

## APROVEITAMENTO DO ZINCO APLICADO NA SEMENTE NA NUTRIÇÃO DA PLANTA

### ZINC APPLIED ON SEEDS AS PLANT NUTRIENT SOURCE

Nerinéia Dalfollo Ribeiro<sup>1</sup> Osmar Souza dos Santos<sup>2</sup>

#### REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### RESUMO

*O zinco é um dos micronutrientes que mais frequentemente se mostra deficiente em solos brasileiros. Para corrigir sua deficiência, pode-se utilizar o tratamento de sementes, com base no princípio de que a reserva da semente é importante fonte de zinco para a prevenção do aparecimento de sintomas iniciais de deficiência na planta. Em vista disso, este artigo objetiva abordar a contribuição da reserva da semente no fornecimento de zinco, bem como os resultados obtidos na germinação, vigor, desempenho inicial de plantas e rendimento de grãos através da aplicação de zinco em sementes.*

**Palavras-chave:** *nutrição mineral, micronutrientes, zinco, tratamento de semente.*

#### SUMMARY

*Zinc is frequently deficient in some brazilian soils. Seed treatment with zinc is a feasible way to supply zinc to plants. Seed zinc reserve is important for initial growing avoiding seedling zinc deficiency. This paper presents the zinc supply to the plant and the effects of seed treatment with zinc on germination, vigour, growing and grain yield.*

**Key words:** *mineral nutrition, micronutrient, zinc, seed treatment.*

#### INTRODUÇÃO

A grande maioria dos estudos realizados no Brasil considera 1 µg/ml (1ppm) como nível crítico de zinco no solo (extrator Mehlich 1, DTPA a pH 7,3 e HCl 0,1N). Assim, muitos solos brasileiros são carentes em zinco, seja pelo material de origem ou pelo uso intensivo do solo sem a devida reposição. Estima-se que cerca de 170 milhões de hectares de solos sob vegetação de Cerrado, no Brasil Central, sejam deficientes em zinco (LOPES, 1983). Também foram constatadas deficiências em vários outros estados do País. Assim, mostraram-se deficientes no Rio Grande do Sul, 20,8% dos solos, de um total de 954 amostras coletadas (VOLKWEISS et al., 1983); em São Paulo, 33,3% de um total de 24 amostras de solos analisadas (CAMARGO et al., 1982) e no Paraná, 58,0% de um total de 725 amostras estudadas (LUCHESE et al., 1990).

A carência de zinco reflete-se no crescimento e na produção das plantas, nas quais ele desempenha importantes funções. Podem ser

<sup>1</sup>Engenheiro Agrônomo, Mestre, Professor Substituto, Departamento de Fitotecnia, Centro de Ciências Rurais (CCR), Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), 97119-900 - Santa Maria, RS.

<sup>2</sup>Engenheiro Agrônomo, Doutor, Professor Titular, Bolsista do CNPq, Departamento de Fitotecnia, CCR, UFSM. Autor para correspondência.

observados sintomas de deficiência como clorose acentuada ao longo da nervura principal, encurtamento dos entrenós e menor produção de folhas novas, podendo aparecer tonalidades roxas no caule e nas folhas, além de redução no crescimento e na produção de grãos (IGUE et al., 1962; MALAVOLTA, 1980). Por essa razão, a deficiência de zinco em plantas necessita ser suprida pela adubação, seja via solo, por pulverização foliar ou pela aplicação na semente.

Respostas à adubação com zinco no solo tem sido razoavelmente pesquisadas e, da mesma forma, a pulverização foliar com zinco, a qual é recomendada principalmente para culturas perenes. O estudo dessas duas formas de utilização de zinco não faz parte dos objetivos deste trabalho.

A aplicação de zinco nas sementes baseia-se no princípio de que a reserva desse micronutriente das sementes pode ser uma importante fonte na prevenção do aparecimento de sintomas iniciais de deficiência, conforme observou HEWITT et al. (1954) em várias espécies de leguminosas. Com base neste princípio, de longa data, vêm sendo conduzidos inúmeros estudos com tratamento de sementes com micronutrientes na Universidade Federal de Santa Maria, a qual é uma das pioneiras no assunto.

