. 1, p. 14-21, 1980.

NAKAMARU, Y.; TAGAMI, K.; UCHIDA, S. Distribution coefficient of selenium in Japanese agricultural soils. **Chemosphere**, Oxford, v. 58, n. 10, p. 1347-1354, 2005.

NATIONAL HEALTH AND MEDICAL RESEARCH COUNCIL.  
**Nutrient reference values for Australia and New Zealand including recommended dietary intakes.** Canberra: Commonwealth of Australia, 2005. 316 p.

NEAL, R. H. Selenium. In: ALLOWAY, B. J. **Heavy metals in soils.** New York: Wiley, 1995. p. 260-283.

NEUHIERL, B. et al. A Family of S-methylmethionine-dependent thiol/selenol methyltransferases-role in selenium tolerance and evolutionary relation. **Journal of Biological Chemistry**, Baltimore, v. 274, n. 9, p. 5407-5414, 1999.

NEUHIERL, B.; BOCK, A. On the mechanism of selenium tolerance in selenium-accumulating plants-purification and characterization of a specific selenocysteine methyltransferase from cultured cells of *Astragalus bisculatus*. **European Journal of Biochemistry**, Berlin, v. 239, n. 1, p. 235-238, 1996.

PAZURKIEWICZ-KOCOT, K.; KITA, A.; ANDPIETRUSZKA, M. Effect of selenium on magnesium, iron, manganese, copper, and zinc accumulation in corn treated by indole-3-acetic acid. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, New York, v. 39, n. 15, p. 2303-2318, 2008.

PENNANEN, A.; XUE, T.; HARTIKAINEN, H. Protective role of selenium in plant subjected to severe UV irradiation stress. **Journal of Applied Botany**, Berlin, v. 76, n. 1-2, p. 66-76, 2002.

RAYMAN, M. P. The argument for increasing selenium intake. **Proceedings of the Nutrition Society**, London, v. 61, n. 2, p. 203-215, 2002.

RAYMAN, M. P. The importance of selenium to human health. **Lancet**, London, v. 356, n. 9225, p. 233–241, 2000.

RÍOS, J. J. et al. Biofortification of Se and induction of the antioxidant capacity in lettuce plants. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v. 116, n. 3, p. 248-255, 2008.

ROSENFELD, I.; BEATH, O. A. **Selenium, geobotany, biochemistry, toxicity, and nutrition**. New York: Academic, 1964. 213 p.

SCHRAUZER, G.N. Nutrition selenium supplements: Product types, quality, and safety. Dietary Supplement Fact sheet: Selenium. **Journal American College of Nutrition**, New York, v. 20, n. 1, p. 1-4, 2001.

SCHWARZ, K.; FOLTZ, C. M. Selenium as an integral part of factor-3 against dietary necrotic liver degeneration. **Journal of the American Chemical Society**, Easton, v. 79, n. 12, p. 3292-3293, 1957.

SGANZERLA, E. **Nova agricultura: a fascinante arte de cultivar com os plásticos**. 2 ed. Porto Alegre: Triunfo, 1997. 303p.

SHRIFT, A.; ULRICH J. M. Transport of selenate and selenite into *Astragalus* roots. **Plant Physiology**, Rockville, v. 44, n. 6, p. 893-896, 1969.

SINGH, M.; SINGH, H.; BHANDARI, D. K. Interaction of selenium and sulphur on the growth and chemical composition of raya. **Soil Science**, Baltimore, v. 129, n. 4, p. 238-244, 1980.

SOARES, B.; CANTOS, G. A. Avaliação microbiológica de alface (*Lactuca sativa*) comercializada em Florianópolis- Santa Catarina, em relação à presença de coliformes totais e fecais. **Revista Higiene Alimentar**, São Paulo, v. 20, n. 147, p. 377-384, dez. 2006.

SOUZA, M. L.; MENEZES, H. C. Processing of Brazil nut and meal and cassava flour: quality parameters. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 24, n. 1, p. 120-128, 2004.

SOUZA, M. P. et al. Rate-limiting steps in selenium assimilation and volatilization by Indian mustard. **Plant Physiology**, Rockville, v. 117, n. 4, p. 1487-1494, 1998.

STADTMAN, T. C. Selenocysteine. **Annual Review of Biochemistry**, Palo Alto, v. 65, n. 1, p. 83-100, 1996.

STADTMAN, T. C. Some selenium-dependent biochemical process. **Advances in Enzimology and Related Areas of Molecular Biology**, New York, v. 48, n. 1, p. 1-28, 1979.

STRANGES, S. et al. Effects of selenium supplementation on cardiovascular disease incidence and mortality: secondary analyses in a randomized clinical trial. **American Journal of Epidemiology**, Baltimore, v. 163, n. 8, p. 694-699, 2006.

STRATTON, M. S. et al. Selenium and prevention of prostate cancer in high-risk men: the negative biopsy study. **Anti-Cancer Drugs**, Oxford, v. 14, n. 8, p. 589-594, 2003.

STROUD, J. L. et al. Impact of sulphur fertilisation on crop response to selenium fertilisation. **Plant and Soil**, The Hague, v. 332, n. 1-2, p. 31-40, 2010.