Este artigo objetiva abordar a contribuição da reserva da semente no fornecimento de zinco para a planta e os resultados obtidos com o tratamento de sementes com zinco.

## DESENVOLVIMENTO

O assunto será desenvolvido através de um breve histórico e da abordagem de diversos enfoques do tratamento de sementes com zinco.

### 1. Histórico das pesquisas com zinco

A deficiência de zinco tem sido, dentre os micronutrientes, a mais comumente observada em culturas agrícolas em várias partes do mundo. THORNE (1957) apresenta um breve histórico que envolve a constatação e a evolução dos estudos sobre carência de zinco. Segundo este autor, registros de Raulin, de 1863 a 1869, apresentam evidências que o zinco é necessário para o crescimento de certos fungos em meio de cultura. A comprovação de que o zinco é essencial para as plantas superiores deu-se em 1919 através de experimentos conduzidos por Maize, em solução nutritiva.

A deficiência de zinco em milho foi observada pela primeira vez em 1936, na Flórida, por Barnette e seus colaboradores (THORNE, 1957). Desde então, tem sido dada especial atenção aos mecanismos de absorção e translocação, funções bioquímicas, descrição de sintomas de deficiência e toxicidade. Diversas revisões foram publicadas, abordando estes e outros aspectos da deficiência de zinco e seu controle (THORNE, 1957; LINDSAY, 1972; TIFFIN, 1972; CHVAPIL, 1973; MARSCHNER, 1985; MENGEL & KIRKBY, 1987; FERREIRA & CRUZ, 1991).

### 2. Tratamento de sementes com zinco

O tratamento de sementes com zinco tem como princípio, para sua eficiência, a translocação do zinco da semente para a planta. Assim, a reserva de zinco da semente passa a ser uma importante fonte para a nutrição da planta.

#### 2.1 Reserva de zinco da semente

A reserva de zinco é expressa pelos teores encontrados nas partes constituintes da semente. Esse valor varia entre espécies, cultivares e depende das condições do ambiente em que a semente é produzida.

##### a) Teores encontrados nas sementes

Em milho, MASSEY & LOEFFEL (1966) observaram que a concentração de zinco nas sementes de 29 linhagens variou de 15,5µg/g de matéria seca na OH 29 a 38,4µg/g na KY 211, sendo que ambas apresentaram peso médio de 0,27g/semente. Por sua vez, HINESLY et al. (1978) observaram que a concentração de zinco nas sementes de 20 linhagens de milho variou de 33,8µg/g na H 99 a 70,0µg/g na A 619. Isto indica que a concentração de zinco nas sementes varia entre os genótipos de milho. Os fatores responsáveis pela concentração de zinco na semente podem atuar direta ou indiretamente. A atuação direta pode se dar de duas maneiras: no controle da capacidade da planta em absorver zinco ou na translocação do zinco para a semente. A atuação indireta se dá no controle do tamanho da semente ou do número de sementes/espiga (MASSEY & LOEFFEL, 1966; HINESLY et al., 1978).

Os componentes da semente (pericarpo, endosperma e embrião) contribuem com diferentes percentuais no seu peso e no conteúdo de zinco. Sementes de 31 linhagens de milho foram analisadas e constatou-se que o embrião, apesar de pouco contribuir no peso total da semente (7,9%), contém a maior percentagem média de zinco da semente (47%).

Observou-se, também, grande variação no teor de zinco nos componentes da semente entre as linhagens: no embrião (94,0 a 198,0 $\mu\text{g/g}$ ), no endosperma (6,1 a 17,7 $\mu\text{g/g}$ ) e no pericarpo (18,0 a 81,0 $\mu\text{g/g}$ ) (MASSEY & LOEFELL, 1967).

A posição da semente na espiga também pode influir no teor de zinco. Em uma espiga de milho, as sementes apicais possuem maior concentração de zinco (294 $\mu\text{mol/kg}$  ou 19,1 $\mu\text{g/g}$ ) do que as sementes basais (275 $\mu\text{mol/kg}$  ou 17,9 $\mu\text{g/g}$ ). A espiga superior contém maior concentração de zinco (424 $\mu\text{mol/kg}$  ou 27,6 $\mu\text{g/g}$ ) do que a espiga inferior (241 $\mu\text{mol/kg}$  ou 15,7 $\mu\text{g/g}$ ) (MOZAFAR, 1990).

Esses valores encontrados nas sementes seriam irrelevantes caso não ocorresse a mobilização do zinco para a planta.

### b) Mobilização do zinco

Durante o crescimento inicial de plântulas, o suprimento de zinco pode ser feito de duas maneiras: translocação da reserva da semente e absorção pelas raízes. Sob condições de temperatura e intensidade luminosa baixas, o zinco da semente de milho se constitui na principal fonte durante o crescimento inicial das plântulas (EDWARDS & KAMPRATH, 1974; EDWARDS & KAMPRATH, 1975). Em vista disto, o suprimento de zinco da semente torna-se importante fonte para as plantas, especialmente no início do desenvolvimento, quando as condições de ambiente são tais que restringem o crescimento radicular e/ou quando a concentração de zinco no substrato é baixa.

A mobilização do zinco da semente se dá durante o processo de germinação. Em feijão, aos seis dias após a germinação, 57% do zinco dos cotilédones haviam sido translocados para outras partes da planta (Bukovak & Riga apud EDWARDS & KAMPRATH, 1975).

Sementes de feijão, soja e trigo marcadas com  $^{65}\text{Zn}$  (zinco radioativo) foram utilizadas para determinar a migração de zinco para a planta, aos 30 dias após a emergência. Em feijão, 7,0% do zinco da semente migrou para as raízes e 57,0% para a parte aérea. Em soja, de forma semelhante, 4,5% foram para as raízes e 51,0% para a parte aérea, enquanto no trigo ocorreu resultado distinto, com 31,0% migrando para as raízes e 38,0% para a parte aérea (MURAOKA, 1981).

A aplicação de zinco nas sementes aumenta sua concentração nesse órgão e sua acumulação na planta, especialmente na parte aérea. Semente pobre em zinco origina planta deficiente em zinco quando ela é cultivada em substrato carente desse nutriente. O

teor de zinco na parte aérea de plantas de milho obtidas de sementes não tratadas com zinco e cultivadas em solução sem zinco foi de 11,2 $\mu\text{g/g}$ . No entanto, quando essas sementes foram tratadas com a dose de 2,50g Zn/kg de sementes, das fontes Zn-Biocrop e  $\text{ZnSO}_4$ , o teor de zinco elevou-se para 24,5 $\mu\text{g/g}$  e 20,5 $\mu\text{g/g}$ , respectivamente, demonstrando que o tratamento de sementes aumenta a concentração de zinco na planta, ao final de 22 dias de cultivo (DALMOLIN, 1992).

Em arroz de sequeiro observou-se aumento médio de 53% na acumulação de zinco na parte aérea, pelo tratamento de sementes com zinco, em relação à testemunha. Foi constatado, também, que a utilização de quelato de zinco na semente proporciona maior acumulação de zinco na planta do que o  $\text{ZnSO}_4$  (LEÃO, 1990).

## 2.2 Aplicação de zinco nas sementes

Tendo em vista a dificuldade de se distribuir uniformemente, através de adubos, as quantidades de micronutrientes requeridas pelas culturas, destaca-se como alternativa o tratamento de sementes. Este tem como vantagens a uniformidade de distribuição do nutriente sobre as sementes, economia de divisas, uma vez que o Brasil importa a maior parte do zinco que consome, e racionalização no uso das reservas naturais não renováveis, por causa das pequenas quantidades utilizadas (SANTOS, 1981; PARDUCCI et al., 1989).

O tratamento das sementes com zinco objetiva aumentar o teor contido na semente, porém sua eficiência está relacionada com os efeitos que possa causar na germinação e no vigor das sementes e na resposta das culturas.

### a) Aumento do teor de zinco na semente

A reserva inicial de zinco da semente pode ser significativamente aumentada sem prejuízos à germinação e ao vigor. SANTOS et al. (1986) constataram que quase todo o zinco aplicado é absorvido, aumentando seu teor nas sementes. Sementes de soja tratadas com 0,30g/kg de sementes apresentaram aumento do teor de zinco de 31,8 $\mu\text{g/g}$  para 195,2 $\mu\text{g/g}$ .