TAN, J. N., HUANG, Y. J. Selenium in geo-ecosystem and its relation to endemic diseases in China. **Water Air and Soil Pollution**, Dordrecht, v. 57, n. 1, p. 59-68, 1991.

TERRY, N. et al. Selenium in higher plants. **Annual Review of Plant Physiology**, Berkeley, v. 51, n. 1, p. 401-432, 2000.

TERRY, N.; ZAYED, A. Phytoremediation of selenium. In: FRANKENBERGER, W. T.; ENGBERG, R. (Ed.). **Environmental chemistry of selenium**. New York: Dekker, 1998. p. 633-656.

THOMSON, C. D. Assessment of requirements for selenium and adequacy of selenium status: a review. **European Journal of Clinical Nutrition**, London, v. 58, n. 3, p. 391-402, 2004.

TRELEASE, S. F.; BEATH, O. A. **Selenium, its geological occurrence and its biological effects in relation to botany, chemistry, agriculture, nutrition and medicine**. Burlington: Champlain, 1949. 292 p.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Method 3051 A: microwave assisted acid digestion of sediments sludge, soils and soils. In: **SW-846**: test methods for evaluation solid waste physical and chemical methods. Washington, 1998. p. 1-20.

VALKAMA, E. et al. The combined effects of enhanced UV-B radiation and selenium on the growth, chlorophyll fluorescence and ultrastructure in strawberry (*Fragaria x ananassa*) and barley (*Hordeum vulgare*) treated in the field. **Agricultural and Forest Meteorology**, Piikkiö, v. 120, n. 1-4, p. 267-278, 2003.

VILELA, N. J.; HENZ, G. P. Situação atual da participação das hortaliças no agronegócio brasileiro e perspectivas futuras. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, Brasília, v.17, n.1, p.71-89, 2000.

WATKINSON, J.H. Changes of blood selenium in New Zealand adults with time and importation of Australian wheat. **American Journal of Clinical Nutrition**, Bethesda, v. 34, n. 5, p. 936-942, 1981.

WHANGER, P. D. et al. Effects of selenium and vitamin E on blood selenium levels, tissue glutathione peroxidase activities and White muscle disease in sheep fed purified or hay diets. **Journal of Nutrition**, Philadelphia, v. 107, n. 7, p. 1298-1307, 1977.

WHANGER, P. D. Selenium and its relationship to cancer: an update. **British Journal of Nutrition**, Cambridge, v. 91, n. 1, p. 11-28, 2004.

WHANGER, P. D. Selenocompounds in plants and animals and their biological significance. **Journal of the American College of Nutrition**, New York, v. 21, n. 3, p. 223-232, 2002.

WHITAKER, T. W.; RYDER, J. E. **Lettuce production in the United States**. Washington: USDA, 1974. 43 p. (Washington Agriculture Handbook, 221).

WHITE, P. J. et al. Interactions between selenium and sulphur nutrition in *Arabidopsis thaliana*. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 55, n. 404, p. 1927-1937, 2004.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Environmental health criteria for selenium**. Geneva, 1987. Disponível em: <<http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc58.htm>>. Acesso em: 5 maio 2010.

WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Trace elements in human nutrition and health**. Geneva, 1996. 361 p.

XUE, T.; HARTIKAINEN, H. Association of antioxidative enzymes with the synergic effect of selenium and UV irradiation in enhancing plant growth. **Agricultural and Food Science in Finland**, Jokioinen, v. 9, n. 1, p. 177-186, 2000.

XUE, T.; HARTIKAINEN, H.; PIIRONEN, V. Antioxidative and growth-promoting effect of selenium on senescing lettuce. **Plant and Soil**, The Hague, v. 237, n. 1, p. 55-61, 2001.

YANG, G. Q.; XIA, Y. M. Studies on human dietary requirements and a safe range of dietary intakes of selenium and their application in the prevention of related endemic diseases. **Biomedical and Environmental Sciences**, San Diego, v. 8, n. 3, p. 187–201, 1995.

YURI, J. E. et al. Comportamento de cultivares de alface americana em Santo Antônio do Amparo. **Horticultura Brasileira**, Campinas, v. 23, n. 4, p. 870-874, 2005.

ZAYED, A. M.; LYTLE, C. M.; TERRY, N. Accumulation and volatilization of different chemical species of selenium by plants. **Planta**, Springer, v. 206, n. 2, p. 284-292, 1998.

ZHANG, Y. et al. Uptake and transport of selenite and selenate by soybean seedlings of two genotypes. **Plant and Soil**, The Hague, v. 253, n. 2, p. 437-443, 2003.

ZHAO, F. J. et al. Variation in mineral micronutrient concentrations in grain of wheat lines of diverse origin. **Journal of Cereal Science**, London, v. 49, n. 2, p. 290-295, 2009.

ZHU, Y. G. et al. Selenium in higher plants: understanding mechanisms for biofortification and phytoremediation. **Trends in Plant Science**, Oxford, v.14, n. 8, p.436-442, 2009.