Já em sementes de milho tratadas com as fontes  $\text{ZnSO}_4$  e Zn-Biocrop, na dose de 2,50g Zn/kg de sementes, o teor de zinco aumentou cerca de 18 vezes (de 47 para 900 $\mu\text{g/g}$  e 850 $\mu\text{g/g}$ , respectivamente), mantendo a germinação e o vigor altos (RIBEIRO, 1993). Tais valores não foram tóxicos e possibilitaram maior fornecimento de zinco para o início do

crescimento das plântulas. Essa é a essência do tratamento de sementes, torná-las bem supridas no nutriente que será, posteriormente, transferido para as plantas (MELO, 1990; DALMOLIN, 1992).

O uso da adubação com zinco no solo mostra tendência em aumentar a concentração de zinco nas sementes, em virtude da sua translocação em direção a elas (FORNASIERI FILHO et al., 1988), no entanto esse incremento é pouco significativo quando comparado àquele propiciado pelo tratamento das sementes com zinco.

#### b) Efeitos na germinação e no vigor

Através de experimentos, conduzidos em laboratório e em casa de vegetação, avalia-se o efeito do tratamento de sementes sobre a germinação e o desempenho inicial das plântulas (vigor). Como o zinco é um ativador enzimático, as sementes portadoras de menor nível de qualidade podem apresentar melhorias na germinação e no vigor, quando enriquecidas com zinco.

Em trigo, a imersão das sementes, por 24 horas, em solução de 0,25mg/l de  $ZnSO_4$  (sal p.a. com 22,7% de Zn) aumentou a germinação (89%), a massa seca da parte aérea (11,95%) e a massa seca de raízes (34,5%) das plântulas (CHENG, 1955). No entanto, RIBEIRO et al. (1992) observaram redução da germinação e do vigor de sementes de milho portadoras de diferentes níveis de qualidade, induzidos através do envelhecimento precoce, e tratadas com diversas doses (1,25, 2,50 e 5,00g Zn/kg de sementes) da fonte experimental Zn-MIQL-90a (produto líquido com 21% Zn), com avaliação através do teste da primeira contagem, índice de velocidade de emergência a campo e do tamanho e massa seca de plântulas. Esses efeitos negativos foram devidos à interação entre baixa qualidade das sementes e doses elevadas de zinco.

Em estudo mais recente, RIBEIRO et al. (1993a) verificaram que a aplicação de 0,50g Zn/kg de sementes de milho, das fontes Zn-Biocrop (produto pó micronizado com 52% de Zn) e Zn-MIQL-90A (fonte já referida), em sementes de melhor qualidade, proporcionou aumento no tamanho e na massa seca da parte aérea de plântulas sem prejudicar a germinação, confirmando a ação do zinco no aumento do vigor.

Na cultura do amendoim, Gopalakrishanan & Veerannah apud CAVALCANTI et al. (1982) verificaram, em laboratório, a eficácia de micronutrientes sobre a germinação das sementes, indicada por alterações bioquímicas na germinação, destacando o zinco como elemento acelerador do crescimento da radícula.

Na germinação de sementes de milho, ocorre resposta diferencial para fontes de zinco. Com a aplicação de 2,50g Zn/kg de sementes das fontes  $ZnSO_4$  e Zn-Biocrop, mantivesse alta germinação similar a da testemunha, apesar de ter aumentado em cerca de 18 vezes o teor de zinco na semente (de 47 para 900 $\mu$ g/g e 850 $\mu$ g/g, respectivamente) (RIBEIRO, 1993). Com a fonte Zn-Triol houve incremento de 24 vezes no teor de zinco da semente e com a fonte Zn-Diol, 31 vezes; neste caso ocorreu efeito fitotóxico nas sementes, com prejuízos à germinação. As diferenças encontradas entre fontes são devidas aos componentes das formulações, que podem provocar alterações na dinâmica metabólica do micronutriente, tendo em vista que o zinco afeta indiretamente o transporte de assimilados a nível de membrana através do impedimento da peroxidação da camada lipídica da membrana celular, por ser componente estrutural da dismutase do superóxido (CAKMAK & MARSCHNER, 1988), além de estabilizar biomembranas pela reação com grupos sulfidrilas das proteínas da membrana (CHVAPIL, 1973).

Nesse sentido, ao que tudo indica, as fontes  $ZnSO_4$  e Zn-Biocrop não alteram esta dinâmica metabólica, podendo o mesmo não ser verdadeiro para o Zn-Triol (fonte orgânica de alta viscosidade, com 15% de Zn) e o Zn-Diol (fonte orgânica, com 15% de Zn), justificando a resposta diferenciada das fontes de zinco sobre a germinação das sementes (RIBEIRO, 1993). Percebe-se assim a grande importância que deve ser dada a fonte de zinco a ser aplicada nas sementes, além da dose adequada.

#### c) Armazenamento das sementes tratadas com zinco

Sementes tratadas com zinco podem ser usadas para semeadura imediata ou podem ser armazenadas para posterior utilização.

Quando se tem em vista a aplicação de zinco na semente para semeadura imediata, as fontes de  $ZnSO_4$ , Zn-Biocrop e Zn-Triol, na dose 2,50g Zn/kg de sementes, proporcionam elevada germinação das sementes de milho (superior a 88%) (RIBEIRO, 1993), acima do valor mínimo (85%) requerido pelas Normas de Produção de Semente Fiscalizada (BRASIL, 1992) para a comercialização de sementes de milho. Dessa forma o tratamento das sementes com essas fontes pode ser realizado momentos antes da semeadura do milho sem restringir sua germinação, em condições favoráveis.

Com a adição de zinco, observa-se aumento da atividade de desidrogenases e do conteúdo de auxina (THORNE, 1957). Isto sugere que o tratamento de

sementes com zinco, pode minimizar o processo de deterioração das sementes, pelo fato deste micronutriente atuar na ativação enzimática e no incremento da concentração de auxina, parâmetros seriamente prejudicados quando as sementes permanecem armazenadas. Através de testes periódicos de germinação, em substrato rolo de papel, com sementes de milho, dos híbridos Agrocerec 303 e Cargill 408, tratadas com zinco, nas doses de 3,0 e 4,5g Zn/kg de sementes, observou-se que a fonte Zn-Biocrop manteve a germinação ao redor de 98% ao longo dos 210 dias de armazenamento das sementes (RIBEIRO & SANTOS, 1991). No entanto, a fonte Zn-Triol pode limitar a germinação, dependendo da dose utilizada e do tempo de armazenamento das sementes, enquanto a fonte Zn-Diol propicia anomalias de plântulas.

A aplicação da fonte Zn-Biocrop, na dose de 2,50g Zn/kg de sementes de milho, não prejudica a germinação e o vigor pelo período de oito meses de armazenamento, elevando o conteúdo de zinco das sementes de 21 para 420µg/g, aumentando assim a disponibilidade desse micronutriente para a planta (RIBEIRO et al., 1993b). Resultado semelhante foi observado por RIBEIRO (1993), com a mesma dose, para as fontes ZnSO<sub>4</sub> e Zn-Biocrop, onde foi possível armazenar por oito meses as sementes tratadas, sem prejuízos para a germinação, mantendo-a em valores superiores a 85%, mínimo requerido para sua comercialização como semente de milho (BRASIL, 1992).

Essa possibilidade de armazenamento das sementes, tratadas com zinco, abre novas perspectivas, tendo-se em vista a oportunidade das empresas produtoras de sementes de milho colocarem no mercado sementes enriquecidas com zinco, com garantia de germinação e vigor, e com o benefício de eliminar possíveis erros na lavoura, pela aplicação de doses e fontes inadequadas.

#### **d) Resposta agrônômica à aplicação de zinco**

O tratamento de sementes com zinco é uma técnica importante para fornecer este nutriente às plantas, quando as condições de ambiente restringem o crescimento radicular e/ou quando a concentração de zinco no substrato é baixa (EDWARDS & KAMPRATH, 1974; EDWARDS & KAMPRATH, 1975).

O zinco absorvido pela planta concentra-se principalmente nas raízes, sendo parte translocada para os grãos, que requerem grande demanda para sua formação. Para produzir uma tonelada/hectare de grãos de milho, o acúmulo de zinco na parte aérea da planta é de aproximadamente 800g/ha na maturidade fisioló-

gica, com cerca de 56% distribuídos em espiga e grãos (KARLEN et al., 1988). Isto indica uma exportação de 450g/ha de zinco com a produção de grãos.

O tratamento de sementes com zinco, com a dose de 50h/ha para o milho, por exemplo, não é suficiente para satisfazer a necessidade total da planta, mas sua maior disponibilidade inicial estimula o desenvolvimento do sistema radicular, aumentando a área de contato das raízes com o solo e propiciando melhor desenvolvimento da planta. Em feijão, RASMUSSEN & BOAWN (1969) observaram que o tratamento de sementes com zinco não foi suficiente para satisfazer o requerimento total da planta, mas apresentou muito bom efeito em ambiente carente do nutriente.

Experimentos conduzidos em casa de vegetação, tem demonstrado a eficiência do tratamento de sementes com zinco na produção de massa seca de plantas. Em milho, SANTOS & RIBEIRO (1994) observaram que as fontes ZnSO<sub>4</sub>, Zn-Biocrop e Zn-Triol, utilizadas na dose de 2,50g Zn/kg de sementes cultivadas em solução contendo 0,025mg/l de zinco, propiciaram altura de planta, área foliar e massa seca de folhas equivalentes aos valores obtidos em solução com o dobro da quantidade de zinco. Isto indica que, em substrato carente em zinco (0,025mg/l), o tratamento de sementes proporciona desenvolvimento de planta semelhante aquele da solução bem suprida de zinco (0,050mg/l).

Em arroz de sequeiro foi constatado que a utilização de quelato de zinco na semente proporciona maior produção de massa seca e acumulação de zinco na planta do que o ZnSO<sub>4</sub>, ambos com desempenho superior ao da testemunha sem zinco (LEÃO, 1990).

Há, também, comprovações de que a aplicação de zinco nas sementes aumenta o rendimento de grãos de soja e milho. Em soja, a aplicação de 0,30g Zn/kg de sementes proporcionou aumento de 535kg de grãos a mais do que a testemunha (SANTOS & ESTEFANEL, 1986). Em experimento a campo, conduzido em dois locais, Quirinópolis e Montevidiu, ambos no Estado de Goiás, obteve-se incremento de 38,8% na produção de grãos de milho com a utilização do tratamento de sementes com zinco, na dose de 1,50g Zn/kg de sementes (SILVA, 1989).

Apenas o tratamento de sementes com zinco não é capaz de suprir a necessidade total da planta. Sendo assim, o tratamento de sementes com zinco pode ser associado a doses menores de zinco aplicadas no solo (REZER, 1994), possibilitando, desta maneira, significativa economia do nutriente e sua utilização racional, uma vez que se trata de recurso natural não renovável.

## CONCLUSÕES

A aplicação de fontes e doses adequadas de zinco nas sementes proporciona substancial aumento no teor deste nutriente, que é translocado para a planta, durante a germinação. Esta planta bem nutrida em zinco apresenta maior desenvolvimento inicial, principalmente, em condições adversas e em substratos carentes do nutriente. O tratamento de sementes com zinco pode proporcionar redução na adubação via solo com este nutriente, resultando na racionalização do uso de matéria-prima não renovável e na economia de divisas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. **Normas para a produção de semente fiscalizada CEM/RS**. Porto Alegre: DFARA/RS. 1992. 73 p.
- CARMAK, I., MARSCHNER, H. Enhanced superoxide radical production in roots of zinc-deficient plants. *J of Exper of Botany*, Ottawa, v. 30, p. 1441-1460, 1988.
- CAMARGO, O.A., VALADARES, J.M.A.S., DECHEN, A.R. Influência da adição de calcário e incubação na solubilidade do Mn, Zn, Fe e Cu nos extratores DTPA-TEA e ácido duplo. In: **MICRONUTRIENTES EM HORTALIÇAS**, Campinas, 1982. *Anais...* São Paulo, 1982. p. 26.
- CAVALCANTE, J.I.V., SILVEIRA, J.F., VIEIRA, M.G.G.C. Influência do nitrogênio, fósforo, potássio e zinco na germinação de sementes de arroz. *Rev Bras Sementes*, Brasília, v. 4, n. 3, p. 27-33, 1982.
- CHENG, T. The effect of seed treatment with microelements upon the germination and early growth of wheat. *Scientia Sinica*, Peking, v. 4, p. 129-135, 1955.
- CHVAPIL, M. New aspects in the biological role of zinc: a stabilizer of macromolecules and biological membranes. *Life Science*, Chicago, v. 13, p. 1041, 1973.
- DALMOLIN, R.S.D. **Fontes de zinco aplicadas nas sementes de milho cultivado em solução nutritiva com diferentes doses de zinco**. Santa Maria, 1992. 84 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Curso de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, 1992.
- EDWARDS, J.H., KAMPRATH, E.J. Zinc accumulation by corn seedlings as influenced by phosphorus, temperature, and light intensity. *Agron Journal*, Madison, v. 66, n. 4, p. 479-482, 1974.
- EDWARDS, J.H., KAMPRATH, E.J. Zinc accumulation and growth of corn seedlings as affected by endosperm removal. *Agron Journal*, Madison, v. 67, n. 6, p. 809-812, 1975.
- FERREIRA, M.E., CRUZ, M.C.P. **Micronutrientes na Agricultura**. Piracicaba: POTAFÓS/CNPq. 1991. 734 p.
- FORNASIERI FILHO, D., BRANDÃO, S.S., SADER, R. et al. Efeitos do fósforo e do zinco sobre a composição mineral e qualidade fisiológica das sementes de milho-pipoca. *Rev Bras Sementes*, Brasília, v. 10, n. 1, p. 43-53, 1988.
- HEWITT, E.J., BOLLE JONES, E.W., MILES, P. The production of copper, zinc and molybdenum deficiencies in crop plants grown in a culture with special reference to some effects of water supply and seed reserves. *Plant and Soil*, Dordrecht, v. 5, n. 3, p. 205-222, 1954.
- HINESLY, T.D., ALEXANDER, D.E., ZIEGLER, E.L. et al. Zinc and Cd accumulation by corn inbreds grown on sludge amended soil. *Agron Journal*, Madison, v. 70, n. 3, p. 425-428, 1978.
- IGUE, K., BLANCO, H.G., SOBRINHO, J.A. Influência do zinco na produção do milho. *Bragantia*, Campinas, v. 21, n. 1, p. 263-270, 1962.
- KARLEN, D.L., FLANNERY, R.L., SADLER, E.J. Aerial accumulation and partitioning of nutrients by corn. *Agron Journal*, Madison, v. 80, n. 2, p. 232-242, 1988.
- LEÃO, R.M.A. **Efeitos de fósforo e do zinco no comportamento do arroz de sequeiro em Latossolo Vermelho-escuro sob vegetação de cerrado**. Santa Maria, 1990, 121 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Curso de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, 1990.
- LINDSAY, W.L. Zinc in soils and plant nutrition. *Advances in Agronomy*, New York, v. 24, p. 147-186, 1972.
- LOPES, A.S. **Solos sob cerrado: características, propriedades e manejo**. Piracicaba: POTAFÓS, 1983. 162 p.
- LUCHESE, E.B., LENZI, E., BRAUER, T. et al. Levantamento preliminar dos teores de zinco e ferro nos solos do Paraná. In: **REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS**, Santa Maria, 1990. *Anais...* Rio Grande do Sul, 1990. p. 44.
- MALAVOLTA, E. **Elementos de nutrição mineral de plantas**. São Paulo: Ceres, 1980. 251 p.
- MARSCHNER, H. **Plant Nutrition**. Stuttgart: Universitat Hohenheim, 1985. 648 p.
- MASSEY, H.F., LOEFFEL, F.A. Variation of zinc content of grain from inbred lines of corn. *Agron Journal*, Madison, v. 58, n. 2, p. 143-144, 1966.
- MASSEY, H.F., LOEFFEL, F.A. Factors in interstrain variation in zinc content of maize (*Zea mays* L.) kernels. *Agron Journal*, Madison, v. 59, n. 3, p. 214-217, 1967.
- MENGEL, K., KIRKBY, E.A. **Principles of plant nutrition**. Bern: International Potash Institute, 1987. 687 p.
- MELO, E.F.R.Q. **Respostas de cultivares de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) a níveis de zinco nas formas inorgânicas e orgânicas, em casa de vegetação e no campo**. Curitiba, 1990, 125 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Curso de Pós-graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Paraná, 1990.

- MOZAFAR, A. Kernel absorption and distribution of mineral elements along the maize ear. *Agron Journal*, Madison, v. 82, n. 3, p. 511-514, 1990.
- MURAOKA, T. Solubilidade do zinco e do manganês em diversos extratores e disponibilidade desses dois micronutrientes para o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) cv. Carioca. Piracicaba, 1981, 141 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz, Universidade de São Paulo, 1981.
- PARDUCCI, S., SANTOS, O.S., CAMARGO, R.P. et al. *Micronutrientes Biocrop*. Campinas: Microquímica, 1989. 101 p.
- RASMUSSEN, P.E., BOAWN, L.C. Zinc seed treatment as a source of zinc for beans (*Phaseolus vulgaris*). *Agron Journal*, Madison, v. 61, n. 5, p. 674-676, 1969.
- RIBEIRO, N.D. Germinação e vigor de sementes de milho tratadas com fontes de zinco e boro. Santa Maria, UFSM, 1993. 83 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Curso de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, 1993.
- RIBEIRO, N.D., SANTOS, O.S. Germinação de sementes de milho tratadas com fontes e doses de zinco e boro. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 21, n. 3, p. 437-440, 1991.
- RIBEIRO, N.D., SANTOS, O.S., MENEZES, N.L. Aplicação de doses de zinco em sementes de milho com diferentes níveis de qualidade. In: CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO, 19, Porto Alegre, 1992. *Anais...* Rio Grande do Sul, 1992. p. 148-160.
- RIBEIRO, N.D., MENEZES, N.L., SANTOS, O.S., et al. Efeito de doses e fontes de zinco em sementes de milho com diferentes níveis de qualidade. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SEMENTES, Foz do Iguaçu, 1993. *Resumos...* Paraná, 1993a, p. 58.
- RIBEIRO, N.D., SANTOS, O.S., MENEZES, N.L. Efeito do tratamento com fontes de zinco e boro na germinação e no vigor de sementes de milho. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SEMENTES, Foz do Iguaçu, 1993. *Resumos...* Paraná, 1993b, p. 58.
- REZER, J.R. *Formas de suprimento de zinco para milho em solo sob cerrado*. Santa Maria, 1994. 69 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Curso de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal de Santa Maria, 1994.
- SANTOS, O.S. O zinco na nutrição de plantas leguminosas. *Lavoura Arrozeira*. Porto Alegre, v. 34, n. 330, p. 26-32, 1981.
- SANTOS, O.S., ESTEFANEL, V. Efeito de micronutrientes e do enxofre aplicados nas sementes de soja. *Rev Centro Ciências Rurais*, Santa Maria, v. 16, n. 1, p. 5-17, 1986.
- SANTOS, O.S., ESTEFANEL, V., CAMARGO, R.P. et al. Efeito da aplicação de molibdênio e de zinco em sementes de soja sobre o teor desses nutrientes. In: SOJA. RELATÓRIO DE PESQUISA DO CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS. Santa Maria, 1986. p. 39-44.
- SANTOS, O.S., RIBEIRO, N.D. Fontes de zinco aplicadas em sementes de milho, em solução nutritiva. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 24, n. 1, p. 59-62, 1994.
- SILVA, E.S. *Produção de grãos de milho em função de níveis de adubação com zinco e boro aplicados nas sementes e no solo*. Rio Verde, Goiás, 1989. 43 p. Monografia (Graduação em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura de Rio Verde, 1989.
- THORNE, W. Zinc deficiency and its control. *Advances in Agronomy*, New York, v. 9, p. 31-61, 1957.
- TIFFIN, L.O. Translocation of micronutrient in plants. In: MORTVED, J.J., GIORDANO, P.M., LINDSAY, W.L. *Micronutrients in Agriculture*. Madison: Soil Sci. Soc. Am. 1972. p. 199-230.
- VOLKWEISS, S.J., TEDESCO, M.J., BOHNEN, H., et al. *Levantamento dos teores de nutrientes das plantas em solos do Rio Grande do Sul*. Porto Alegre: UFRGS, 1983. 60 p. (Relatório à FINEP).